UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS

APLICACIÓN DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO

PRESENTADO POR:

Br. ALEXANDER MEJIA SECA

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR:

Mgt. Ing. JOSÉ CARLOS SOLIS TITO

CUSCO – PERU

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** JOSE CARLOS SOLIS TITO ..... quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesistitulada: APLICACIÓN DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO

Presentado por: ALEXANDER MEJIA SECA ..... DNI N° 77056191 ;

presentado por: ..... DNI N°: .....

Para optar el título Profesional/Grado Académico de ....INGENIERO CIVIL.....

.....

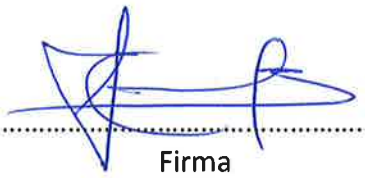
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de .....07.....**%.**

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 03... de .....AGOSTO..... de 20.26.....



Firma

Post firma JOSE CARLOS SOLIS TITO

Nro. de DNI 43491953

ORCID del Asesor 0000-0002-1437-7330

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:612145683

Alexander Mejia Seca

TESIS - Aplicacion de modelos constitutivos mediante el uso de metodos numericos para la simulacion Esfuerzo - Deformacio...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:612145683

Fecha de entrega
3 ago 2026, 11:22 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
3 ago 2026, 11:46 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS - Aplicacion de modelos constitutivos mediante el uso de metodos numericos para la simul....pdf

Tamaño del archivo
36.5 MB

569 páginas

222.589 palabras

804.554 caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

5% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mi madre Simona Seca Salazar por su gran amor, cariño y comprensión y darme siempre su apoyo incondicional para poder alcanzar mis objetivos

Agradecer a mi padre Edgar Jaime Mejia Ramírez por los consejos, la formación y la motivación para poder estudiar esta hermosa profesión.

A mis hermanos Yhasmani, Magali y Alexandra por ser ejemplo de perseverancia, progreso y guía para ser yo un hombre de bien.

Alexander Mejia Seca

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Señor Dios por darme la fortaleza y la fe para poder culminar el presente trabajo, ya que con el nada es imposible y darle gracias por estar a mi lado en todo momento.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, mi alma mater, que nos formó para ser grandes profesionales y ayudarnos a alcanzar nuestras metas.

Al Mgt. Ing. Jose Carlos Solis Tito por su tiempo, conocimientos y asesoría que fueron muy valiosos para esta presente investigación.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, por todos las enseñanzas y motivaciones brindadas en mi etapa universitaria, siendo frutos de inspiración y superación.

A mis amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería Civil que son fruto de aliento, motivación y apoyo incondicional y que me ayudaron a superar muchos desafíos en mi etapa universitaria.

Alexander Mejia Seca

INDICE GENERAL

DEDICATORIA…….....II

AGRADECIMIENTO…….....III

INDICE GENERAL…….....IV

INDICE DE TABLAS…….....XI

INDICE DE FIGURAS…….....XIV

GLOSARIO DE ABREVIATURAS…….....XXIX

RESUMEN…….…XXXIV

ABSTRACT…….…XXXV

INTRODUCCION……..... XXXVI

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN…….....XXXVIII

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES 1

1.1 Planteamiento del Problema 1

1.1.1 Situación problemática 1

1.2 Formulación del Problema 3

1.2.1 Problema general. 3

1.2.2 Problemas específicos. 3

1.3 Objetivos de la Investigación 4

1.3.1 Objetivo general. 4

1.3.2 Objetivos específicos. 4

1.4 Hipótesis y Variables 5

1.4.1 Hipótesis General 5

1.4.2 Hipótesis Especifica 5

1.5 Identificación de las Variables 6

1.5.1 Variable independiente (X): 6

1.5.2 Variable dependiente (Y):.....6
1.5.3 Operacionalización de las variables 7
1.6 Delimitación.....8
1.6.1 Conceptual.....8
1.6.2 Espacial 8
1.6.3 Temporal.....8
1.7 Alcance de la Investigación 8
CAPITULO II: MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....9
2.1 Antecedentes de la Investigación 9
2.1.1 Antecedentes a nivel internacional.....9
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional 10
2.2 Geología del Cuadrángulo del Cusco.....11
2.3 Geología Local de la Ciudad el Cusco 13
2.4 Formación San Sebastián 16
2.5 Introducción a la Teoría del Estado Critico.....22
2.5.1 El estado crítico en arcillas normalmente consolidadas. 27
2.5.2 El estado crítico en arcillas sobreconsolidadas. 28
2.6 Comportamiento Elastoplástico del Suelo 30
2.7 Consolidación de Suelos 33
2.8 Resistencia al Corte de Suelos 34
2.8.1 Criterio de Falla de Mohr Coulomb 35
2.8.2 Ensayo de Corte Triaxial. 36
2.9 Introducción a los Modelos Constitutivos.....38
2.9.1 Superficie de Fluencia 39
2.9.2 Ley de la Regla de Flujo y La Superficie Equipotencial.....41

2.9.3 Efectos del Endurecimiento en suelos 42
2.10 Modelos Constitutivos 42
2.10.1 Modelo constitutivo de Mohr – Coulomb. 45
2.10.2 Modelo constitutivo de Hardening Soil. 50
2.10.3 Modelo constitutivo de Cam Clay Modificado. 54
2.10.4 Modelo constitutivo de la Hipoplasticidad. 58
2.11 Fundamentos del Método de Elementos Finitos 64
2.12 Métodos Numéricos y Programa de Ingeniería Plaxis 67
2.13 Software Abaqus/CAE 70
CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION 71
3.1 Tipos, diseño y alcance de la investigación. 71
3.1.1 Tipo y Diseño de la investigación 71
3.1.2 Nivel de investigación (Alcance): Correlacional 72
3.2 Unidad de Análisis 72
3.3 Muestra 72
3.4 Selección de Muestra. 73
3.5 Población de Estudio. 73
3.6 Tamaño de muestra 73
3.7 Recolección e interpretación de datos e información 74
3.8 Interpretación de la información 76
CAPITULO IV: RECOLECCION DE DATOS 77
4.1 Visitas de Reconocimiento y Ubicación de Campo a estudiar. 77
4.1.1 Ubicación del proyecto de investigación 77
4.1.2 Reconocimiento y definición de la ubicación del proyecto a investigar. 78
4.2 Extracción de muestras 79

4.3 Procedimiento y Resultado de Ensayos de Laboratorio 82
4.3.1 Análisis Granulométrico de Suelos 82
4.3.2 Límites de Atterberg 85
4.3.3 Contenido de Humedad Natural 92
4.3.4 Gravedad Especifica de Solidos 94
4.3.5 Consolidación Unidimensional de Suelos 97
4.3.6 Peso Unitarios de Suelos 101
4.3.7 Ensayo de Corte Triaxial 103
CAPITULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACION 114
5.1 Obtención de parámetros para el modelo de Mohr – Coulomb. 114
5.1.1 Parámetro de la Cohesión (C) 115
5.1.2 Parámetro del Angulo de Fricción (φ) 115
5.1.3 Parámetro del Angulo de Dilatancia 115
5.1.4 Parámetro del Módulo de Elasticidad 116
5.1.5 Parámetro de la Relación de Poisson 118
5.2 Obtención de Parámetros para el Modelo de Hardening Soil. 119
5.2.1 Parámetro de la Cohesión (C) 120
5.2.2 Parámetro del Angulo de Fricción (φ) 120
5.2.3 Parámetro del Angulo de Dilatancia (ψ) 120
5.2.4 Parámetro del Módulo de Rigidez Secante de Referencia ($E50Ref$), Parámetro de Dependencia de Rigidez de Estado de Esfuerzos (m) y Presión de Referencia (Pref). 121
5.2.5 Parámetros de Módulo de Rigidez Edométrico de Referencia ($EoedRef$) y Módulo de Rigidez de Carga - Descarga de Referencia $EurRef$. 123
5.2.6 Parámetro de la Relación de Poisson (Vur). 124
5.2.7 Parámetro de la Presión Lateral de Tierra ($K0nc$). 124

5.2.8 Parámetro de Relación de Falla Rf 125
5.3 Obtención de Parámetros para el modelo Cam Clay – Modificado.....127
5.3.1 Parámetro de la Pendiente de Estado Crítico (M). 127
5.3.2 Parámetro de Relación de Poisson (v).....129
5.3.3 Parámetros de Compresibilidad Cam Clay Modificado para λ y κ. 129
5.3.4 Parámetro de la Relación de Vacíos Inicial. 130
5.4 Obtención de Parámetros para el modelo de Hipoplasticidad. 131
5.4.1 Parámetros de Angulo de Fricción Critico (φc) y Desplazamiento del esfuerzo medio por la cohesión (pt) 133
5.4.2 Parámetros de Índice de compresibilidad ($\lambda *$) y Expansión ($\kappa *$) de la Hipoplasticidad y Origen de la Línea de Consolidación Normal (N).....135
5.4.3 Parámetro de Relación de Vacíos Inicial ($einit$) 137
5.4.4 Parámetros r, R, mR , mT, βr , X. 138
5.5 Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación. 141
5.5.1 Uso de la Herramienta Soil Test de Plaxis 2D. 142
5.5.2 Procedimiento para Simulación de las curvas esfuerzo – deformación del ensayo triaxial drenado por la herramienta Soil Test. 143
5.5.3 Resultados de Simulación de las curvas esfuerzo – deformación (SOIL TEST) ..147
Resultados de Simulación Usando el Modelo de Mohr Coulomb. 148
Resultados de Simulación Usando el Modelo de Hardening Soil 158
Resultados de Simulación Usando el Modelo Cam Clay Modificado.....168
Resultados de Simulación Usando el Modelo de la Hipoplasticidad 178
5.5.4 Simulación por Modelos Axisimétricos de las curvas esfuerzo – deformación.....199
Resultados de Modelado Axisimétrico Usando el Modelo de Mohr Coulomb. 202

Resultados de Modelado Axisimétrico Usando el Modelo de Hardening Soil.....204

Resultados de Modelado Axisimétrico Usando el Modelo de Cam Clay Modificado206

Resultados de Modelado Axisimétrico Usando el Modelo de la Hipoplasticidad.....208

5.5.5 Simulación 3D de las probetas cilíndricas de los ensayos triaxiales por medio del Software ABAQUS. 210

Resultados de Modelado 3D Usando el Modelo de Mohr Coulomb Plasticidad mediante el Software ABAQUS (SIN Carga – Descarga) 213

Resultados de Modelado 3D Usando el Modelo de Mohr Coulomb Plasticidad mediante el Software ABAQUS (CON Carga – Descarga) 217

CAPITULO VI: ANALISIS, INTERPRETACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS ..221

6.1 Análisis de la simulación de cada curva esfuerzo – deformación de los Ensayos Triaxiales SIN carga – descarga (SOIL TEST). 221

6.2 Análisis de la simulación de cada curva esfuerzo – deformación de los Ensayos Triaxiales CON carga – descarga (SOIL TEST). 230

6.3 Análisis de los resultados de las curvas esfuerzo – deformación del modelado axisimétrico obtenidos del software Plaxis 2D. 239

6.4 Análisis de los resultados del modelado 3D obtenidos del software Abaqus. 242

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 244

7.1 CONCLUSIONES 244

Respecto a la simulación de las curvas esfuerzo – deformación (SOI TEST).....244

Respecto a la simulación de las curvas de los modelos Axisimetricos (Plaxis 2D) 246

Respecto a la simulación de las probetas cilíndricas 3D en el software ABAQUS.....247

7.2 RECOMENDACIONES 249

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 251

ANEXOS……..…….....259

ANEXO A Resultados de Laboratorio……..…….....260

ANEXO B Resultados de la Investigación……...…….…....329

ANEXO C Panel Fotográfico…….....483

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Descripción de los Grupos y Formaciones de la Geología local del Cusco.* 14

Tabla 2 *Parámetros básicos del modelo de Mohr Coulomb y los Ensayos a realizar*.....49

Tabla 3 *Parametros del Modelo Hardening Soil*.....53

Tabla 4 *Parámetros del Modelo Cam Clay Modificado según la teoría Inicial*.....58

Tabla 5 *Parámetros del Modelo Cam Clay Modificado para Plaxis versión 2023* 58

Tabla 6 *Parámetros a necesitar del Modelo de la Hipoplasticidad para arcillas* 64

Tabla 7 *Subprogramas Input y Output del Software Plaxis versión 2023* 68

Tabla 8 *Ensayos de Laboratorio a realizar con su respectiva normativa*.....82

Tabla 9 *Análisis Granulométrico del Material* 84

Tabla 10 *Cantidades en % de Fracciones de grava, arena y suelo fino en el material.* 84

Tabla 11 *Datos de Numero de Golpes para diferente Contenido de Humedad* 87

Tabla 12 *Procesamiento de Datos para la Obtención del Limite Plástico* 90

Tabla 13 *Resultados de la Obtención del Ensayo de Contenido de Humedad* 93

Tabla 14 *Resultados para obtener la Gravedad Especifica de Solidos* 96

Tabla 15 *Cargas aplicadas y esfuerzos en la muestra representativa* 99

Tabla 16 *Esfuerzos Aplicados (kg/cm2) vs Relación de Vacíos (e)* 99

Tabla 17 *Resumen de Resultados obtenidos para el ensayo de Corte Triaxial (Sin Carga - Descarga)*.....108

Tabla 18 *Resultados de Parámetros de Corte para M3, M2 y M5*.....110

Tabla 19 *Resultados de Parámetros de Corte residual para M3, M2 y M5*.....110

Tabla 20 *Resumen de Resultados obtenidos para el ensayo de Corte Triaxial (Con Carga - Descarga)*.....111

Tabla 21 *Resultados de Parámetros de Corte para M4, M1 y M6*.....113

Tabla 22 *Resultados de Parámetros de Corte Residual para M4, M1 y M6*.....113

Tabla 23 *Parámetros a obtener para la aplicación del Modelo de Mohr Coulomb* 114

Tabla 24 *Obtención del Parámetro de la Cohesión* 115

Tabla 25 *Obtención del Angulo de la Fricción* 115

Tabla 26 *Obtención del parámetro de Angulo de Dilatancia* 116

Tabla 27 *Obtención de Modulo de Elasticidad Ponderado para M2, M3 y M5* 117

Tabla 28 *Obtención de Modulo de Elasticidad Ponderado Para M4, M1 y M6* 117

Tabla 29 *Obtención del Parámetro de Relación de Poisson* 118

Tabla 30 *Parámetros de Mohr Coulomb para subir a Plaxis* 119

Tabla 31 *Parámetros a obtener para la aplicación del Modelo de Hardening Soil.* 120

Tabla 32 *Proceso para hacer la Regresión lineal de LN(M') y LN(E50)* 121

Tabla 33 *Proceso de Obtención de los valores de "a" y "m"* 122

Tabla 34 *Obtención de los parámetros de* $E50Ref$*, "m" y Pref.* 122

Tabla 35 *Obtención de Parámetros de* $E50Ref$ *y* $EurRef$ 123

Tabla 36 *Obtención del Parámetro de* $K0nc$ 124

Tabla 37 *Parámetro de Relación de Falla Rf=0.9* 125

Tabla 38 *Parámetros de Hardening Soil para subir a Plaxis* 126

Tabla 39 *Parámetros a obtener para la aplicación del Modelo de Cam Clay Modificado* 127

Tabla 40 *Obtención del Parámetro de Pendiente de Línea Critico M* 128

Tabla 41 *Obtención de Parámetros* λ *y* κ 130

Tabla 42 *Parámetro de Relación de Vacíos Inicial* 130

Tabla 43 *Parámetros de Cam Clay Modificado para subir a Plaxis* 131

Tabla 44 *Parámetros a obtener para la aplicación del Modelo de la Hipoplasticidad* 132

Tabla 45 *Angulo de Fricción Critico y Pt* 134

Tabla 46 *Valores de Ln (σ) vs Ln (1+e)* 135

Tabla 47 *Parámetros de* $(\lambda *)$, $\kappa *$ *y* N 137

Tabla 48 *Parámetros del Modelo de la Hipoplasticidad para subir a Plaxis*.....140

Tabla 49 *Datos Generales a ingresar en la Herramienta Soil Test para todos los modelos.*147

Tabla 50 *Calibración de Parámetros de Mohr Coulomb (SIN carga – descarga)*……..151

Tabla 51 *Calibración de Parámetros de Mohr Coulomb (CON carga – descarga)* 156

Tabla 52 *Calibración de Parámetros de Hardening Soil (SIN carga – descarga)* 161

Tabla 53 *Calibración de Parámetros de Hardening Soil (CON carga – descarga)* 166

Tabla 54 *Calibración de Parámetros de Modelo Cam Clay Modificado (SIN carga – descarga)*.....171

Tabla 55 *Calibración de Parámetros de Modelo Cam Clay Modificado (CON carga – descarga)*.....176

Tabla 56 *Parámetros faltantes a calibrar para el Modelo de la Hipoplasticidad.* 178

Tabla 57 *Parámetros r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y X a calibrar para la Muestra M3 (50kPa)* 181

Tabla 58 *Parámetros r, R,* mR *,*mT*,* βr *y X a calibrar para la Muestra M2 (89kPa).* 183

Tabla 59 *Parámetros r, R,* mR *,*mT*,* βr *y X a calibrar para la Muestra M5 (150kPa).* 185

Tabla 60 *Parámetros finales para M3, M2 y M5.* 187

Tabla 61 *Parámetros r, R,* mR *,*mT*,* βr *y X a calibrar para la Muestra M4 (50kPa).* 190

Tabla 62 *Parámetros r, R,* mR *,*mT*,* βr *y X a calibrar para la Muestra M1 (89kPa).* 192

Tabla 63 *Parámetros r, R,* mR *,*mT*,* βr *y X a calibrar para la Muestra M6 (150kPa).* 194

Tabla 64 *Parámetros finales para M4, M1 y M6.* 196

Tabla 65 *Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M3 (50kPa).* 223

Tabla 66 *Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M2 (89kPa).* 225

Tabla 67 *Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M5 (150kPa).* 228

Tabla 68 *Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M4 (50kPa).* 232

Tabla 69 *Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M1 (89kPa).* 234

Tabla 70 *Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M6 (150kPa).* 237

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Operacionalización de Variables Independientes* 7

Figura 2 *Operacionalización de Variables Dependientes*.....7

Figura 3 *Las Unidades Geomorfológicas dentro del Cuadrángulo del Cusco*.....12

Figura 4 *Mapa Geológico del Valle del Cusco* 16

Figura 5 *Estratigrafía de la Formación San Sebastián y Formación Chinchero*.....17

Figura 6 *Sedimentos de características finas al norte de la Formación San Sebastián*.....18

Figura 7 *Abertura dentro de la estructura de suelo en la zona norte de San Sebastián* 19

Figura 8 *Deslizamiento de tierra en el sur de El Molino*.....20

Figura 9 *Sector Norte de San Sebastián de alto riesgo de deslizamientos.* 21

Figura 10 *(a) Superficie de Hvorslev y Superficie de Roscoe; (b) Línea de Estado Crítico CSL*.....24

Figura 11 *Plano Ln(p')- v que contiene las líneas NCL y CSL* 24

Figura 12 *Lado húmedo y seco en la línea CSL y Curvas esfuerzo-deformación* 25

Figura 13 *Típicas curvas esfuerzo - deformación de ensayos de corte.* 26

Figura 14 *Teoría del estado crítico para arcillas normalmente consolidadas* 28

Figura 15 *Teoría del estado crítico para arcillas sobreconsolidadas* 30

Figura 16 *Comportamientos elastoplásticos del suelo* 31

Figura 17 *Formas de hallar el módulo tangente y secante*.....32

Figura 18 *Curva de Compresibilidad de relación de vacíos (e) vs Log (Esfuerzo aplicado)* .34

Figura 19 *Angulo de plano de falla y los parámetros de cohesión y Angulo de fricción* 35

Figura 20 Esquema de la cámara de un equipo de corte triaxial 37

Figura 21 *Superficie de fluencia del Modelo Cam Clay Modificado* 40

Figura 22 *Superficie de fluencia doble del Modelo de Hardening Soil*.....41

Figura 23 *Los vectores de flujo plástico y las superficies de fluencia y equipotencial* 42

Figura 24 *Componentes que conforman el comportamiento elastoplástico del suelo* 43

Figura 25 *Flujo para el desarrollo de modelos constitutivos* 44

Figura 26 *Ecuaciones para la superficie de fluencia en términos de los esfuerzos principales* 45

Figura 27 *Funciones de potencial plástico para el modelo de Mohr Coulomb* 46

Figura 28 *Superficie de Fluencia para el modelo de Mohr Coulomb* 46

Figura 29 *Comportamiento elastoplástico perfecto del Modelo de Mohr Coulomb* 47

Figura 30 *Módulos de Rigidez Eo, E50 y Eur.* 48

Figura 31 *Parámetros de Relación de Poisson y Angulo de Dilatancia*.....49

Figura 32 *Comportamiento del Modelo de Hardening Soil en la curva esfuerzo - deformación* 51

Figura 33 *Superficie de fluencia del Modelo de Cam Clay modificado y Parámetro M*.....55

Figura 34 *Curva esfuerzo - deformación del Modelo Cam Clay Modificado* 55

Figura 35 *Distintas curvas obtenidas del ensayo de corte triaxial para el estado crítico de suelos*.....57

Figura 36 *Efecto del concepto de la deformación intergranular en el modelo de la Hipoplasticidad*.....60

Figura 37 *Determinación de los parámetros N,* $\lambda*$ *y* $\kappa*$ 61

Figura 38 *Calibración de parámetros N,* $\lambda*$ *y* $\kappa*$ *y el estudio parámetro de r* 62

Figura 39 *Introducción del método de elementos finitos en la Solución de Modelos Geotécnicos*.....66

Figura 40 *Resultados de deformaciones para un modelo de excavación con muros anclados desarrollado en el Software Plaxis* 69

Figura 41 *Metodología y Proceso General de la Investigación* 75

Figura 42 *Comparación entre la Curvas experimentales y curvas de Modelos* 76

Figura 43 *Ubicación geográfica en el Distrito de San Sebastián – Cusco del punto de Investigación* 78

Figura 44 *Talud del tramo a investigar, con los diferentes tipos de suelos que conforman.* ..79

Figura 45 *Extracción de Muestras Alteradas* 80

Figura 46 *Extracción de Muestra Inalterada en C - 1* 80

Figura 47 *Extracción de Muestras Inalteradas de C - 2* 81

Figura 48 *Procedimiento de ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado para esta investigación.* 83

Figura 49 *Proceso de Análisis Granulométrico tamizado en Laboratorio* 83

Figura 50 *Procedimiento para hallar el Limite Liquido* 86

Figura 51 *Ensayo de Limite Liquido en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales* 87

Figura 52 *Regresión lineal para la Obtención del Limite Liquido* 88

Figura 53 *Procedimiento para hallar el Limite Plástico* 89

Figura 54 *Proceso de ensayo del Limite Plástico en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales* 89

Figura 55 *Clasificación de Suelo para suelos de Grano Fino* 91

Figura 56 *Carta de Plasticidad para Clasificación de Suelos Finos* 91

Figura 57 *Procedimiento para hallar el Contenido de Humedad del Suelo* 92

Figura 58 *Proceso de ensayo de Contenido de Humedad en el Laboratorio de Suelos y Materiales* 93

Figura 59 *Procedimiento para el ensayo de Gravedad Especifica de Solidos* 94

Figura 60 *Ensayo de Gravedad especifica en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales* 95

Figura 61 *Procedimiento para el ensayo de Consolidación Unidimensional* 97

Figura 62 *Ensayo de Consolidación Unidimensional en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales* 98

Figura 63 *Plano de Esfuerzo Aplicado (kg/cm2)-escala logarítmica VS Relación de Vacíos* 100

Figura 64 *Proceso de Extracción de muestras en el campo y su registro en el Laboratorio* 102

Figura 65 *Procedimiento del Ensayo de Corte Triaxial Drenado* 105

Figura 66 *Procedimiento de Ensayo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales* 106

Figura 67 *Resultados de las Curvas Esfuerzo - Deformación para M3, M2 y M5* 109

Figura 68 *Resultados de Variación Volumétrica vs Deformación Unitaria de M3, M2 y M5* 109

Figura 69 *Criterio de falla de Mohr Coulomb para M3, M2 y M5* 110

Figura 70 *Resultados de las curvas Esfuerzo - Deformación para M4, M1 y M6* 112

Figura 71 *Resultados de la Variación Volumétrica para M4, M1 y M6* 112

Figura 72 *Criterio de falla de Mohr Coulomb para M4, M1 y M6* 113

Figura 73 *Pendiente M para el ensayo SIN carga - descarga* 128

Figura 74 *Pendiente M para el ensayo CON carga - descarga* 129

Figura 75 *Envolvente de Falla para la Obtención de los Parámetros de Corte residuales para las Muestras M3, M2 y M5 (SIN carga – descarga).* 133

Figura 76 *Envolvente de Falla para la Obtención de los Parámetros de Corte residuales para las Muestras M4, M1 y M6 (CON carga – descarga).* 134

Figura 77 *Curvas de Compresibilidad y Expansión para Hipoplasticidad* 136

Figura 78 *Pestaña de Herramienta Soil Test para el Modelo de la Hipoplasticidad* 139

Figura 79 *Ventana de la Herramienta Soil test para un Respectivo Material* 142

Figura 80 *Ubicación de la barra de Herramientas Lateral (Side tool bar)* 143

Figura 81 *Ventana de Material Sets*.....144

Figura 82 *Ventana de - Soil – para el ingreso del modelo a usar y propiedades del material a tratar.*.....145

Figura 83 *Ingreso de parámetros de Modelo Constitutivo a tratar.* 145

Figura 84 *Ventana de Herramienta Soil Test de Plaxis para un Material Seleccionado*. 146

Figura 85 *(a) Creación de Material para el Ensayo SIN carga - descarga, (b) Ingreso de parametros y propiedades mecanicas para el Modelo de Mohr Coulomb seleccionado.* 148

Figura 86 *Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) (SIN carga - descarga)*.....149

Figura 87 *Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M3, M2 y M5 (SIN carga - descarga) por el Modelo de Mohr Coulomb*.....150

Figura 88 *Calibración de los parámetros de Mohr Coulomb para las curvas SIN carga - descarga (M3, M2 y M5)*.....152

Figura 89 *Simulación Calibrada Mohr Coulomb de las curvas experimentales M3, M2 y M5.* 152

Figura 90 *(a) Creación de Material para el Ensayo CON carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de Mohr Coulomb seleccionado.* 153

Figura 91 *Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) (CON carga - descarga)*.....154

Figura 92 *Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M4, M1 y M6 (CON carga - descarga) por el Modelo de Mohr Coulomb*.....155

Figura 93 *Calibración de los parámetros de Mohr Coulomb para las curvas CON carga - descarga (M4, M1 y M6)*.....157

Figura 94 *Simulación Calibrada Mohr Coulomb de las curvas experimentales M4, M1 y M6.* 157

Figura 95 *(a) Creación de Material para el Ensayo SIN carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de Hardening Soil seleccionado.* 158

Figura 96 *Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) (SIN carga - descarga)* 159

Figura 97 *Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M3, M2 y M5 (SIN carga - descarga) por el Modelo de Hardening Soil.* 160

Figura 98 *Calibración de los parámetros de Hardening Soil para las curvas SIN carga - descarga (M3, M2 y M5)*.....162

Figura 99 *(a) Creación de Material para el Ensayo CON carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de Hardening Soil seleccionado.* 163

Figura 100 *Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) (CON carga - descarga)* 164

Figura 101 *Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M4, M1 y M6 (CON carga - descarga) por el Modelo de Hardening Soil* 165

Figura 102 *Calibración de los parámetros de Hardening Soil para las curvas CON carga - descarga (M4, M1 y M6)*.....167

Figura 103 *(a) Creación de Material para el Ensayo SIN carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas del Modelo de Cam Clay Modificado.* 168

Figura 104 *Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) (SIN carga - descarga)*.....169

Figura 105 *Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M3, M2 y M5 (SIN carga - descarga) por el Modelo Cam Clay Modificado.* 170

Figura 106 *Calibración de los parámetros de Cam Clay Modificado para las curvas SIN carga - descarga (M3, M2 y M5)* 172

Figura 107 *(a) Creación de Material para el Ensayo CON carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas del Modelo de Cam Clay Modificado*. 173

Figura 108 *Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) (CON carga - descarga)* 174

Figura 109 *Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M4, M1 y M6 (CON carga - descarga) por el Modelo Cam Clay Modificado* 175

Figura 110 *Calibración de los parámetros de Cam Clay Modificado para las curvas CON carga - descarga (M4, M1 y M6)* 177

Figura 111 *Intento de Calibración con un set de parámetros para la simulación de las curvas esfuerzo - deformación.*.....179

Figura 112 *(a) Creación de Material para el Ensayo SIN carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de la Hipoplasticidad.*.....180

Figura 113 *Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M3 (50kPa)* 182

Figura 114 *Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M3 (50kPa)*.....182

Figura 115 *Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M2 (89kPa)* 184

Figura 116 *Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M2 (89kPa)*.....184

Figura 117 *Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M5 (150kPa)* 186

Figura 118 *Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M5 (150kPa)*.....186

Figura 119 *Curvas Esfuerzo - Deformación para M3, M2 y M5 en la herramienta Soil Test.* 188

Figura 120 *Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación para M3, M2 y M5 (SIN Carga – Descarga)*.....188

Figura 121 *(a) Creación de Material para el Ensayo CON carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de la Hipoplasticidad.*.....189

Figura 122 *Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M4 (50kPa)* 191

Figura 123 *Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M4 (50kPa)*.....191

Figura 124 *Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M1 (89kPa).* 193

Figura 125 *Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M1 (89kPa).*.....193

Figura 126 *Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M6 (150kPa).* 195

Figura 127 *Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M6 (150kPa).*.....195

Figura 128 *Curvas Esfuerzo - Deformación para M4, M1 y M6 en la herramienta Soil Test.* 197

Figura 129 *Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación para M4, M1 y M6 (CON Carga – Descarga)*.....197

Figura 130 *Uso de Sección para el modelado axisimétrico en el software Plaxis 2D.* 199

Figura 131 *Proceso de ingreso de datos y ejecución del modelado axisimétrico en Plaxis 2D* 201

Figura 132 *Resultados de las deformaciones en Plaxis Output.*.....201

Figura 133 *Curvas de modelado para las Muestras M3 (50Kpa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) – Mohr Coulomb*.....202

Figura 134 *Curvas de Modelado Axisimétrico Mohr Coulomb SIN C - D con las curvas experimentales*.....202

Figura 135 *Curvas de modelado para las Muestras M4 (50Kpa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) – Mohr Coulomb*.....203

Figura 136 *Curvas de Modelado Axisimétrico Mohr Coulomb CON C - D con las curvas experimentales*.....203

Figura 137 *Curvas de modelado para las Muestras M3 (50Kpa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) – Hardening Soil*.....204

Figura 138 *Curvas de Modelado Axisimétrico Hardening Soil SIN C - D con las curvas experimentales*.....204

Figura 139 *Curvas de modelado para las Muestras M4 (50Kpa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) – Hardening Soil*.....205

Figura 140 *Curvas de Modelado Axisimétrico Hardening Soil CON C - D con las curvas experimentales*.....205

Figura 141 *Curvas de modelado para las Muestras M3 (50Kpa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) – Cam Clay Modif.*.....206

Figura 142 *Curvas de Modelado Axisimétrico Cam Clay Modificado SIN C - D con las curvas experimentales*.....206

Figura 143 *Curvas de modelado para las Muestras M4 (50Kpa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) – Cam Clay Modif.*.....207

Figura 144 *Curvas de Modelado Axisimétrico Cam Clay Modificado CON C - D con las curvas experimentales*.....207

Figura 145 Curvas de modelado para las Muestras M3 (50Kpa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) – Hipoplasticidad. 208

Figura 146 Curvas de Modelado Axisimétrico Hipoplasticidad SIN C - D con las curvas experimentales 208

Figura 147 *Curvas de modelado para las Muestras M4 (50Kpa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) – Hipoplasticidad*.....209

Figura 148 *Curvas de Modelado Axisimétrico Hipoplasticidad CON C - D con las curvas experimentales* 209

Figura 149 *Modelado en 3D e ingreso de propiedades de material en el software ABAQUS.* 210

Figura 150 *Proceso de ingreso de cargas, deformaciones y condiciones de contorno en el modelo 3D*.....211

Figura 151 *Proceso de enmallado del modelo 3D en ABAQUS*.....212

Figura 152 *Proceso de ejecución en "Job" para los resultados en ABAQUS* 212

Figura 153 *Resultados de Simulación de Probeta M3 (50kPa) y Aproximacion al modo de falla de M3 (50kPa)* 213

Figura 154 *Resultados de Simulación de Probeta M2 (89kPa) y Aproximación al modo de falla de M2* (89kPa) 214

Figura 155 *Resultados de Simulación de Probeta M5 (150kPa) y Aproximación al modo de falla de M5 (150kPa)* 215

Figura 156 *Comparación entre las curvas esfuerzo - deformación experimentales y de modelado ABAQUS (Caso SIN carga – descarga)* 216

Figura 157 *Resultados de Simulación de Probeta M4 (50kPa) y Aproximación al modo de falla de M4 (50kPa)* 217

Figura 158 *Resultados de Simulación de Probeta M1 (89kPa) y Aproximación al modo de falla de M1 (89kPa*) 218

Figura 159 *Resultados de Simulación de Probeta M6 (150kPa) y Aproximación al modo de falla de M6 (150kPa)* 219

Figura 160 *Comparación entre las curvas esfuerzo - deformación experimentales y de modelado ABAQUS (Caso CON carga – descarga)* 220

Figura 161 *Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M3 (50kPa).*.....221

Figura 162 *Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M2 (89kPa).*.....225

Figura 163 *Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M5 (150kPa).*...226

Figura 164 *Valores de la proporción del Esfuerzo Máximo de los Modelos con respecto al Esfuerzo Maximo de Laboratorio en porcentaje de M3, M2 y M5.* 229

Figura 165 *Valores de la proporción del Esfuerzo Residual de los Modelos con respecto al Esfuerzo Residual de Laboratorio en porcentaje de M3, M2 y M5.* 229

Figura 166 *Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M4 (50kPa).*.....230

Figura 167 *Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M1 (89kPa).*.....234

Figura 168 *Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M6 (150kPa).*...235

Figura 169 *Valores de la proporción del Esfuerzo Máximo de los Modelos con respecto al Esfuerzo Máximo de Laboratorio en porcentaje de M4, M1 y M6.* 238

Figura 170 *Valores de la proporción del Esfuerzo Residual de los Modelos con respecto al Esfuerzo Residual de Laboratorio en porcentaje de M4, M1 y M6.* 238

Figura C1 *Secado del material de suelos para tamizado* 484

Figura C2 *1er Cuarteo del material de suelos para tamizado* 484

Figura C3 *2do Cuarteo del material de suelos para tamizado*.....485

Figura C4 *Tamizado por la Malla Nro. 10* 485

Figura C5 *Tamizado por la Malla Nro 40 para obtención de material para hallar los límites de plasticidad* 486

Figura C6 *Deslehizamiento de la muestra tamizada por la Malla Nro 10*.....486

Figura C7 *Lavado, obtención y secado al horno de suelo retenido por la Malla Nro 200* ..487

Figura C8 *Tamizado de Suelo seco a través del conjunto de mallas para la obtención de suelos retenidos y para la construcción de la curva granulométrica*.....487

Figura C9 *Extracción de material de suelo de la muestra inalterada*.....488

Figura C10 *Colocación y Peso de muestras húmedas en las capsulas respectivas* 488

Figura C11 *Colocación de muestras húmedas en el horno por 24hrs*.....489

Figura C12 *Extracción y medida de peso de muestras secas* 489

Figura C13 *Procedimiento para hacer el ensayo de límites de Atterberg para la obtención del límite Liquido.* 490

Figura C14 *Procedimiento para hacer el ensayo de límites de Atterberg para la obtención del límite Plástico* 491

Figura C15 *Procedimiento de tamizado para la obtención de material que pasa la malla Nro. 4* 492

Figura C16 *Procedimiento para la obtención de la gravedad especifica de Solidos – primera muestra*.....493

Figura C17 *Procedimiento para la obtención de la gravedad especifica de Solidos – segunda muestra*.....494

Figura C18 *Preparación de herramientas y tallado para obtención de muestra inalterada*495

Figura C19 *Colocación en el Edómetro y contra expansión de la muestra* 496

Figura C20 *Colocación de carga de 1kg y Lectura de dial de deformación* 497

Figura C21 *Colocación de carga de 2kg y Lectura de dial de deformación* 497

Figura C22 *Colocación de carga de 4kg y Lectura de dial de deformación* 498

Figura C23 *Colocación de carga de 8kg y Lectura de dial de deformación* 498

Figura C24 *Colocación de carga de 16kg y Lectura de dial de deformación* 499

Figura C25 *Colocación de carga de 32kg y Lectura de dial de deformación* 499

Figura C26 *Proceso de Descarga y lecturas de deformación* 500

Figura C27 *Proceso de desmontaje de Edómetro y colocación en horno* 500

Figura C28 *Extracción insitu de muestras inalteradas de cada estrato, así como peso y medida de dimensiones en el laboratorio (De la muestra 01 a la muestra 04)* 501

Figura C29 *Peso y Medida de dimensiones en el laboratorio (De la muestra 05 a la muestra 08)* 502

Figura C30 *Peso y Medida de dimensiones en el laboratorio (De la muestra 09 a la muestra 14)* 503

Figura C31 *Peso y Medida de dimensiones en el laboratorio (De la muestra 15 a la muestra 18 - Incluyendo la muestra del primer estrato superior O')* 504

Figura C32 *Extracción de especímenes de suelo de arcilla inalteradas para obtención de muestras cilíndricas para el ensayo de corte Triaxial* 505

Figura C33 *Tallado de muestras cilíndricas de arcilla inalteradas para el ensayo de corte triaxial* 506

Figura C34 *Empaquetado de muestras cilíndricas talladas* 507

Figura C35 *Preparación del equipo de corte triaxial* 507

Figura C36 *Pesos y Medidas de muestras M2 y M1 cilíndricas antes de montaje en cámaras* 508

Figura C37 *Montaje de muestras cilíndricas M2 en cámara de confinamiento* 509

Figura C38 *Montaje de muestras cilíndricas M1 en cámara de confinamiento* 510

Figura C39 *Llenado de cámaras de confinamiento con agua desaireada y posicionamiento de M2 Y M1* 511

Figura C40 *Colocación de Presión y Contrapresión para la SATURACION de las muestras cilíndricas M2 y M1 y cálculo del parámetro de Skempton* 512

Figura C41 *Consolidación de la Muestra Cilíndrica M2*.....513

Figura C42 *Corte de muestra cilíndrica M2* 513

Figura C43 *Consolidación de la Muestra Cilíndrica M1*.....514

Figura C44 *Corte de muestra cilíndrica M1* 514

Figura C45 *Desmontaje, peso y secado al horno de muestras cilíndricas M2 y M1* 515

Figura C46 *Pesos y Medidas de muestras M3 y M4 cilíndricas antes de montaje en cámaras* 516

Figura C47 *Montaje de muestras cilíndricas M3 y M4 en cámaras de confinamiento*.....517

Figura C48 *Llenado de cámaras de confinamiento con agua desaireada y posicionamiento de M3 y M4* 518

Figura C49 *Colocación de Presión y Contrapresión para la SATURACION de las muestras cilíndricas M3 y M4 y cálculo del parámetro de Skempton* 518

Figura C50 *Consolidación de la Muestra Cilíndrica M3*.....519

Figura C51 *Corte de muestra cilíndrica M3* 519

Figura C52 *Consolidación de la Muestra Cilíndrica M4*.....520

Figura C53 *Corte de muestra cilíndrica M4* 520

Figura C54 *Desmontaje, peso y secado al horno de muestras cilíndricas M3 y M4* 521

Figura C55 *Pesos y Medidas de muestras M5 y M6 cilíndricas antes de montaje en cámaras* 522

Figura C56 *Montaje de muestras cilíndricas M5 y M6 en cámaras de confinamiento*.....523

Figura C57 *Llenado de cámaras de confinamiento con agua desaireada y posicionamiento de M5 y M6* 523

Figura C58 *Colocación de Presión y Contrapresión para la SATURACION de las muestras cilíndricas M5 y M6 y cálculo del parámetro de Skempton* 524

Figura C59 *Consolidación de la Muestra Cilíndrica M5*.....524

Figura C60 *Corte de muestra cilíndrica M5* 525

Figura C61 *Consolidación de la Muestra Cilíndrica M6*.....526

Figura C62 *Corte de muestra cilíndrica M6* 526

Figura C63 *Desmontaje, peso y secado al horno de muestras cilíndricas M5 y M6* 527

Figura C64 *Fotografías con todas las seis muestras cilíndricas ensayadas*.....528

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

Ac: Área de la parte superior de la probeta cilíndrica después de la consolidación

APV: Asociación de Propietarios de Viviendas

ASCE: American Society of Civil Engineers

ASTM: American Society for Testing and Materials

Ao: Área inicial de la parte superior de la probeta cilíndrica antes de la consolidación

B: Parámetro de Skempton

BP: Contrapresión de celda en un ensayo de corte triaxial

BVP: Problema de valores de contorno

C: Cohesión

Cc: Índice de Compresibilidad

CH: Arcilla de Alta Compresibilidad

Cs: Índice de Abultamiento o Expansión

CCM: Cam Clay Model (Modelo Cam Clay Modificado)

CON C-D: Con carga – descarga

CP: Presión de Celda en un ensayo de corte triaxial

CSL: Critical State Line (Línea de Estado Crítico)

CTE. BURETA BASE (ml): Constante de bureta base en mililitros

Cu: Cohesión No drenada (Parámetro de Resistencia No Drenada)

Def (%) (Deform): Deformación Unitaria en porcentaje

Ensayo CD: Ensayo Triaxial Consolidado Drenado

Ensayo CU: Ensayo Triaxial Consolidado No Drenado

Ensayo UU: Ensayo Triaxial No Consolidado No Drenado

E: Modulo de Elasticidad

Esf. Desv.: Esfuerzo Desviador en kPa

e_{init}: Relación de Vacíos Inicial

e_n : Relación de vacíos para cada carga aplicada

e_0: Relación de vacíos inicial

E_{oed}: Modulo de Elasticidad Edométrico

E_s: Modulo de Elasticidad Secante (Secant Modulus)

E_{ur}: Modulo de Elasticidad de descarga y recarga

Ev: Deformación Volumétrica hasta un punto dado

Ex: Deformación Unitaria hasta un punto dado

E_o: Modulo de Elasticidad Inicial.

E_{50}: Modulo de Elasticidad al 50% de Esfuerzo Maximo.

E_{oed}^{Ref}: Módulo de Elasticidad Edométrico de Referencia.

E_{ur}^{Ref}: Módulo de Elasticidad de carga y descarga de Referencia.

E_{50}^{Ref}: Módulo de Elasticidad de Referencia al 50% de Esfuerzo Máximo.

FEM: Finite Element Method

Fext: Fuerza o fuerzas externas

FIUBA: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires

G: Modulo de Corte

Gs: Gravedad especifica de Solidos

Hs: Altura de solidos

HS: Modelo de Hardening Soil

HIPO (HP, HYPO): Modelo de la Hipoplasticidad

INACAL: Instituto Nacional de Calidad

INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

IP: Índice de Plasticidad

kPa: KiloPascales

K_0^{nc}*:* Coeficiente de presión lateral de tierras

Ln: Logaritmo Natural

m: Dependencia de rigidez de estado de esfuerzos

MC: Modelo de Mohr Coulomb

MEF: Método de Elemento Finito

M: Pendiente de Línea de Estad Critico

M. Hipoplasticidad: Modelo de la Hipoplasticidad

M1: Representa la muestra cilíndrica ensayada en el ensayo de corte triaxial CON carga – descarga con un esfuerzo de confinamiento de 89Kpa

M2: Representa la muestra cilíndrica ensayada en el ensayo de corte triaxial SIN carga – descarga con un esfuerzo de confinamiento de 89Kpa

M3: Representa la muestra cilíndrica ensayada en el ensayo de corte triaxial SIN carga – descarga con un esfuerzo de confinamiento de 50Kpa

M4: Representa la muestra cilíndrica ensayada en el ensayo de corte triaxial CON carga – descarga con un esfuerzo de confinamiento de 50Kpa

M5: Representa la muestra cilíndrica ensayada en el ensayo de corte triaxial SIN carga – descarga con un esfuerzo de confinamiento de 150Kpa

M6: Representa la muestra cilíndrica ensayada en el ensayo de corte triaxial CON carga – descarga con un esfuerzo de confinamiento de 150Kpa

N:(Cam Clay Modificado): Valor de la ordenada a 1kPa en un espacio de *deformación volumétrica* vs *Ln(p')* para la linea de consolidación Normal (NCL).

N: Norte

N (Hipoplasticidad): Valor de la ordenada (1+e) al proyectar la línea de carga isotrópica en un espacio *Ln(1+e)* vs *Ln(p)*

NCL: Normal Consolidation Line (Línea de Consolidación Normal)

NE: Noreste

NO: Noroeste

NTP: Norma Técnica Peruana

NW: Northwest (Noroeste en inglés)

Pref: Presión de Referencia (100kPa)

PI: Plasticity Index (Índice de Plasticidad)

Pc': Presión de Pre Consolidación

Po': Presión de aplicación actual o esfuerzo actuante presente

p y q: Esfuerzo promedio y esfuerzo desviador medio, respectivamente (Criterio del MIT)

p' y q': Esfuerzos normal promedio y esfuerzo desviador, respectivamente (Criterio de Cambridge)

p_t: Desplazamiento del esfuerzo medio por la cohesión (1kPa)

q': Esfuerzo desviador

qf: Esfuerzo desviador de falla

r: Relación entre el módulo de corte y de Bulk

Rf: Relación entre qf y qa

S: Sur

SIN C-D: Sin carga - descarga

SU: Sudoeste

SUCS: Sistema Unificado de Suelos

u: Presión de Poros

UNI: Universidad Nacional de Ingeniería

Urb.: Urbanización

v: Relación de Poisson:

qa: Valor Asintótico de resistencia de corte al suelo

v_u: Relación de Poisson para caso no drenado

v_{ur}: Relación de Poisson de carga y descarga

Vc: Velocidad de Corte en el ensayo de Corte Triaxial

Vo: Volumen Inicial de la probeta antes de la Consolidación

Vc (Volumen): Volumen de la probeta después de la Consolidación

W: West (Oeste)

Ws: Peso seco de Solidos

$\emptyset$ (φ): Angulo de Friccion

$\emptyset_{res}$: Angulo de Fricción Residual

ψ: Angulo de Dilatancia

Γ: Valor de la ordenada a 1kPa en un espacio de *deformación volumétrica* vs *Ln(p')* para la Línea de Estado Crítico (CSL)

ϕ_c (φ_c): Angulo de Fricción Critico

σ: Esfuerzo aplicado

σ': Esfuerzo de Confinamiento efectivo

σ_α: Esfuerzo Normal al plano de falla en una muestra cilindrica

σ1 (σ'_1):: Esfuerzo principal en un ensayo de Corte Triaxial que resulta de sumar σ'_3 y q' (en este caso efectivo)

σ3 (σ'_3): Esfuerzo de Confinamiento en un ensayo de corte triaxial (en este caso efectivo).

σmax: Esfuerzo Máximo

τ_α: Esfuerzo de Corte Tangencial al plano de falla en una muestra cilindrica.

Δu: Variación de Presión de Poros

ΔCP: Variación en la presión de Celda

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad simular el comportamiento esfuerzo – deformación del suelo a través del uso de modelos constitutivos para una arcilla sobreconsolidada de un talud perteneciente a una cantera específica ubicada en la APV. Villa Orccona - Cusco, y para ello se aplicó modelos como el Modelo de Mohr Coulomb, el modelo de Hardening Soil, el modelo de Cam Clay modificado y el modelo de la Hipoplasticidad, así como ensayos de laboratorio como: análisis granulométrico, límites de Atterberg, Contenido de Humedad, Gravedad específica de Solidos, Consolidación Unidimensional de Suelos, pesos unitarios y el Ensayo de Corte Triaxial.

Estos ensayos fueron necesarios para la obtención de los parámetros de los modelos, los cuales a través de la calibración y haciendo uso de la herramienta Soil Test, mediante el software Plaxis 2D y el software Abaqus, simularon las curvas esfuerzo – deformación de las curvas de laboratorio obtenidos de los ensayos de corte triaxial.

Cada uno de estos resultados fueron analizados, calibrados y comparados concluyendo que el Modelo de Mohr Coulomb solo puede simular la etapa del tramo pre pico de las curvas esfuerzo - deformación de laboratorio y que los modelos de Cam Clay Modificado y Hardening Soil no se logran ajustar a ello, sin embargo, el modelo de la Hipoplasticidad es el que mejor tuvo ajuste a las curvas de laboratorio, en el Soil Test, pero en el modelado axisimétrico no se logra adecuar completamente, demostrando la necesidad de la validación de los modelos.

Palabras clave: Ensayo de Corte Triaxial, Modelo constitutivo, Arcillas, Teoría del estado crítico, Curva esfuerzo – deformación.

ABSTRACT

The purpose of this research was to simulate the stress-strain behavior of soil using constitutive models for an overconsolidated clay slope belonging to a specific quarry located in the APV. Villa Orccona - Cusco. To this end, models such as the Mohr-Coulomb model, the Hardening Soil model, the modified Cam Clay model, and the Hypoplasticity model were applied, along with laboratory tests including: particle size analysis, Atterberg limits, moisture content, specific gravity of solids, one-dimensional soil consolidation, unit weights, and the triaxial shear test.

These tests were necessary to obtain the model parameters, which, through calibration and using the Soil Test tool with Plaxis 2D and Abaqus software, simulated the stress-strain curves of the laboratory curves obtained from the triaxial shear tests.

Each of these results was analyzed, calibrated, and compared, concluding that the Mohr-Coulomb model can only simulate the pre-peak stage of the laboratory stress-strain curves and that the Modified Cam Clay and Hardening Soil models fail to fit it. However, the Hypoplasticity model best fit the laboratory curves in the Soil Test, but it does not fully fit the axisymmetric modeling, demonstrating the need for model validation.

Keywords: Triaxial Shear Test, Constitutive model, Clays, Critical state theory, Stress-strain curve.

INTRODUCCION

El suelo es un material que ha sido estudiado durante mucho tiempo para ver sus propiedades, características, etc., y de esa manera tener un buen criterio y precisión al momento de diseñar, ejecutar y supervisar proyectos de infraestructura ya sea de mediana o alta complejidad. Muchos de estos proyectos se han diseñado con métodos analíticos y empíricos tales como la teoría de Resistencia al Corte, teoría de Consolidación de suelos, teoría de Rankine para empuje de suelos, etc., sin embargo, existen otros métodos más precisos para ver y entender el comportamiento del suelo, en especial para el caso de deformaciones y esfuerzos, que son muy útiles para de predecir y simular el comportamiento del suelo.

La presente investigación presenta una propuesta para aplicar modelos y métodos numéricos para el estudio del comportamiento del suelo, tal como es el caso de la aplicación de la teoría del estado crítico y el uso de ecuaciones constitutivas de los modelos constitutivos para la simulación del comportamiento de los suelos, que en este caso es para una arcilla sobreconsolidada perteneciente a la Formación San Sebastián. Los modelos constitutivos al ser aplicados en la presente tesis, como se mencionó, son el Modelo de Mohr Coulomb, el modelo de Hardening Soil, el modelo de Cam Clay modificado, y el modelo de la hipoplasticidad, los cuales se basan en la teoría de la plasticidad, mecánica del medio continuo, teoría del estado crítico, etc., y serán usados para simular la curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo de corte Triaxial.

La metodología también trata de la aplicación de ensayos de laboratorio para la obtención de los parámetros de cada modelo constitutivo entre los cuales los más importantes serán el ensayo de corte triaxial y el ensayo de consolidación de suelos dentro de los cuales se usarán muestras en estado inalterado ensayadas de acuerdo a la Normas Técnicas Peruanas y a la norma ASTM D7181-20.

Los parámetros de los modelos constitutivos presentados son uno de los objetivos principales para la simulación del comportamiento del suelo, ya que estos serán ingresados al software de Elementos Finitos llamado PLAXIS 2D en el cual se pueden hacer modelos numéricos de diferentes proyectos. Este programa contiene una herramienta llamada Soil test, que mediante la calibración de parámetros, nos permitirá la simulación de las curvas esfuerzo – deformación (sin necesidad de la creación de un modelo de elemento finito de ensayo de laboratorio) y evaluar cual de estos modelos simula un comportamiento más cercano a las curvas experimentales esfuerzo – deformación de laboratorio.

Adicionalmente también se harán modelos axisimétricos para validar la aplicación de los modelos constitutivos así como el uso del software Abaqus para el modelamiento 3D de las probetas cilíndricas del ensayo de corte triaxial.

Es muy importante mencionar que la presente investigación sirve de base para futuras investigaciones tales como los modelos dinámicos, la elastoviscoplasticidad, o para el comportamiento de suelos parcialmente saturados o u otros tipos de suelos, etc., en la ciudad del Cusco.

JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

El presente trabajo de investigación busca implementar nuevos métodos de investigación que estudien, analicen, simulen y predigan de mejor manera el comportamiento elastoplástico de suelos arcillosos en la ciudad del Cusco (en este caso para suelos sobre consolidados), esta mediante la aplicación de modelos constitutivos como los modelos de Hardening Soil, Cam Clay Modificado, Modelo de Hipoplasticidad y el de Mohr Coulomb que tienen el objetivo de aplicar formulaciones que relacionen de mejor manera los esfuerzos y deformaciones bajo diferentes condiciones de carga, situaciones en la cual los métodos analíticos y empíricos son limitados.

La aplicación de modelos constitutivos contribuirá a una metodología que nos permita el uso herramientas de modelamiento, como el uso del software Plaxis 2D o Abaqus, que nos permitan un mejor diseño óptimo y confiable de estructuras geotécnicas como cimentaciones, muros de contención, muros anclados en excavaciones profundas, terraplenes, etc, mediante la calibración de estos modelos para dar soluciones geotécnicas en las construcciones a pie de obra a través de criterios de influencia mediante la aplicación de los modelos ya sea para su estabilización o el control de deformaciones de una forma más precisa y rápida.

Una finalidad importante de la presente investigación mediante el uso de modelos constitutivos en el estudio del comportamiento mecánico de los suelos es el punto de partida para futuras investigaciones en suelos arcillosos para la determinación, por ejemplo, del comportamiento elastoviscoplástico en suelos cohesivos así como el uso de nuevos métodos numéricos para el diseño de estructuras geotécnicas y también para la investigación de los esfuerzos efectivos para suelos no saturados que en los últimos años ha tomado mucha importancia.

Como se mencionó anteriormente esta investigación contribuirá al conocimiento de nuevas metodologías en análisis de suelos para los estudiantes de Ingeniería y crear nuevas

líneas de investigación que contribuyan al estudio del comportamiento mecánico no lineal del suelo en la Ciudad del Cusco.

Alcance

La investigación se hace en base a los suelos extraídos de un talud de una cantera perteneciente a la Formación San Sebastián ubicada en el APV. Villa Allpa Orccona, cerca de la dirección de la prolongación Calle Intiraymi en el distrito de San Sebastián – Cusco, del cual se extrajeron seis muestras inalteradas para la formación de seis muestras cilíndricas para los ensayos de corte triaxial y otra muestra inalterada para el ensayo de consolidación unidimensional asi como muestras alteradas para otros ensayos como el análisis granulométrico.

Viabilidad

La investigación cuenta con los equipos necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco para cada ensayo de laboratorio, en especial para el equipo de Corte triaxial.

El presente tesista contó con los recursos necesarios para la investigación tal como equipos para la extracción y transporte de muestras, así como los recursos económicos y conocimientos necesarios para la realización de la investigación.

Limitaciones

La presente investigación está orientada al estudio del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica perteneciente a la Formación San Sebastián ubicada en el APV. Villa Allpa Orccona - Cusco.

Se hace uso del equipo de corte Triaxial para la obtención de parámetros de corte, por lo que para el uso de modelos dinámicos esta fuera del alcance de la investigación debido a la no disponibilidad del equipo de corte Triaxial Cíclico.

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del Problema

1.1.1 Situación problemática

Desde hace décadas muchos investigadores geotécnicos formulan métodos ya sea empíricos o analíticos para buscar formas que estudien de mejor manera el comportamiento mecánico de los suelos, sin embargo hoy en día se tratan de aplicar nuevas metodologías como los métodos numéricos para formular ecuaciones a partir de las relaciones esfuerzo-deformación que ocurren dentro de un elemento de suelo dado y así poder simular su comportamiento adecuadamente, algunos de estos métodos nos dan los modelos constitutivos.

Benavente et al. (2004) mencionan que:

> Las arcillas que predominan en el área del proyecto son en su mayoría suelos de color marrón rojizo de plasticidad media, de alta resistencia y baja compresibilidad, suelos transportados de origen lacustre aluvial, que se depositan en la parte baja del valle del Cusco, antiguamente ocupado por el Lago Morkill. Las arcillas rojas en general son medianamente resistentes competentes para cimentación de edificaciones. (pp. 107-108)

Adicionalmente a lo anterior, el mismo estudio indica que existen zonas de alto riesgo de peligro donde se tiene una baja capacidad admisible del suelo y no se pueden tomar como dato para el diseño de cimentaciones en los lugares indicados, por lo tanto, aún falta muchos lugares por zonificar.

Adicionalmente a esto según el plano P-07 del estudio anteriormente mencionado indica que la existencia de suelos finos, en su mayoría arcillas, conforman casi el 50% de la zona urbanística y las zonas donde se pretende construir edificaciones conforme va creciendo la población cusqueña (Benavente et al.,2004).

Incluso el derrumbe de un yacimiento de arcilla conformada por estratos arcillosos y limosos en la Zona de Petro Perú-Cusco, el asentamiento de una edificación de varios niveles en el Distrito de San Jerónimo ubicado frente a la Universidad Andina del Cusco a mediados del 2022, el colapso de la base de una edificación en la Urb. Manuel Prado mientras se hacían trabajos de sótano también a mediados del 2022 incluyendo algunas otras posibles situaciones de este tipo abre la necesidad de investigar más acerca de la descripción, análisis, simulación, predicción y mejorar la forma de estudiar el comportamiento mecánico de estos suelos para un mejor diseño óptimo de cimentaciones, taludes, muros de contención, terraplenes, etc. o u otra estructura que esta cimentada o apoyada sobre estos suelos en la Ciudad del Cusco.

La enseñanza, aplicación e investigación de los modelos constitutivos en el país aún es temprana y varios países de nuestra región como México, Colombia, Chile, Brasil y hasta Venezuela ya han estado aplicando estos métodos en sus programas curriculares de sus universidades en sus respectivas escuelas profesionales de Ingeniera Civil. El Perú y más la ciudad del Cusco no es excepción en este tipo avances que cada día se innova más y más con lo cual la presente tesis trata de impulsar su implementación en el programa de tópicos especiales de la carrera profesional de Ingeniería Civil.

En el sector minero la construcción y estabilización de depósitos de relaves mineros han tenido cierta dificultad en cuanto al modelamiento de estas, como sabemos algunas de estas estructuras se asientan sobre estratos arcillosos y hasta tienen partes conformadas por arenas, esto da camino a los llamados “problemas de borde o de contorno”, por lo tanto la búsqueda de nuevos métodos para estabilizar estas estructuras de una forma más rápida y precisa ha estado creciendo en los últimos años y la aplicación de modelos constitutivos no es ajeno a ello tanto así que la investigación puede también tener un alcance al estudio del comportamiento mecánico de arenas tanto para suelos del sector minero como para el sector de la ciudad del Cusco.

En los últimos años para conocer más sobre el comportamiento del suelo se ha propuesto también el comportamiento elastoviscoplásticos que ocurren en las arcillas donde se ve involucrada la anisotropía cuando son sometidas a cargas y durante el tiempo tienden a cambiar de dirección (González, 2021). Pero en el estudio de los suelos del Cusco no se ha dado mucha importancia a este fenómeno que últimamente ha cobrado importancia en estudio de suelos arcillosos, la presente tesis trata ser un punto de partida para estas futuras investigaciones como primer paso implementando la simulación numérica del comportamiento elastoplástico de estos suelos.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema general.

PG: ¿Cómo se aplicarían los modelos constitutivos para la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona - Cusco?

1.2.2 Problemas específicos.

PE 1: ¿Cómo se aplicarían los parámetros de resistencia y elasticidad del modelo constitutivo Mohr Coulomb para la simulación del comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?

PE 2: ¿Cómo se aplicarían los parámetros de elasticidad, línea de estado Crítico, índices de compresibilidad Cam Clay Modificado del modelo constitutivo Cam-Clay Modificado para la simulación del comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?

PE 3: ¿Cómo se aplicarían los parámetros de carácter hipoplástico y deformación intergranular del modelo constitutivo de hipoplasticidad para la simulación del

comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?

PE 4: ¿Cómo se aplicaría los parámetros de resistencia, rigidez y avanzados del modelo constitutivo Hardening Soil para la simulación del comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?

PE 5: ¿Cuál de los modelos constitutivos aplicados simula mejor el comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud perteneciente a una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo general.

OG: Aplicar modelos constitutivos para simular el comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

1.3.2 Objetivos específicos.

OE 1: Aplicar parámetros de resistencia y de elasticidad del modelo constitutivo Mohr-Coulomb para la simulación del comportamiento esfuerzo – deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

OE 2: Aplicar parámetros de elasticidad, línea de estado Crítico, índices de compresibilidad Cam Clay Modificado del modelo constitutivo Cam-Clay Modificado para la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

OE 3: Aplicar parámetros de carácter hipoplástico y deformación intergranular del modelo constitutivo de hipoplasticidad para la simulación del comportamiento esfuerzo -

deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

OE 4: Aplicar parámetros de resistencia, rigidez y avanzados del modelo constitutivo Hardening Soil en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

OE 5: Concluir cuál de los modelos constitutivos aplicados simula mejor el comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

1.4 Hipótesis y Variables

1.4.1 Hipótesis General

HG: La aplicación de modelos constitutivos **influye** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

1.4.2 Hipótesis Especifica

HE 1: La aplicación de los parámetros de resistencia y de elasticidad del modelo constitutivo Mohr-Coulomb **influyen** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

HE 2: La aplicación de parámetros de elasticidad, Línea de estado Crítico, índices de compresibilidad Cam Clay Modificado del modelo constitutivo Cam-Clay Modificado **influyen** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

HE 3: La aplicación de los parámetros de carácter hipoplástico y deformación intergranular del modelo constitutivo de hipoplasticidad **influyen** en la simulación del

comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

HE 4: La aplicación de los parámetros de resistencia, rigidez y avanzados del modelo constitutivo Hardening Soil **influyen** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

HE 5: Los modelos constitutivos de hipoplasticidad y Hardening Soil **simulan** mejor el comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

1.5 Identificación de las Variables

1.5.1 Variable independiente (X):

- Parámetros de los modelos constitutivos

1.5.2 Variable dependiente (Y):

- Simulación de la curva experimental esfuerzo – deformación.

En la **figura 1 y figura 2** podemos ver la operacionalización de variables independientes y dependientes, respectivamente.

1.5.3 Operacionalización de las variables

Figura 1

Operacionalización de Variables Independientes

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTO
PARAMETROS DE MODELOS CONSTITUTIVOS (X)	Son parámetros encargados para poder simular el comportamiento del suelo a través de las relaciones esfuerzo – deformación mediante las formulaciones de cada modelo constitutivo	Los parámetros son hallados mediante resultados de ensayos de laboratorio, por formulaciones o relaciones matemáticas que tiene cada modelo constitutivo, o mediante calibración de parámetros constitutivos.	X1: PARAMETROS DEL MODELO CONSTITUTIVO DE MORH - COULOMB	X11: Parámetros de Resistencia.	Razón	Ensayo de Corte Triaxial
				X12: Parámetros de Elasticidad.		
			X2: PARAMETROS DEL MODELO CONSTITUTIVO DE CAM – CLAY MODIFICADO	X21: Pendiente de Línea Critica (M)		Ensayo de Corte Triaxial
				X22: Modulo de Poisson		
				X23: Índice de Compresibilidad Cam Clay Modificado		Ensayo de Consolidación Unidimensional
				X24: Relación de Vacíos Inicial.		
			X3: PARAMETROS MODELO CONSTITUTTIVO DE HIPOPLASTICIDAD	X31: Angulo de Fricción de Estado Crítico.		Ensayo de Corte Triaxial
				X32: Índices de Compresibilidad Hipoplasticidad y Origen N		Ensayo de Consolidación Unidimensional
				X33: Parámetros de Relación *r*.		Calibración de Parámetros
				X34: Parámetros de deformación Intergranular		
			X4: PARAMETROS DEL MODELO CONSTITUTIVO DE HARDENING SOIL	X41: Parámetros de Resistencia.		Ensayo de Corte Triaxial
				X42: Parámetros de Rigidez.		
				X43: Parámetros Avanzados.		

Figura 2

Operacionalización de Variables Dependientes

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTO
SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION (Y)	Es el proceso encargado para modelar el comportamiento esfuerzo - deformación del suelo a través de la aplicación de los parámetros de los modelos constitutivos.	La simulación de las curvas esfuerzo – deformación serán llevadas a cabo mediante el uso de métodos numéricos usando el programa plaxis 2D y ABAQUS.	Y1: SIMULACION POR EL MODELO CONSTITUTIVO DE MORH - COULOMB	Y11: Simulación del Comportamiento pre y post pico	Razón	Programa de Ingeniería Plaxis 2D y ABAQUS
				Y12: Simulación del esfuerzo máximo pico y residual.		
			Y2 SIMULACION POR EL MODELO CONSTITUTIVO DE CAM – CLAY MODIFICADO	Y21: Simulación del Comportamiento pre y post pico)		
				Y22: Simulación del esfuerzo máximo pico y residual		
			Y3: SIMULACION POR EL MODELO CONSTITUTTIVO DE HIPOPLASTICIDAD	Y31: Simulación del Comportamiento pre y post pico.		
				Y32: Simulación del esfuerzo máximo pico y residual		
			Y4: SIMULACION POR EL MODELO CONSTITUTIVO DE HARDENING SOIL	Y41: Simulación del Comportamiento pre y post pico		
				Y42: Simulación del esfuerzo máximo pico y residual		

1.6 Delimitación

1.6.1 Conceptual

La presente investigación estudia la simulación del comportamiento esfuerzo – deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV. Villa Allpa Orccona -Cusco a través de la aplicación de modelos constitutivos para su posterior evaluación y simulación.

Esta investigación se enfatiza en el procesamiento de muestras inalteradas y alteradas a través de diferentes ensayos que están de acorde con las normas técnicas peruanas y reglamentos internacionales como el ASTM D7181-20.

La investigación no abarco el uso de modelos dinámicos ya que estos requieren de modelos avanzados, así como equipos más sofisticados con una alta demanda en costo y operación.

1.6.2 Espacial

La investigación se realizó en muestras que fueron extraídas de una cantera especifica ubicada en el APV. Villa Allpa Orccona cerca de la dirección de la prolongación Calle Intiraymi en el Distrito de San Sebastián – Cusco.

1.6.3 Temporal

El periodo de tiempo de la presente investigación se realizó entre, desde Enero del 2024 hasta Diciembre del 2025.

1.7 Alcance de la Investigación

Ámbito Geográfico: San Sebastián – Cusco

Unidad de Análisis: Unidades de Arcilla (Provenientes del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV. Villa Allpa Orccona – Cusco, cerca de la dirección de la prolongación Calle Intiraymi)

CAPITULO II: MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional

En el ámbito internacional se tienen las siguientes investigaciones:

Chacón (2004) en su investigación sobre la calibración de modelos constitutivos en las arcillas de Bogotá, fue presentar un análisis comparativo de la modelación numérica en dos zonas de Bogotá, en la cual las arcillas son sometidas a cargas monotónicas y cíclicas usando simulaciones con un modelo elastoplástico Cam Clay modificado y el modelo viscohipoplastico. Se concluyó que los modelos constitutivos deben calibrarse respecto a un lugar de aplicación para un mejor entendimiento del comportamiento de los suelos que componen tal lugar, por ejemplo el modelo de Cam Clay modificado no llego a ser adecuado para proyectos de gran envergadura y no asocia de mejor manera la probabilidad de falla del proyecto con la calidad de los datos en suelos de la ciudad de Bogotá, también trata en cierta parte una relación lineal entre los esfuerzos y deformaciones pero en el caso de la consolidación edométrica la relación no es en si lineal donde se debería considerar cada punto de la curva y no los valores límite. Así también en la aplicación sobre suelos sobreconsolidados tiene más relevancia la aplicación de los métodos viscohipoplástico ya que algunos de ellos consideran fenómenos como la viscosidad, el creep y la relajación.

Hernández et al. (2021) estudiaron los efectos de la compactación en los suelos y su respectivo modelamiento numérico que mediante diferentes contenidos de humedad de a 10%, 20% y 34% (condiciones más desfavorables de la curva de compactación en su investigación) para 0.05Mpa, 0.1Mpa y 0.15Mpa de confinamiento en cada uno en muestras reconstituidas para los ensayos de corte triaxial, se determinó que el modelo de Mohr Coulomb tiene una gran aproximación para las curvas esfuerzo deformación de 10% y 20% de contenido de humedad, mientras que para las curvas de 34% de contenido de humead el

modelo de Hardening Soil es el que mejor estimación tuvo, y que los módulos de Young y ángulo de fricción disminuyeron a medida que crece el contenido de humedad de 10% a 34%.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

En el ámbito nacional se tienen las siguientes investigaciones:

Luque y Rodríguez (2020) establecieron criterios de influencia entre parámetros geotécnicos y profundidades en excavaciones, mediante la aplicación de un software de elementos finitos que emplea modelos que simulan el comportamiento físico del suelo frente a diversas situaciones. Concluyeron que la implementación del modelo constitutivo de Hardening Soil a través del programa PLAXIS 2D nos puede mostrar una perspectiva más exacta y precisas de lo que sucede en el comportamiento del suelo a medida que se va excavando en profundidad con la aplicación de muros anclados donde se obtuvo relaciones proporcionales e inversamente proporcionales entre el ángulo de fricción, módulo de elasticidad, desplazamientos horizontales y verticales. Por ejemplo para el caso de excavación a 8m de profundidad a medida vaya incrementado el ángulo de fricción del suelo, los desplazamientos en los muros anclados irán disminuyendo poco a poco (estamos hablando de una relación inversamente proporcional entre el ángulo de fricción y los desplazamientos obtenidos), mientras que para una excavación a 12m de profundidad a medida vaya aumentando el módulo de elasticidad, el desplazamiento horizontal y vertical de los muros anclados ira disminuyendo poco a poco por lo que encontramos también una relación inversamente proporcional entre el módulo de elasticidad y los desplazamientos obtenidos, y por último para una excavación a 16m de profundidad existe una relación directamente proporcional entre la profundidad de excavación, el módulo de elasticidad y los desplazamientos del suelo considerando un sistema de reforzamiento anclado.

Casusol (2020) analizó la relación entre los valores de capacidad de carga en una cimentación superficial para un suelo particular, mediante el método de los elementos finitos

(FEM, por sus siglas en inglés) y métodos analíticos convencionales, considerando variaciones en las condiciones del problema a analizar, tales como la profundidad de cimentación, la dimensión de la zapata o el modelo constitutivo del suelo (solo para el caso de elementos finitos). Se concluyeron varios criterios como la variación de resultados al discretizar el suelo en varios elementos finitos de diferente tamaño a considerar así como las zonas de refinamiento consideradas, también el uso de modelamiento de elementos finitos considera un estado de falla mientras los métodos analíticos usan 3 estados de falla pero al hacer uso de los métodos numéricos se pudo tener más detalle del estado tensorial y ubicación de exacta de la zona de falla cosa que no proporciona los métodos analíticos , adicionalmente el parámetro de dilatancia es un factor muy sensible para el estudio de capacidad de carga y no se debe dejar de lado su uso, así también el método de Hardening Soil se adaptó mejor a la curva del comportamiento del suelo estudiado tanto en la relación del esfuerzo desviador como la presión de poros frente a la deformación unitaria. Sin embargo, en cuanto a capacidad de carga, la diferencia entre los valores de R debido a modelos constitutivos no fue mayor al 10%.

2.2 Geología del Cuadrángulo del Cusco.

Según Carlotto et al. (2011) a través del estudio geológico del cuadrángulo del Cusco (28 s), el cual está ubicado entre las coordenadas 71°30’-72°00’W y 13°30’-14°00’S incluye cuatro unidades geomorfológicas: Altiplano, Zona Intermedia Altiplano-Cordillera Oriental, Cordillera Oriental y Borde Noreste de la Cordillera Occidental, con sus respectivas unidades locales y regionales, destacando el valle del Huatanay. Debe tenerse en cuenta que cada uno de ellos tiene su propia geología, deformación y evolución respectivamente.

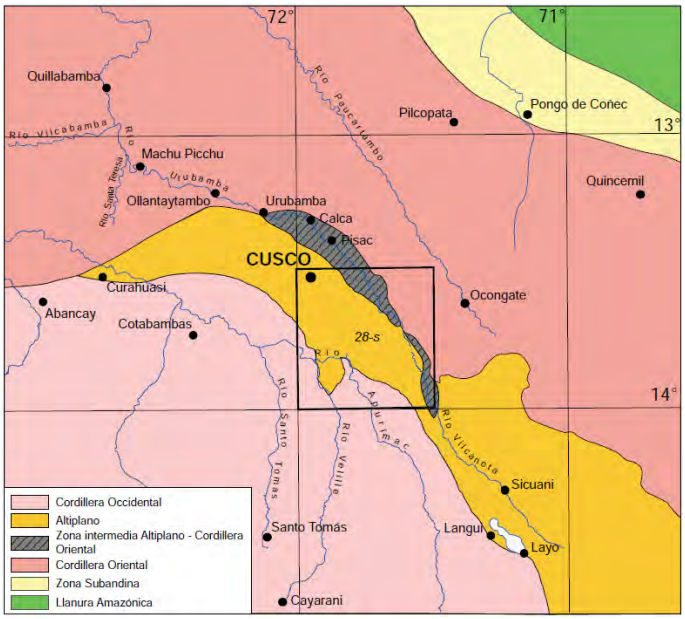
El valle del Cusco principalmente se ubica entre dos unidades geomorfológicas: La Zona Intermedia Altiplano-Cordillera Oriental y el del Altiplano. Para el caso del primero presenta acuíferos como el caso de las rocas volcánicas de la Formación Pachatusan, también

tiene recursos industriales de rocas, minerales y algunos yacimientos, también predominan rocas intrusivas, rocas volcánicas andesíticas cuaternarias, yeso, calizas y hasta gravas arenosas, e incluye la captación inca de Tipón. El segundo tiene acuíferos de calidad y en cantidad que son una gran extensión de afloramientos de areniscas que pertenecen al Grupo San Jerónimo que son explotadas por galerías filtrantes, también se tiene, aunque en poca cantidad, depósitos de areniscas con cobre. Para el caso de la Cordillera oriental se tienen rocas casi impermeables de pizarra, por lo tanto no hay acuíferos y reservas de agua subterránea, aunque en la zona de Churo también hay vetas de oro en las pizarras pero ya no son tan imprescindibles como en la época inca – colonial, y por último se tiene la zona borde noreste de la cordillera occidental el cual es de alto interés minero por la presencia de yacimientos así como rocas importantes y la industria de minería (Carlotto et al., 2011).

En la siguiente **figura 3** podemos observar las unidades geomorfológicas en el cuadrángulo del Cusco:

Figura 3

Las Unidades Geomorfológicas dentro del Cuadrángulo del Cusco



Nota. Adaptado de *Unidades geomorfológicas regionales y ubicación del cuadrángulo de Cusco* (p. 9), por V. Carlotto et al., 2011, INGEMMET.

2.3 Geología Local de la Ciudad el Cusco

La ciudad del Cusco y sus respectivos distritos, incluyendo Saylla, Oropesa y Lucre, se ubican en la cuenca del rio Huatanay el cual está ubicado en un valle en dirección NO-SE, entre la zona intermedio Altiplano – Cordillera Oriental y la zona el Altiplano. En este valle se tiene también varias microcuencas de margen derecha e izquierda, también se tiene clima frio y de altas precipitaciones por ser de un sector interandino alto, así como temperaturas promedio de 11.6°C, humedad de 40% – 75% y con un margen de lluvias entre 500mm y 1200mm cuando llega la temporada de lluvias (Carlotto et al., 2011).

El valle del Cusco tiene una longitud larga de 30km que va de NO-SE con material lacustre cuaternario de relleno, también tiene segmentos lacustres del Antiguo Lago Morkill que se ubican en la cuenca del valle del Huatanay, así también se tienen montañas de gran altitud de 3600 a 4450 m.s.n.m como los cerros, Piccol, Pachatusan y Huanacaure entre los más conocidos (Benavente et al., 2004).

Adicionalmente el valle del Cusco tiene varias zonas como mesetas, quebradas, montañas y hasta flancos los cuales son a continuación:

Montañas como la montaña del Pachatusan, las montañas Vilcaconga (dentro del cual sobresalen Chaquicocha, Pacaccasa y el conocido Huanacaure). Montañas de Ccorao que tiene relieves relevantes como el Sipaschocana, Sencca y el Huaynapiccol. Montañas de Puquin conformada por montañas altas de roca sedimentaria. Y las montañas de Picchu que es aquí donde se inician los afluentes del rio Huatanay. En caso de **Mesetas** que conforman el valle del Cusco, tenemos dos identificados: La Meseta de Sacsayhuamán, dentro del cual se ubica el famoso “Rodadero” y la meseta de Huacoto, esta meseta está ubicada al NE flanco del valle del Huatanay. Los **Flancos**, como el flanco Sur Este del Huatanay, el Flanco Nor este de Huatanay y el Flanco Oeste del Huatanay (Benavente et al., 2004).

Para la geología local en la siguiente **Tabla 1** haremos un resumen de los grupos, formaciones y hasta depósitos, mencionados en base a la antigüedad y hasta el más reciente:

Tabla 1

Descripción de los Grupos y Formaciones de la Geología local del Cusco.

Geología Local		
Grupo, Formación o Deposito		**Descripción**
Grupo Mitu		Conformadas como mito Superior e Inferior a las formaciones Pisac y Pachatusan. Este grupo tiene una edad de permico Superior - Triasico Inferior.
Grupo Yucaypata	Formación Ayabacas	Conformada por tres formaciones, regresivas, transgresivas y de lutitas rojas, todas ellas con alternancias amarillas o dolomitizadas. Esta unidad se muestra como afloramientos discontinuos, estructuras vesiculares, y compuesta de calizas oscuras gris - azuladas.
	Formación Puquin	Coherente con la formación Sangarara. Descrita como una secuencia arenisca seguida de arcillas rojas y verduzcas, además dentro de sus partes litológicas podemos apreciar las arenicas cuarzosas de grano fino y se estima que su espesor es entre 200 a 300m con una edad de cretacio superior.
Grupo San Jerónimo	Formación Kayra	Con un espesor de 3000 m, esta unidad contiene bancos de areniscas blancas, rojas y marrones, así como areniscas, lutitas, micro conglomerados, etc. También a secuencias de medios fluviales entrelazados con direcciones S-N.
	Formación Soncco	En su formación litologica tiene intercalaciones de conglomerados, piro clásticas, también contiene faises finas de lutitas, limonitas, masivas, etc. Esta unidad es de 1500m.
Formación Punacancha		Con un espesor de 1500m, con secuencias litológicas de conglomerados, así como también secuencias de sedimentos finos, lutitas de color rojo, etc, los cuales no pasan de 1m.
Volcánico Huacoto		Tiene una formación litológica conformada de lavas acidas y potásicas, con una edad de aprox. 700 000 años. Esta es una unidad volcánica de importancia y de edad cuaternaria conformada de unidades extrusivas.

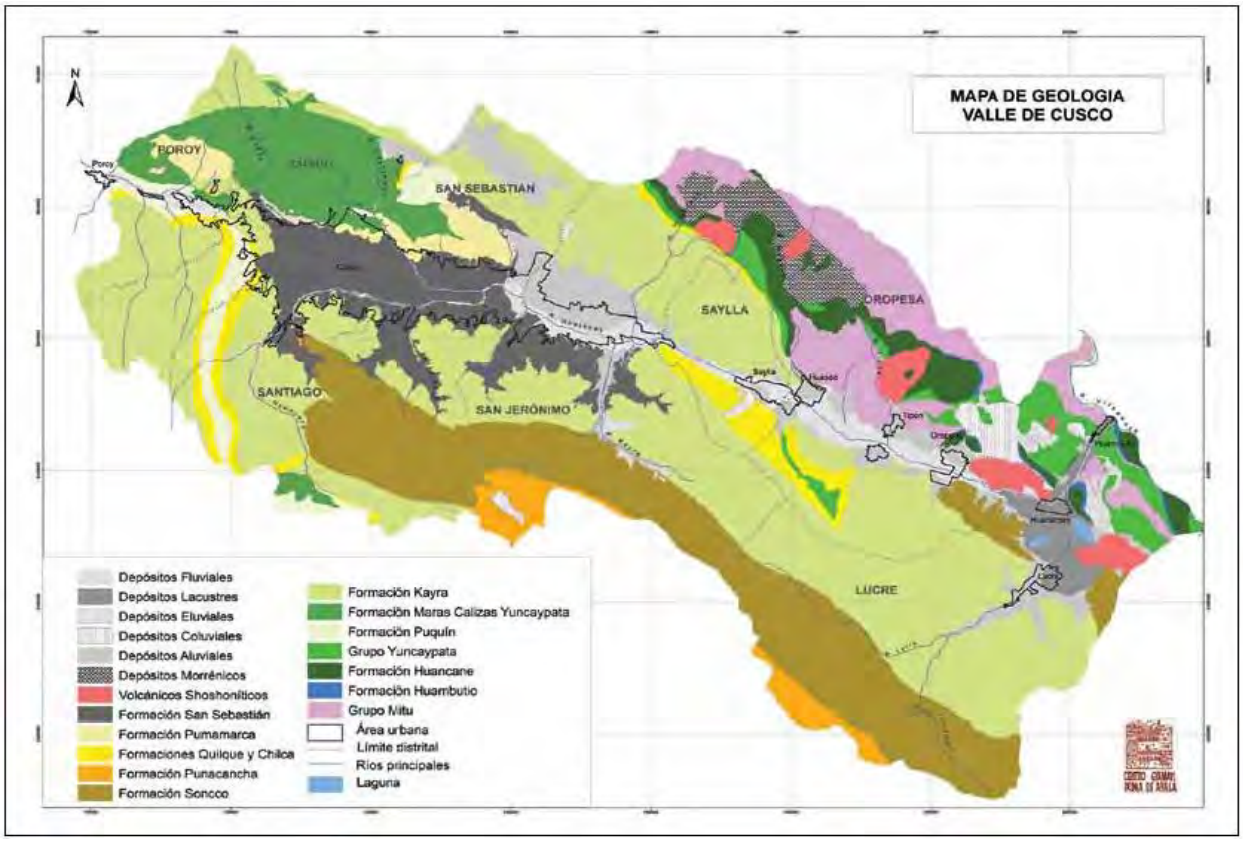
Intrusivo Rodadero		Vinculado a las estructuras de fallamiento, semitectonica de edad de Paleógeno. Esta unidad se encuentra al NW del Cusco y en general está conformada por una cuarcífera diorita, fracturada de color gris verdosa con modalidad propia.
Formación San Sebastián		Conformada por una superficie depresiva con una cuenca cerrada larga, así como depósitos de gravas, arenas, flujos de barro, limos, arcillas intercaladas con horizontes paleosuelos de calaros colores, incluyendo material de turba.
Formación Pumamarca	Miembro Pumamarca Inferior	Constituido por un conjunto sedimentario caótico que tiene limonitas violáceas con gris verdosa, además de bloques de yesos y calizas de hasta 50cm de diámetro. Esta unidad alcanza espesores de mas de 120m.
	Miembro Pumamarca Superior	Para su característica litológica compone de bloques de caliza de 0.30cm de diámetro de color rojo ladrillo.
Depósitos Fluvioglaciares		Se presentan en su mayoría caóticamente estratificadas proveniendo de la remoción de morrenas. En su litología conforma fragmentos de roca de areniscas rojas, asi como pedregones, fuijarros, etc, son angulosas y heterométricas. Estas unidades son suelos residuales transportados lentamente de intemperismo por el hielo o glaciación.
Depósitos Morrenicos		Esta es otra unidad sedimentaria caótica con clastos de varios tamaños, además en su mayoría conforma areniscas rojas rodeadas de brechas, arcillas y limonitas. Se estima que su edad es al terminar el pleistoceno (desglaciación).
Depósitos Aluviales		Conformados por rocas redondeadas o subredondeadas en bloques, como areniscas rojas de varios tamaños como guijas, arnas, limos arcilloso sueltos. Estos depósitos por las cargas de avenidas o flujos han pasado por desgastes o abrasiones.

Nota. Benavente et al. (2004, pp. 26 - 33).

También en la **figura 4** podemos apreciar una mejor ubicación de los diferentes grupos, formaciones y depósitos de la geología local del Cusco, como una previa indicación nuestra área de estudio para la presente investigación está ubicada en la Formación San Sebastián.

Figura 4

Mapa Geológico del Valle del Cusco



Nota. Adaptado de *Mapa geológico del valle del Huatanay o Cusco.* (p. 182), por V. Carlotto et al., 2011, INGEMMET.

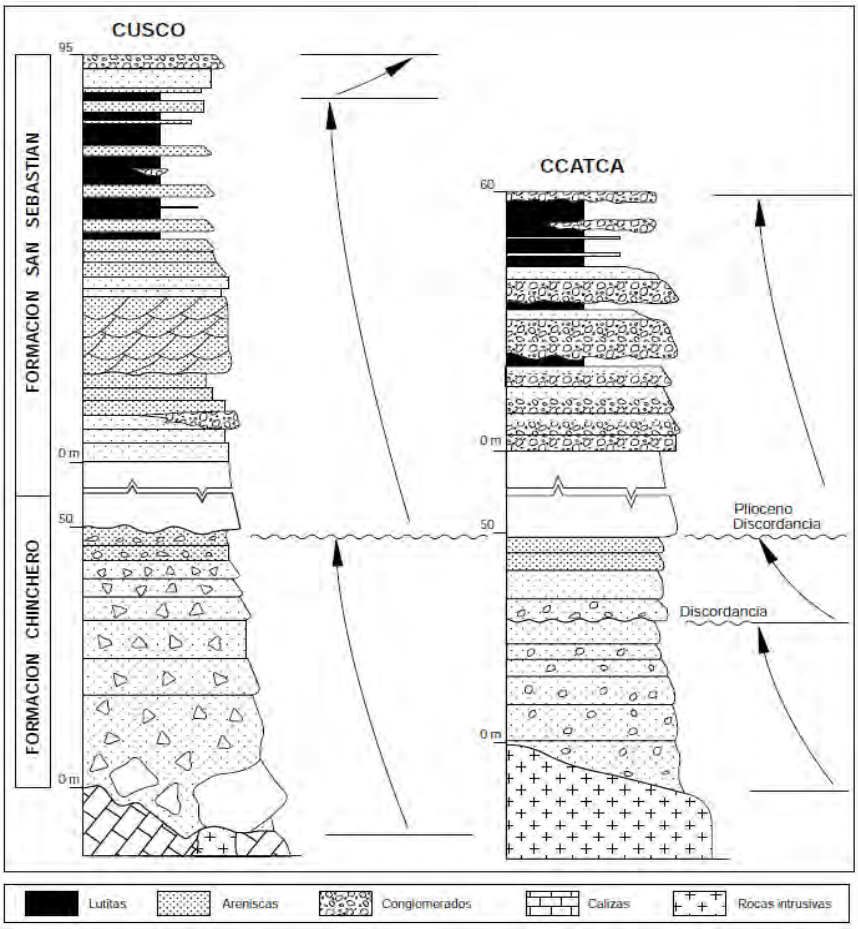
2.4 Formación San Sebastián

Es una formación parte de la geología local del valle del Cusco. En su parte morfológica, y es definido por laderas del valle del Huatanay, también lleva una superficie depresiva a forma de una cuenca cerrara larga. Para su parte litológica está formada por diatomitas extendidas, limos arcillas, conos de deyección, etc., incluye material de turba. También conforma una cuenca lagunar de sedimentación fluvial con acumulación de sedimentos organógenos (turbas). Esta unidad fue puesta en evidencia por Gregory H (1916) con posteriores estudios de paleontología de Ramirez J. y sedimentológico de Cordova E. (Benavente et al., 2004).

En la **figura 5** podemos apreciar una estructura estratigráfica de la formación San Sebastián junto con la Formación Chinchero.

Figura 5

Estratigrafía de la Formación San Sebastián y Formación Chinchero



Nota. Adaptado de *Columna estratigráfica de las formaciones Chinchero y San Sebastián. Modificado de Cabrera (1988).* (p. 49), por V. Carlotto et al., 2011, INGEMMET.

La edad estimada de la formación San Sebastián es datada como el Pleistoceno debido a los fósiles vertebrados y palinoformos. (Kalafatovich, 1955; Ramirez, 1985; De Muizon, en Cabrera, 1988, como se citó en Carlotto et al., 2011).

Desde la perspectiva de la Geología aplicada la formación San Sebastián da origen a dos secuencias. La primera que en su parte superior tiene presencia de niveles calcáreos y diatomíticos, también esta secuencia conforma palustres, lutitas lacustres, areniscas fluviales. La segunda secuencia está constituida por terrazas fluvio-torrenciales, conglomerados y areniscas de conos. Además, esta formación surge en los bordes y en el piso del valle donde

una gran cantidad de propiedades se asientan sobre los depósitos de esta formación, muchos de esos depósitos constituyen de sedimentos lacustres acumulados en el antiguo lago Morkill (Carlotto et al., 2011).

Desde la perspectiva de la geotecnia la Formación San Sebastián tiene sedimentos y capas que pueden no tener un comportamiento adecuado para cimentaciones y laderas tales como los sedimentos lacustres y palustres o en las laderas norte donde hay presencia de arcillas, turbas y diatomitas que se inclinan hacia la pendiente provocando deslizamientos. Sin embargo, las gravas tienen un comportamiento adecuado para las cimentaciones (Carlotto et al., 2011).

En las siguientes imágenes (**Figura 6** y **Figura 7**) podemos apreciar algunos lugares ubicados en la formación San Sebastián:

Figura 6

Sedimentos de características finas al norte de la Formación San Sebastián



Nota. Se puede apreciar la presencia de finos como arcillas y limos en la parte superior de la formación de suelo mostrada.

El efecto de los deslizamientos en la Formación San Sebastián tiene importante relevancia ya que se han identificado zonas de alto peligro geodinámico. Desde deslizamientos de tipo activos, lentos o rápidos que van desde muy alto a alto peligro, por ejemplo, cuando no hay factores antrópicos son considerado de bajo peligro, sin embargo, por efectos de expansión urbana estos pueden llegar a ser de alto peligro por la intervención humana. En el caso de la formación San Sebastián se han identificado algunos deslizamientos potenciales como es el caso de la ladera norte de San Sebastián y de alta vulnerabilidad como en la APV Vallejo Santoni, incluso en la zona de Picol. También se han podido estabilizar algunos deslizamientos como el caso de la quebrada Jaquira, así como algunas gravas y arenas de la formación San Sebastián (Carlotto et al., 2011).

Por ejemplo, en la **figura 7** puede apreciar dos estratos, el superior conformado por material fino de color blanco amarillento (posiblemente contay) y en la parte inferior material arcilloso-limoso seco, podemos notar el efecto de la erosión y las fisuras en la formación. También en la **figura 8** se pude ver un caso de deslizamiento por época de lluvias en el sector de El Molino.

Figura 7

Abertura dentro de la estructura de suelo en la zona norte de San Sebastián



Figura 8

Deslizamiento de tierra en el sur de El Molino



Nota. Adaptado de *Deslizamiento ocurrido en el año 2010 en la zona sur de El Molino* (p. 199), por V. Carlotto et al., 2011, INGEMMET.

Algunos sectores como las laderas norte y sur de la ciudad del Cuco presentan deslizamientos de mayor peligro, con suelos no consolidados de diatomitas, arcillas, arenas, gravas presentes en la Formación San Sebastián. Otros sectores adicionales como las laderas sur y norte de San Sebastián tienen presencia de grandes deslizamientos antiguos con reactivaciones de formaciones de gravas, arenas, arcillas, limos y diatomitas que establecen un riesgo para los establecimientos urbanísticos. (Carlotto et al., 2011).

Otro punto importante es que en época de lluvias las laderas con mala calidad de suelos o estratos de origen fluvio lacustre de esta Formación San Sebastián en pendiente lleva a problemas mucho mayores como el asentamiento, agrietamiento o hasta colapso de paredes y viviendas como el caso de la APV Vallejo Santoni (Carlotto et al., 2003d, como se citó en Carlotto et al., 2011).

El sector norte de San Sebastián es un claro ejemplo de los riesgos de deslizamientos para las urbanizaciones, ver **figura 9**:

Figura 9

Sector Norte de San Sebastián de alto riesgo de deslizamientos.



Nota. Adaptado de *Sector norte de San Sebastián, zona de alto peligro de deslizamientos, como es el caso de Primero de Mayo.* (p. 198), por V. Carlotto et al., 2011, INGEMMET.

Según Carlotto et al. (2011) se indica un alto peligro de inundaciones como en el caso del rio Huatanay, tales como indicados en los mapas de peligros del Valle del Cusco, volviendo así vulnerables las edificaciones aledañas a ello, aunque algunos tienen defensas ribereñas no se ha protegido toda la zona. Adicionalmente muchos de estos deslizamientos se reactivan en época de lluvias, aumentando así la vulnerabilidad de las zonas como en el caso de la margen izquierda de San Sebastián. También no se debe olvidar los efectos de los sismos en zonas sismo – geológicos que pueden aun aumentar los riesgos de colapso de taludes y afectación a viviendas en especial las que están ubicadas en laderas inestables, como en las márgenes del rio Huatanay.

Como se mencionó anteriormente la Formación San Sebastián contiene varios tipos de sedimentos, suelos, etc., entre ellos tenemos a las arcillas que en este caso la zona de estudio para nuestra investigación se encuentra en esta formación San Sebastián y son provenientes del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV. Villa Allpa Orccona cerca de la dirección de la prolongación Calle Intiraymi con coordenadas geográficas Latitud; 13°31'24.9" S y Longitud; 71°55'58.8" W. Las arcillas en este talud son de aspecto rojizo de acuerdo a la inspección de campo que se hizo previamente, y de acuerdo a lo investigado y mencionado anteriormente sobre la situación problemática, se tiene varios riesgos de deslizamientos, asentamientos, estabilización de talud, construcción de excavaciones profundas, etc, por lo tanto se vuelve a recalcar la importancia de la presente investigación para el estudio de la aplicación de modelos constitutivos para una mejor entendimiento y simulación del comportamiento de la arcilla localizada en ese talud.

2.5 Introducción a la Teoría del Estado Crítico

De acuerdo con las investigaciones y formulaciones de varios investigadores como Tavenas, Magnan y Roscoe se pueden hacer diferentes condiciones de aplicaciones en suelos bajo un mismo modelo ya sea para varios tipos de drenaje, diferentes condiciones o trayectorias de esfuerzos, todos ellos aplicados en un espacio constituido por tres ejes (p', q, v) (Reyes et al., 2003). Definiéndose así 3 ecuaciones 2.1, 2.1 y 2.3:

$$p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3}{3} \tag{2.1}$$

$$q = \sigma'_1 - \sigma'_3 \tag{2.2}$$

$$v = 1 + e \tag{2.3}$$

Donde:

p': $Esfuerzo\ efectivo\ Promedio$

q: $Esfuerzo\ desviador$

$\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$: $Esfuerzos\ efectivos\ de\ tres\ direcciones$

e: $Relación\ de\ Vacíos$

v: $Volumen\ Específico$

En la teoría del estado crítico se trata de representar el comportamiento elastoplástico por medio de dos invariantes de esfuerzo y un parámetro *v* referido a las variaciones volumétricas. Dando así una relación de la aplicación del esfuerzo efectivo y el volumen especifico dado en un suelo como la arcilla ya sea bajo situaciones de corte drenados o no drenados, este concepto de estado crítico también es aplicable a otros tipos de suelos como arenas o limos (Roscoe et al., 1968, cómo se citó en Ayala, 2013).

Al construir curvas en el espacio dado por las ecuaciones anteriores se puede formar una superficie de límite llamado superficie de Hvorslev el cual permite cuales son los estados posibles (interior de la superficie) e imposibles (exterior de la superficie) para un suelo (Ver **figura 10 (a)**) (Reyes et al., 2003).

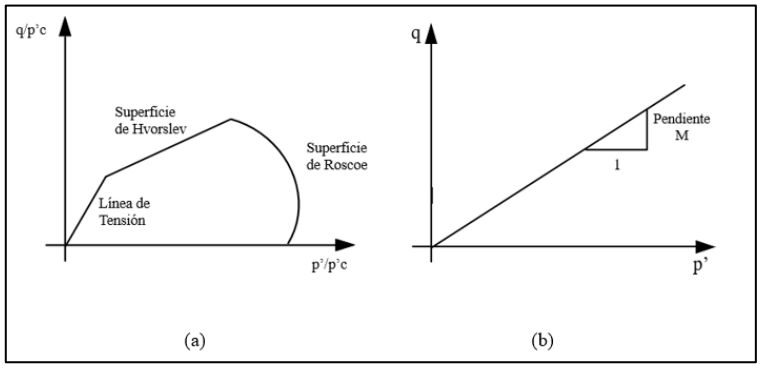
Ya que esta superficie limita todos los posibles estados de la arcilla, al acercarse ahí la fluencia del estado ocurre bajo condiciones constantes tanto el volumen como el esfuerzo efectivo, y durante el corte eventualmente se alcanzará un estado de deformación continua sin cambios volumétricos. Por lo tanto, los valores de p', q, v serán constantes (Ayala, 2013).

Una ventaja de la teoría del estado crítico es que permite trazar una recta en un espacio p'- q el cual se diferencia de la línea del criterio de falla de Mohr Coulomb, además la línea M no depende de una trayectoria de esfuerzos continua y tampoco de las condiciones de drenaje para llegar al estado de falla, por lo tanto, se tiene una teoría que trabaja a modo unificado para el estudio del estado crítico de los suelos (Reyes et al., 2003).

En la **figura 10 (b)** se puede ver la línea de estado crítico en el espacio p'-q.

Figura 10

(a) Superficie de Hvorslev y Superficie de Roscoe; (b) Línea de Estado Crítico CSL



También se presenta el caso para el plano v - Ln(p'). Para la **figura 11** se presentan dos líneas rectas, la línea de consolidación Normal (NCL) y la Línea de Estado Crítico (CSL) ambas están representadas por las ecuaciones (2.4) y (2.5) respectivamente, donde Γ y N son las ordenadas de CSL y NCL para 1kPa, respectivamente (ver **figura 35** (c)).

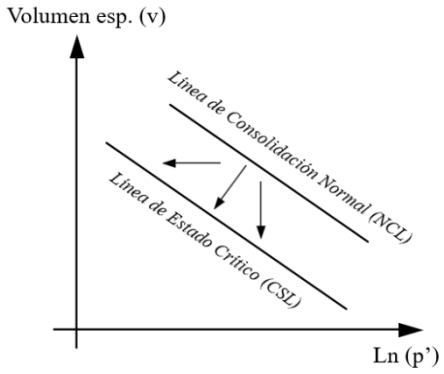
$$v = \Gamma - \lambda * ln(p') \tag{2.4}$$

$$v = N - \lambda * ln(p') \tag{2.5}$$

El proceso durante la falla va de la línea de consolidación normal a la línea de estado crítico. Cuando se trata de ensayos drenados el volumen de la muestra cambiará por lo tanto la dirección de la trayectoria será inclinada, mientras que para caso de ensayos no drenados el volumen no cambiará dando así una trayectoria horizontal desde la NCL a la línea CSL (Reyes et al., 2003).

Figura 11

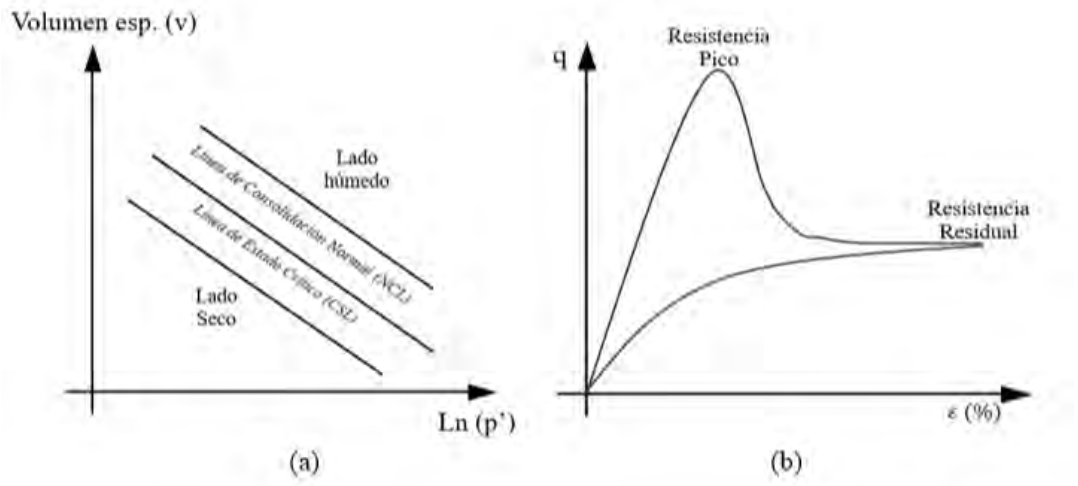
Plano Ln(p')- v que contiene las líneas NCL y CSL



La teoría del estado crítico también puede ser aplicada para arcillas normalmente consolidades y sobreconsolidados, en el caso de las primeras el suelo durante un ensayo de corte drenado la curva esfuerzo deformación aumenta continuamente hasta un cierto punto llegando a un punto residual crítico, mientras que para el caso de las arcillas sobreconsolidadas estas inician con un pico máximo y eventualmente disminuye su resistencia llegando así al mismo punto residual crítico de las arcillas normalmente consolidadas. En la **figura 12 (a)** se puede ver que la línea de estado crítico CSL da a lugar a dos lados, el lado seco que está relacionado a las arcillas sobreconsolidadas y el lado húmedo que está relacionado a las arcillas normalmente consolidadas y en la **figura 12 (b)** un esquema del comportamiento de las arcillas normalmente consolidadas (resistencia residual) y arcillas sobreconsolidadas (resistencia pico) (Ayala, 2013).

Figura 12

Lado húmedo y seco en la línea CSL y Curvas esfuerzo-deformación

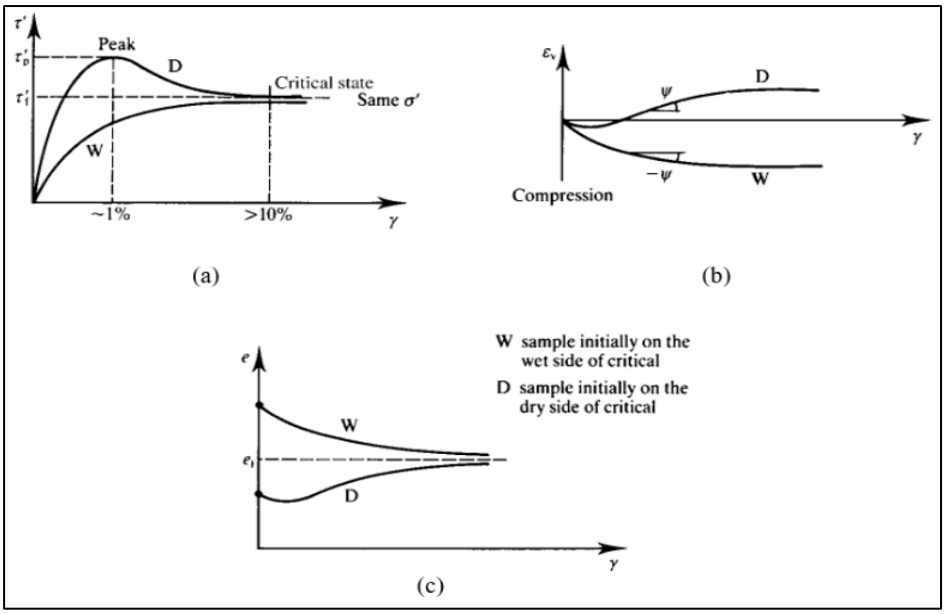


Adicionalmente Atkinson (2007) menciona que las curvas típicas conocidas que muestran el comportamiento de arcillas normalmente consolidadas o arenas sueltas tienen la forma de la curva W para el lado húmedo del punto crítico y para el caso de arcillas sobreconsolidadas o arenas densas tiene la forma de la curva D para el lado seco (ver **figura 13 (a)**), donde se ve que en ambos casos se alcanza los estados críticos para una tensión

constante. De la misma manera se puede observar las curvas de deformaciones volumétricas para ambos casos (**figura 13 (b)**), y también para el caso de curvas para el cambio de relación de vacíos (**figura 13 (c)**) donde los suelos W tiene una relación de vacíos mayor que los suelos D, pero a medida que aumenta la deformación se llega a tener la mima relación de vacíos. También debido a la reorganización de las partículas los suelos W tienen espacios bien distribuidos, así al momento del corte las partículas se desplazan hacia los espacios laterales, pero los suelos D se separan durante el corte, así se puede explicar la relación de las curvas esfuerzo-deformación y las curvas de deformación volumétrica.

Figura 13

Típicas curvas esfuerzo - deformación de ensayos de corte.



Nota. Adaptado de *Typical behaviour of soils in drained shear tests.* (p.120), por J. Atkinson, 2007, Taylor & Francis.

Para un mejor detalle se hará una descripción del concepto de estado crítico en arcillas Normalmente consolidadas y Sobreconsolidadas, este énfasis nos dará a entender como se forma la superficie de Hvorslev y Roscoe basados en la mecánica de suelos de Craig, y servirá como base para el modelo constitutivo de Cam Clay Modificado.

2.5.1 El estado crítico en arcillas normalmente consolidadas.

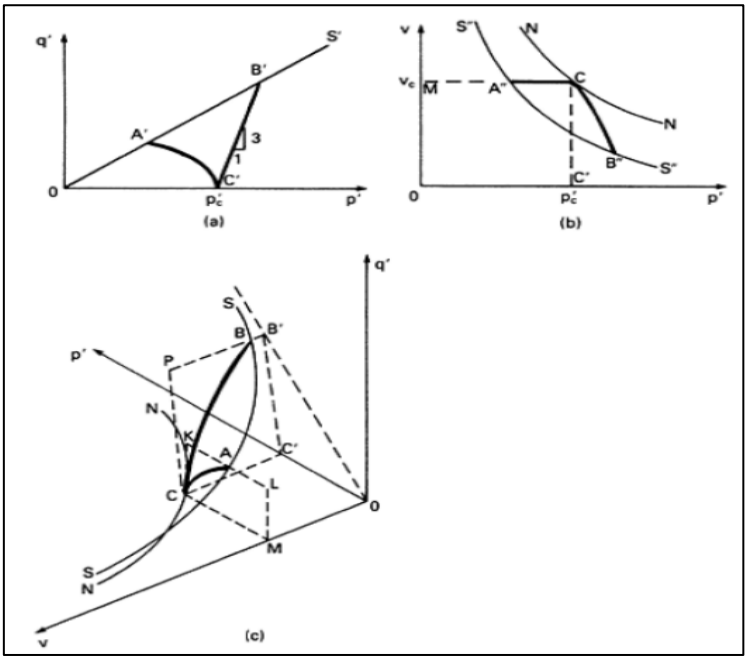
Si se hace una prueba triaxial CD (Consolidado Drenado) y CU (Consolidado No drenado) a una misma presión de confinamiento (p'c) de un mismo tipo de muestra, se formaran dos rutas de falla, en la **figura 14 (a)** podemos ver la ruta C'A' que muestra las trayectoria que sigue el proceso de corte para un ensayo triaxial CU, y la ruta C'B' para el caso de un ensayo triaxial CD, dando así una falla que ocurre en la línea O'S' que pasa por el origen, donde la línea C'B' llega a tener una pendiente 3:1, además si se hicieran pruebas a otros confinamientos pc' las trayectorias a la línea de falla serian de manera similar. En la **figura 14 (b)** podemos observar la forma de la curva NN para el caso de las arcillas normalmente consolidadas, en este plano si se hiciera un ensayo CU tendríamos una trayectoria que CA'' porque como es caso no drenado no habrá variación volumétrica por lo tanto tendremos una línea horizontal que va hacia la línea de falla S''S'', mientras que en el caso de una prueba CD tendremos la trayectoria CB'' ya que si habrá variación volumétrica llegando así de esa manera la línea critica S''S'' (Craig, 2004).

Ambas figuras anteriormente mencionadas se les puede unir en un plano tridimensional q', p', v mostrado en la **figura 14 (c)** donde se muestra la curva SS que resulta ser como una combinación de las líneas OS' y S''S' siendo así también sus proyecciones en los planos q'-p' y v-p', esta línea SS es conocida por ser la *Línea de Estado Crítico*, se puede observar también en la **figura 14 (c)** la ruta de esfuerzos que siguen ambos casos (triaxial CD y CU) desde la perspectiva tridimensional con sus respectivos planos PCC'B' y CKLM que dan a entender las proyecciones en los planos q'-p' y v-p'. Así para diferentes confinamientos p'c ya sea para ensayos triaxiales consolidados - drenados o consolidados - no drenados se puede observar en la **figura 14 (c)** que se forma una superficie, dadas por las curvas CB y CA, entre las líneas NN y SS dando así a la llamada superficie de Estado de Frontera o

Superficie de Roscoe, por lo tanto, es imposible para una muestra llegar a un punto o estado fuera de la superficie (Craig, 2004).

Figura 14

Teoría del estado crítico para arcillas normalmente consolidadas



Nota. Adaptado de *Critical-state concept: normally consolidated clays.* (p. 119), por R. F. Craig, 2004, Spon Press.

2.5.2 El estado crítico en arcillas sobreconsolidadas.

Similar al caso anterior se muestran las rutas de esfuerzo para las dos pruebas triaxiales CD y triaxiales CU, pero para el caso de arcillas sobreconsolidadas. En **la figura 15 (a)** podemos observar la ruta de esfuerzos de un ensayo triaxial CU llamado D'E' que es la parte de compresión de la arcilla durante el corte, se esperaría que la ruta continue hasta el punto H', pero cuando se trata de arcillas de alto OCR (Índice de Sobreconsolidación) se necesitara altas deformaciones, tendiendo así un comportamiento no uniforme, siendo solo probabilidad el llegar al estado crítico. Para el caso de un ensayo triaxial CD podemos tener la ruta de esfuerzos D'F' del cual es la parte de compresión, y luego de la falla se prosigue a una disminución de esfuerzos siguiendo la misma ruta de esfuerzos llegando a X' que es parte

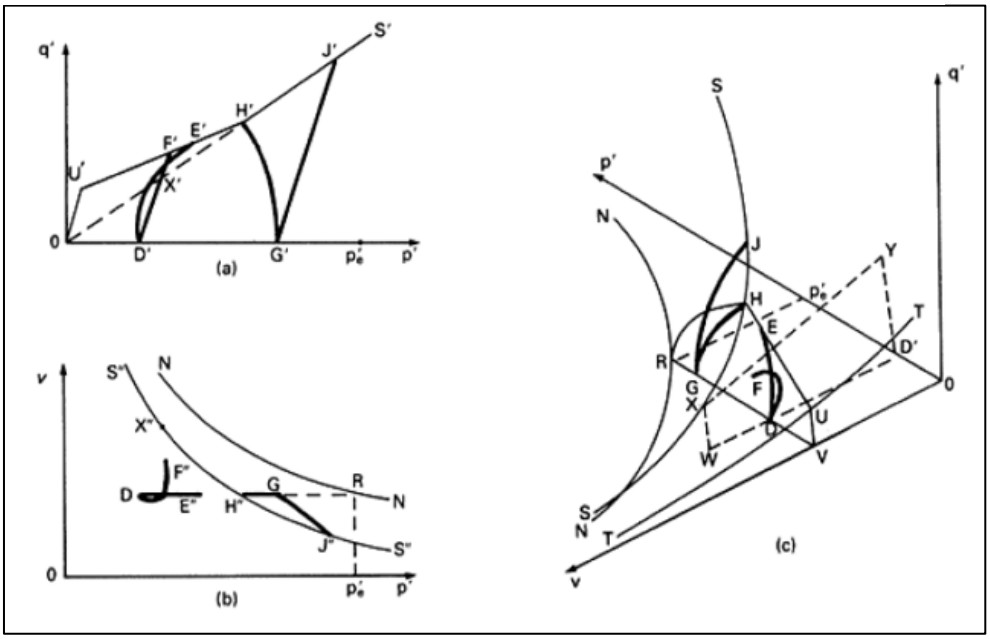
de la prolongación de la línea de estado crítico H'S', pero si las arcillas tienen un alto OCR se produce un fenómeno de dilatancia en pruebas drenadas, que pueden generar que la muestra en total no llegue al estado crítico. Así, para la **figura 15 (b)** podemos observar que para el caso de la prueba CU la ruta DE' mantiene un volumen constante y por lo tanto no se llega al estado crítico, mientras que para el ensayo triaxial CD la ruta DF' primero disminuye de volumen y luego se dilata, pero no llega al estado crítico, además se necesitarían altas deformaciones para llegar al estado crítico (Craig, 2004).

De la misma manera se puede hacer para arcillas ligeramente sobreconsolidadas de la misma arcilla otros ensayos a diferentes confinamientos pero con el mismo volumen específico para otros ensayos triaxiales CD y CU, dándonos así las rutas G'J' y G'H' respectivamente, y como se muestra en la **figura 15 (b)** las rutas para el ensayo triaxial CU (GH') es de forma horizontal también con volumen constante, y en el caso del ensayo triaxial CD (GJ') llega a disminuir su volumen, llegando así o probablemente ambos al estado crítico de la línea S''S'' (Craig, 2004).

La **figura 15 (c)** también nos muestra el comportamiento de estas arcillas bajo un plano tridimensional q', p', y v, donde podemos observar que H'U' de la **figura 15 (a)** es la proyección de la línea HU del plano tridimensional, así también tenemos la proyección OU' de la **figura 15 (a)** que es la proyección de UV del plano tridimensional, de la misma manera la proyección H'S' la proyección de HS. Por lo tanto la superficie que esta entre las líneas TT y el eje v es la frontera para la falla de no tensión, la superficie entra TT y SS es la llamada superficie de Hvorslev y la que está entre los límites de SS y NN la superficie de Roscoe, así la superficie conformada por las líneas NN, SS y TT es llamada Superficie de Estado de Frontera, esta superficie delimita todos los posibles combinaciones de esfuerzos y posibles estados de falla ultima, bajo de formación continua a volumen constante y esfuerzos constantes (Craig, 2004).

Figura 15

Teoría del estado crítico para arcillas sobreconsolidadas



Nota. Adaptado de *Critical-state concept over consolidated clays.* (p. 121), por R. F. Craig, 2004, Spon Press.

2.6 Comportamiento Elastoplástico del Suelo

Debido a la naturaleza de los suelos, estos materiales tienden a tener un comportamiento elastoplástico que es representado por las relaciones de esfuerzo deformación que son la relación entre los esfuerzos aplicados en una muestra y las deformaciones que se generan en ella y se representan mediante un diagrama a través de una curva para ver su comportamiento cuando se aplican tales cargas, esta representa dos tramos principales para su análisis, la parte elástica y la parte plástica donde se generan deformaciones permanentes. La primera parte llamada tramo elástico es la parte inicial de la curva esfuerzo – deformación donde los esfuerzos aplicados son proporcionales a las deformaciones obtenidas y es el lugar en el cual al hacer una descarga de presión el material puede recuperar su estado original hasta cierto punto el cual es llamado “límite de elasticidad”. En la segunda parte llamada tramo plástico es la parte que va después de la parte elástica y es donde se generan deformaciones permanentes al aplicarse cargas que deforman

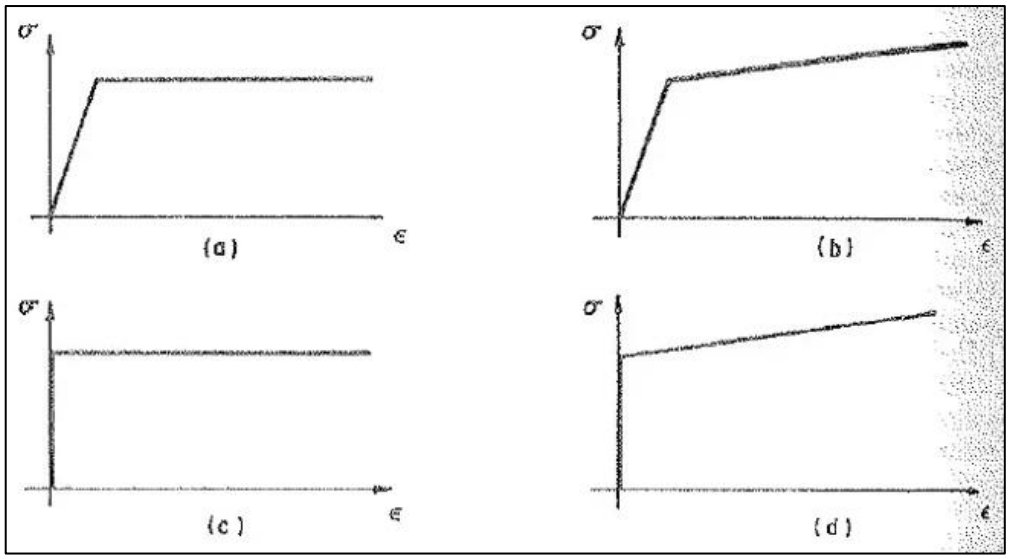
el suelo considerablemente, es un tramo donde es suelo no recupera su configuración que poseía antes de haberse sido aplicada la carga que produjo su deformación (Rojas, 2014).

Existen otros conceptos dentro del comportamiento esfuerzo - deformación como el endurecimiento dándonos dos conceptos interesantes, el ***comportamiento elastoplástico*** con o sin endurecimiento y el ***comportamiento rígido plástico*** con o sin endurecimiento según la teoría de la plasticidad, dando así cuatro hipótesis por esta teoría: El material es homogéneo e isótropo, no se consideran efectos en el tiempo, no se consideran fenómenos de histéresis en las curvas esfuerzo-deformación, y no se consideran efecto de temperatura. Con estas teorías, además de la teoría de la elasticidad, podemos idealizar el comportamiento elastoplástico de los suelos (Juárez y Rico, 2011b).

En la **figura 16** podemos ver cuatro comportamientos de acuerdo a la teoría de la plasticidad. (a) Elasto - Plástico perfecto, (b) Elasto - Plástico, con endurecimiento por deformación, (c) Rígido - Plástico Perfecto, (d) Rígido - Plástico, con endurecimiento por deformación (Juárez y Rico, 2011b).

Figura 16

Comportamientos elastoplásticos del suelo

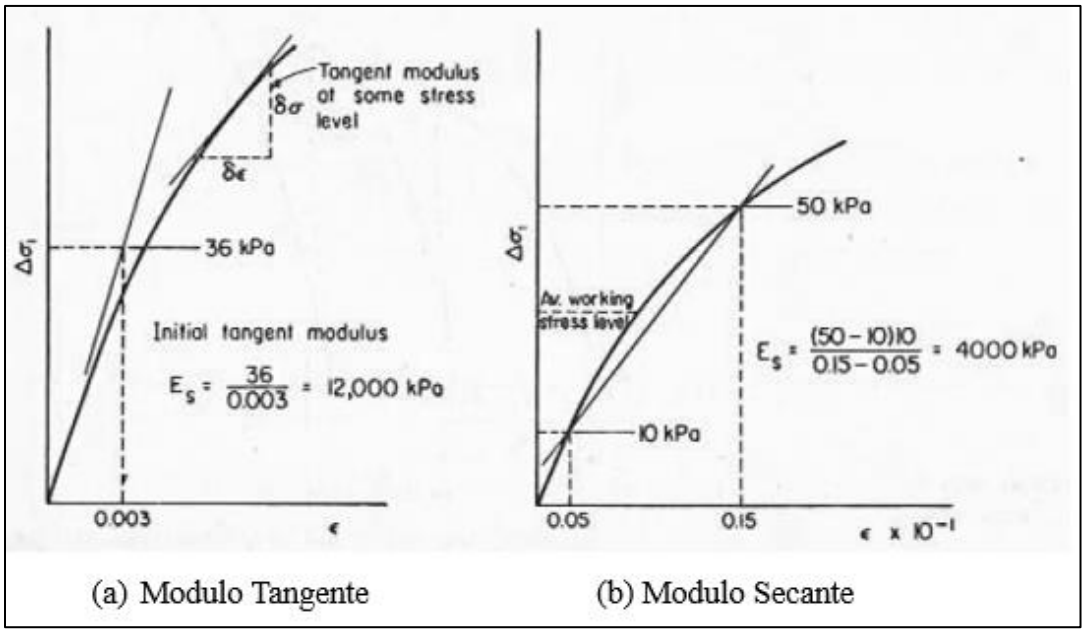


Nota. Adatado de *Comportamientos plásticos* (p. 384), por E. Juárez y A. Rico, 2011b, EDITORIAL LIMUSA.

Según Bowles (1979/1982) la curva esfuerzo deformación, sin embargo, nos puede proporcionar datos importantes para poder cuantificar el comportamiento del suelo, algunos de ellos son el Módulo de elasticidad y la relación de poisson. El primero debería llamarse en un mejor termino *modulo esfuerzo-deformación* debido a los movimientos relativos de las partículas en el suelo, este módulo puede ser hallado de dos maneras (ver **figura 17**), por el módulo tangente (**figura 17** (a)) por medio de una tangente en la parte inicial de la curva y el módulo secante (**figura 17** (b)) por medio de una recta secante en la curva esfuerzo deformación. El segundo, relación de poisson, relaciona las deformaciones tanto verticales y horizontales, es un módulo difícil de hallar en los suelos ya que pocos laboratorios tienen medidores laterales en las muestras de ensayo, aunque puede hallarse por medio de la deformación volumétrica en ensayos triaxiales. Otros parámetros pueden ser hallados como el módulo dinámico para obtener desplazamientos por causa de vibraciones.

Figura 17

Formas de hallar el módulo tangente y secante



Nota. Adaptado de *Computing stress-strain Modulus E_s by several methods* (p. 394), por J. E. Bowles, 1979, McGraw-Hill, Inc.

2.7 Consolidación de Suelos

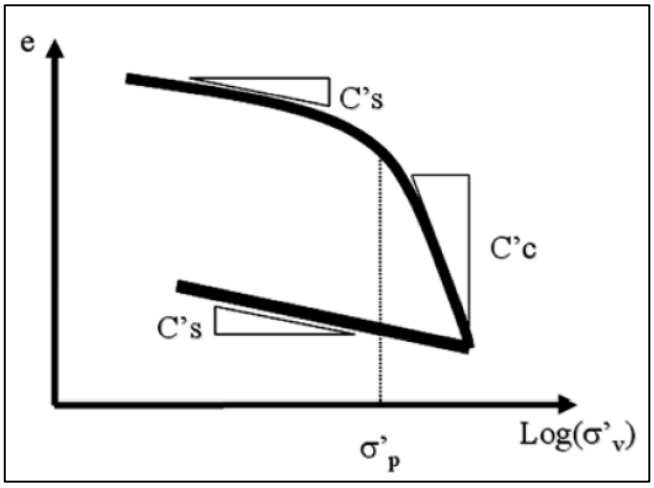
Es el cambio de volumen en un suelo cohesivo saturado debido a la expulsión de agua intersticial causada por el aumento del esfuerzo y es dependiente del tiempo. La consolidación es un tema más aplicado a las arcillas saturadas el cual está relacionado al tema de los asentamientos en edificaciones los cuales son de 3 tipos principales: los asentamientos elásticos, los asentamientos por consolidación y los asentamientos por consolidación secundaria. Para las pruebas de laboratorio se usa un equipo llamado edómetro o consolidómetro, está basada en la consolidación unidimensional de suelos y nos permite hallar parámetros de comprensibilidad tanto para arcillas normalmente consolidadas como para arcillas sobreconsolidadas, estos parámetros también son útiles para el modelamiento numérico de arcillas a través de modelos constitutivos como el modelo de Cam Clay modificado (Das, 2013/2015)

Los dos parámetros de comprensibilidad son el índice de compresión (Cc) y el índice de Expansión (Cs) que son esenciales para la aplicación en los métodos constitutivos. *El índice de Compresión* es un índice que se halla a través del valor de la pendiente que se forma cuando la curva (e vs Esfuerzo) forma una recta al momento de aplicar cargas más grandes, esa línea recta forma parte de la curva virgen donde el suelo de campo ha sido sometido y a partir de ella se halla este parámetro. *El índice de Expansión* es un índice que resulta el valor de la pendiente de la recta que se forma al retirar la carga en el proceso de descarga, este índice representa al caso de las arcillas sobreconsolidadas. Si bien se pueden hacer relaciones empíricas para obtener sus valores a través del límite líquido, es muy importante seguir los reglamentos para poder hallar sus valores (Das, 2013/2015).

En la siguiente **figura 18** podemos ver un esquema de la relación de vacíos y el esfuerzo aplicado en escala logarítmica para un mejor entendimiento para la obtención de los parámetros de comprensibilidad.

Figura 18

Curva de Compresibilidad de relación de vacíos (e) vs Log (Esfuerzo aplicado)



Nota. Adaptado de *Curva de consolidación unidimensional* (p. 6), por J. F. Camacho et al., 2004, Universidad Militar Nueva Granada.

2.8 Resistencia al Corte de Suelos

Según Das (2013/2015) "la resistencia cortante de un suelo es la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior" (p. 228).

Esta resistencia es una función de la cohesión, resistencia a la fricción de suelos (parámetros de corte), incluso del contenido de agua y la presión intersticial del suelo (Das, 2013/2015).

La cohesión por ejemplo es una función del tipo de materiales cementantes o minerales de arcillas, y de los esfuerzos intergranulares en el cual la cementación tomo lugar en la historia de la carga de la sedimentación. *El ángulo de fricción* es una importante función de las dimensiones y forma de los granos, el arreglamiento del esqueleto estructural y el estado de compactación del material, también se puede decir que es el valor entre dos superficies de deslizamiento en el instante que ocurre el desplazamiento relativo (Juárez y Rico. 2011a).

2.8.1 Criterio de Falla de Mohr Coulomb

En la teoría de la falla de materiales se demuestra que un material falla debido a una combinación de esfuerzos tanto cortante como normal. Así, para la envolvente de falla en la mecánica de suelos, podemos tener una relación lineal del esfuerzo cortante con el esfuerzo normal. En la **figura 19** se ve un esquema de como se relaciona el ángulo del plano de falla con la envolvente de falla para poder obtener los parámetros de corte y también obtener algunas ecuaciones importantes aceptadas por la mecánica de suelos (Das, 2013/2015).

$$\tau_f = c + \sigma * \tan(\emptyset) \tag{2.6}$$

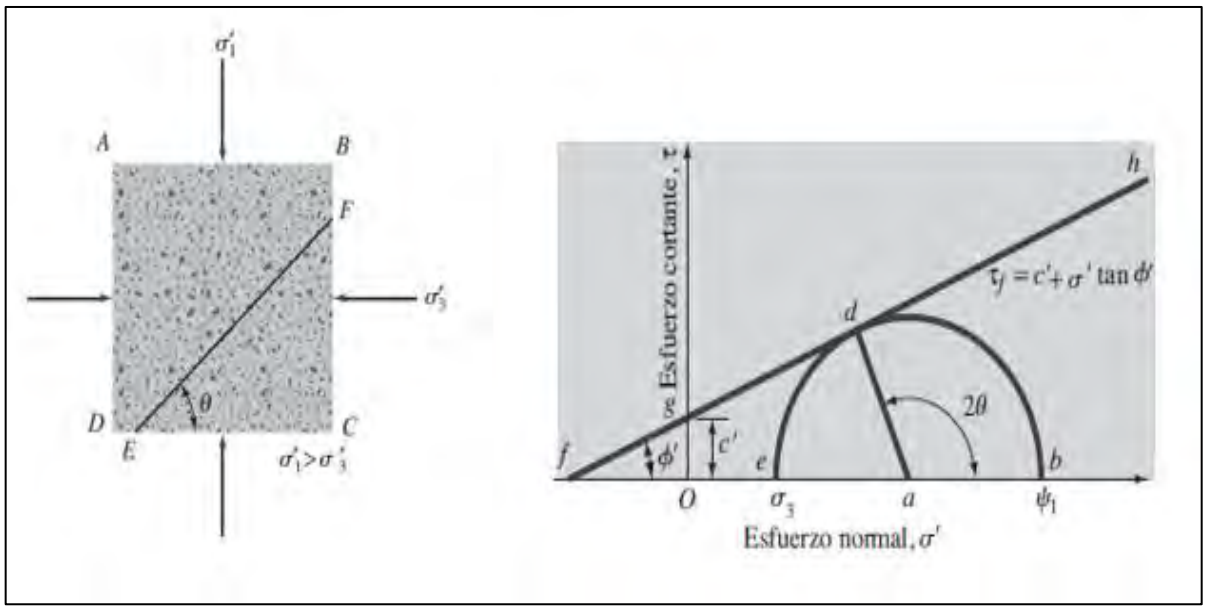
$$\theta = 45 + \frac{\emptyset\prime}{2} \tag{2.7}$$

$$\sigma = \left(\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}\right) + \left(\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\right) * \cos(2\theta) \tag{2.8}$$

$$\tau = \left(\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\right) * \text{sen}\,(2\theta) \tag{2.9}$$

Figura 19

Angulo de plano de falla y los parámetros de cohesión y Angulo de fricción



Nota. Adaptado de *Inclinación del plano de falla en el suelo con respecto al plano principal mayor* (p. 231), por B. M. Das, 2013/2015, Cengage Learning.

2.8.2 Ensayo de Corte Triaxial.

Para el estudio del comportamiento elastoplástico del suelo y para la determinación de sus parámetros de corte se pueden hacer varios ensayos de laboratorio, entre los más conocidos son el ensayo de corte directo y el ensayo de corte triaxial.

El ensayo de corte directo es un ensayo que se hace fallar el suelo con respecto a un plano horizontal, esta puede ser de falla por carga controlada o deformación controlada, es más usada para arenas secas o saturadas, tiene aplicación tanto para taludes y para la determinación del ángulo de fricción entre un suelo y un material, es muy importante indicar que este ensayo tiene limitaciones porque la muestra no falla con respecto al plano más débil sino con respecto al plano de división de la caja del ensayo, y al hacer esto la falla a través de ese plano no es uniforme, es por estas razones que un ensayo de corte triaxial es muy adecuado para varios casos (Das, 2013/2015).

El ensayo de corte triaxial es un ensayo de laboratorio más confiable para la obtención de los parámetros de corte siendo muy usada para las investigaciones y proyectos, Nos otorga un estudio más detallado sobre el comportamiento elastoplástico del suelo, diferente al caso de la prueba de corte directo, nos da una falla más uniforme a lo largo del plano de falla y también te muestra la dirección y el plano en que ocurre la falla de la muestra (Das, 2013/2015)

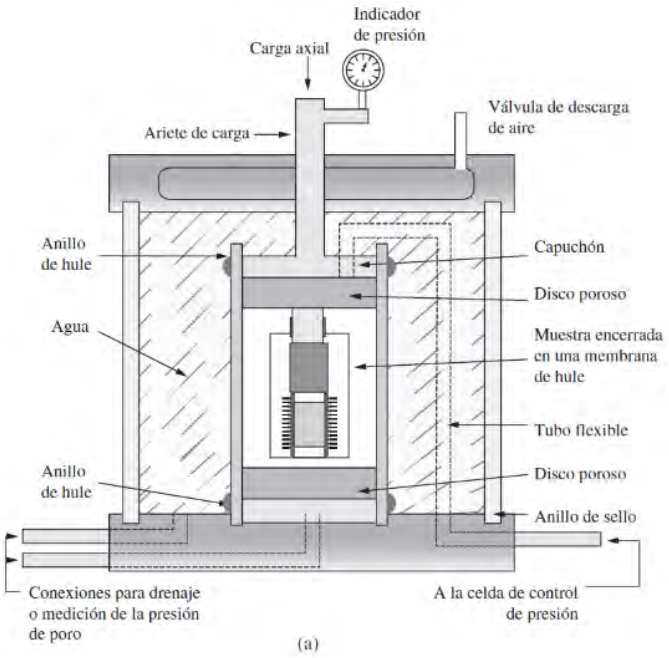
La prueba de corte triaxial tiene tres condiciones para poder hallar los parámetros de corte de pendiendo de las situaciones de campo o criterio del investigador, los cuales son: *la prueba consolidada - drenada* o prueba drenada (CD), el cual nos permite hallar parámetros efectivos a través de la lenta aplicación del esfuerzo desviador (q') para evitar que se produzcan presión de poros, *la prueba Consolidada – no drenada* (CU) es una prueba donde se miden la presión de poros al momento de hacer el corte de la muestra, esta prueba nos permite hallar , por ejemplo, de una manera rápida los parámetros de corte efectivos, *la*

prueba no consolidada - no drenada (UU) es una de las pruebas más usadas, también es llamada prueba rápida o prueba no drenada, permite hallar el parámetro llamado resistencia no drenada (Cu) a través del concepto de $\emptyset = 0°$ (Das, 2013/2015).

En la siguiente **figura 20** podemos observar el esquema de un equipo de corte triaxial mostrando las diferentes partes que compone, así como las conexiones de drenajes para las condiciones CD, CU y UU.

Figura 20

Esquema de la cámara de un equipo de corte triaxial



Nota. Adaptado de *(a) Diagrama de un equipo de prueba triaxial* (p. 240), por B. M. Das, 2013/2015, Cengage Learning.

Para nuestra presente investigación hicimos ensayos de corte triaxiales con condición Consolidados – Drenados para obtener parámetros de corte efectivos en nuestras muestras de suelo y así aplicar en ellos modelos constitutivos para simular el comportamiento esfuerzo – deformación en condiciones drenadas (Ver detalles en el Capítulo IV).

2.9 Introducción a los Modelos Constitutivos

Por medio de la mecánica del medio continuo para la aplicación de modelos constitutivos se debe cumplir tres condiciones: la ecuación de equilibrio de esfuerzos, la ecuación de compatibilidad de deformaciones y las ecuaciones constitutivas que relacionan esfuerzos y deformaciones (Malvem, 1969; Spencer, 1980, como se citó en Rojas, 2014).

Según Estaire (2017) las ecuaciones (2.10), (2.11), (2.12), (2.13), (2.14), (2.15) son base para la compresión de la aplicación de modelos constitutivos y están representados por:

Los esfuerzos podemos representarlos por la matriz o tensor:

$$\sigma' = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \tag{2.10}$$

El tensor puede ser representado por un tensor volumétrico y desviador:

$$\sigma' = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p' & 0 & 0 \\ 0 & p' & 0 \\ 0 & 0 & p' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_{xx} - p' & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} - p' & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} - p' \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

Donde:

$$p' = \frac{1}{3} * (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) \tag{2.12}$$

Para el caso de las deformaciones también puede usarse un tensor:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

Donde también la matriz es simétrica y se pude dividir en dos componentes, un tensor volumétrico y desviador:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_v/3 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_v/3 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_v/3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} - \varepsilon_v/3 & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} - \varepsilon_v/3 & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} - \varepsilon_v/3 \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

Donde:

$$\varepsilon_v = (\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}) \tag{2.15}$$

La isotropía es un punto importante en muchos modelos, de ahí la formulación se realiza en función de los invariantes de esfuerzo y deformación conjugados. Algunos invariantes son muy frecuentes como el esfuerzo efectivo principal, los esfuerzos desviadores, los ángulos de Lode, etc. También aparecen invariantes para el caso de las deformaciones como los de deformación desviadora y volumétrica, así para un incremento de deformaciones o esfuerzos queda entonces relacionarlos con los invariantes. Entonces para el tema de compresión triaxial, los esfuerzos y deformaciones quedan expresados mediante las ecuaciones (2.16), (2.17), (2.18) y (2.19). Así, ahora solo es necesario una ecuación constitutiva que relacione los componentes de esfuerzo y deformación, para así tener una representación del comportamiento no lineal, lineal y elastoplásticos de los suelos (Rojas, 2014).

$$dp' = \frac{1}{3} * (d\sigma_1 + 2 * \sigma_3) \tag{2.16}$$

$$dq = (d\sigma_1 - \sigma_3) \tag{2.17}$$

$$d\varepsilon_v = d\varepsilon_1 + 2 * d\varepsilon_3 \tag{2.18}$$

$$d\varepsilon_s = \frac{2}{3}(d\varepsilon_1 - d\varepsilon_3) \tag{2.19}$$

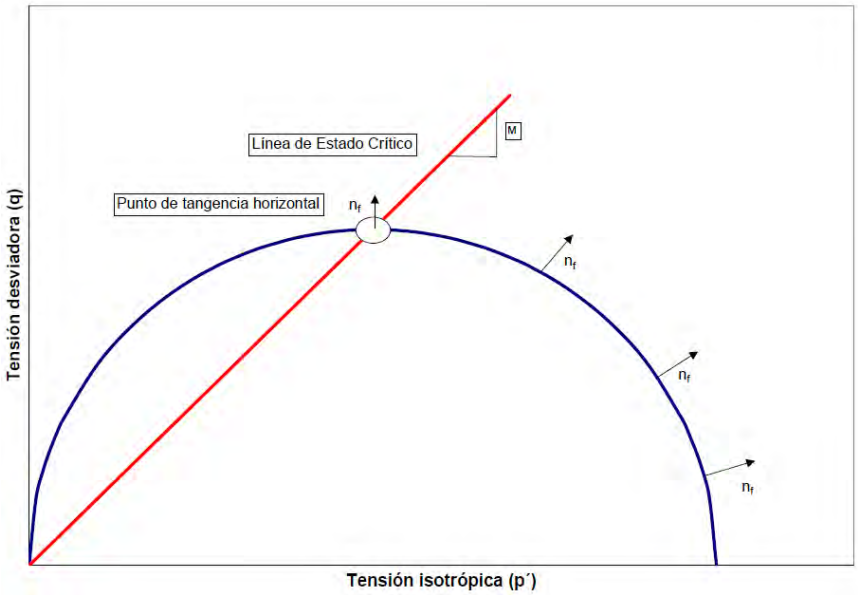
2.9.1 Superficie de Fluencia

Definida por Drucker en 1955, esta superficie da la existencia de un estado de tensiones donde la deformación plástica es causada por un punto ubicado sobre tal superficie produciéndose un incremento de tensión al aplicarse. La superficie de fluencia define el rango de la respuesta elástica separando el comportamiento elástico del plástico, así, dentro de la superficie solo pueden ocurrir deformaciones elásticas y la misma superficie pueden ocurrir deformaciones plásticas (Estaire, 2017).

En la **figura 21** se puede ver la superficie de fluencia del modelo Cam Clay modificado que es uno de los modelos más conocidos, que en este caso su superficie es una elipse.

Figura 21

Superficie de fluencia del Modelo Cam Clay Modificado



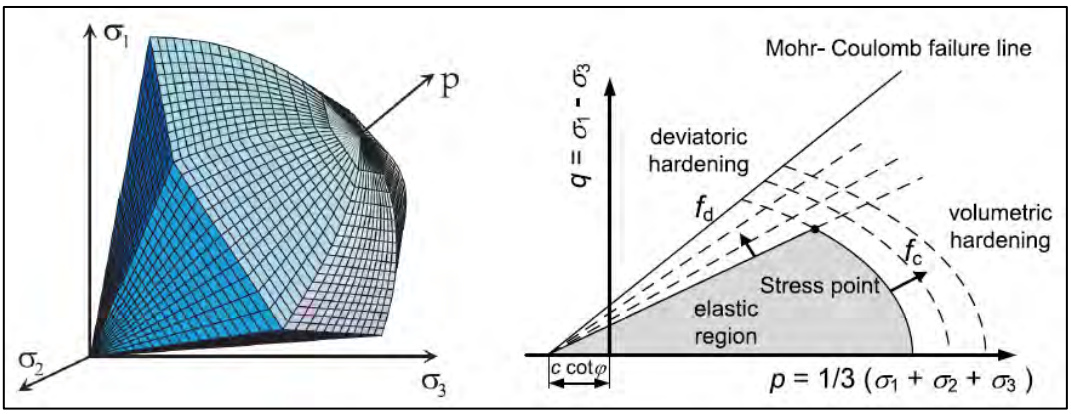
Nota. Adaptado de *Superficie de fluencia del modelo de Cam-clay modificada* (p. 9), por J. Estaire, 2017, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

La Superficie de fluencia está definida por una función f, usualmente presentada en el espacio de esfuerzo que puede estar definida en términos del estado de esfuerzos, invariantes, deformaciones plásticas, parámetros que definen el endurecimiento, entre otros. Dándonos tres consideraciones: Si $f(\sigma, k) < 0$ los puntos de esfuerzo están dentro de la superficie y solo producen condiciones elásticas, si $f(\sigma, k) = 0$ sobre la superficie de fluencia los esfuerzos de carga darán deformaciones plásticas y esfuerzos de descarga darán deformaciones elásticas y si $f(\sigma, k) > 0$ es un estado imposible de esfuerzos (Rojas, 2014).

En la **figura 22** podemos tener una idea de la superficie de fluencia del modelo de Hardening soil en tres dimensiones el cual tiene una superficie no fija y puede expandirse por causa de la deformación plástica. Así, si un modelo se cambia de Mohr Coulomb a Hardening Soil el punto situado en el dominio elástico puede llegar a la región plástica y si el punto es de dominio plástico, al cambiar el modelo de Hardening soil a Mohr Coulomb, llegará a la región elástica, dando así procesos que no pueden ser arbitrarios (Vakili et al., 2013).

Figura 22

Superficie de fluencia doble del Modelo de Hardening Soil



Nota. Adaptado de *Hardening soil model is principal stress space and its double hardening yield surfaces* (p. 4), por K. N. Vakili et al., 2013, Institute for Foundation Engineering , Soil and Rock Mechanics, Ruhr-Universit¨at Bochum, Germany.

2.9.2 Ley de la Regla de Flujo y La Superficie Equipotencial

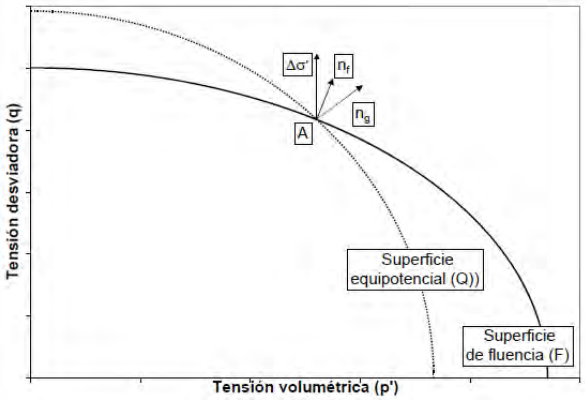
Teniendo una superficie potencial plástica con respecto a una regla de flujo el cual define la dirección del vector de incremento de deformaciones plásticas donde se asume que la dirección de 'flujo plástico' es perpendicular a la función de potencial plástico g. Existen dos tipos de reglas de flujo, el primero *asociado*, en donde $f = g$, donde la superficie de fluencia encaja con la superficie potencial plástica y el segundo *no asociado*, donde $f \neq g$ donde sucede lo contrario (Rojas, 2014).

Para calcular la deformaciones plásticas se usa el denominado ley de flujo plástico que nos da a conocer tres conceptos importantes, el primero, *vector de flujo plástico* que marcará la dirección de la deformación plástica, y se entiende como una relación de las componentes de las deformaciones de acuerdo a los ejes, la segunda, *función de dilatancia* que es la relación entre la variación de deformación volumétrica plástica y variación de deformación desviadora plástica, y el tercer concepto, *modulo plástico* el cual se obtiene por medio de las condiciones de consistencia a la teoría clásica de la plasticidad en la superficie de fluencia donde su símbolo matemático es representado por una H (Estaire, 2017).

En la **figura 23** podemos observar un ejemplo del vector de flujo plástico y su relación con las superficies de fluencia y equipotencial.

Figura 23

Los vectores de flujo plástico y las superficies de fluencia y equipotencial



Nota. Adaptado de *Superficies de fluencia y equipotencial y vectores participantes en un proceso de carga* (p. 12), por J. Estaire, 2017, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

2.9.3 Efectos del Endurecimiento en suelos

Define como evolucionan la superficie de fluencia con la presencia de deformación plástica ya sea en la variación de la expansión, contracción, traslado o rotación, eso nos definirá las superficies después de la fluencia. Las leyes de endurecimiento que nos permiten un comportamiento de la superficie de la fluencia son de tipo: *isótropo*, que corresponde a una expansión/reducción de la superficie de fluencia, el de tipo *cinemático* relacionado a la rotación y traslación de la superficie de fluencia, y del tipo mixto (Rojas, 2014).

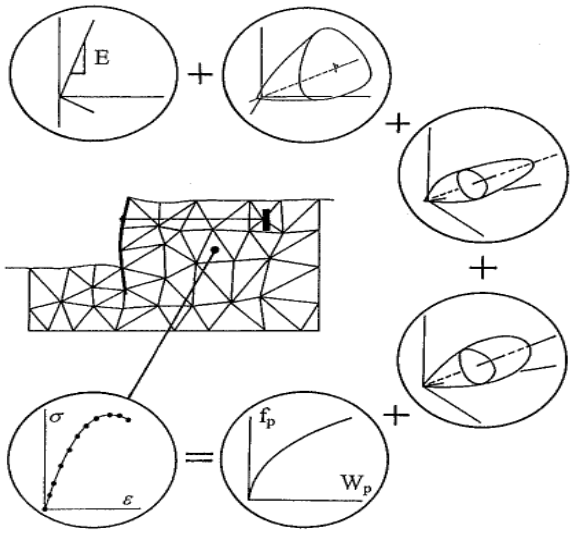
2.10 Modelos Constitutivos

Los modelos constitutivos son expresiones que simulan la relación esfuerzo – deformación de un suelo bajo diferentes condiciones en los que se encuentra, estos modelos contienen propiedades importantes del material y se necesitan idealizaciones para poder expresar el comportamiento del suelo (Wulfsohn y Adams, 2002, como se citó en Rojas, 2014).

Los modelos constitutivos son ecuaciones matemáticas que, a través de ecuaciones constitutivas que relaciona incrementos de esfuerzos y deformaciones, tratan de simular observaciones reales o experimentales de los suelos que vemos en nuestra realidad. Muchos de estos modelos fueron desarrollados desde simples hasta modelos avanzados, ya sea desde la evidencia experimental o basado en principios teóricos. Dentro de sus consideraciones básicas tenemos como el esqueleto granular, vacíos llenos de gases y/o fluidos, principios de esfuerzos efectivos. En mecánica del continuo cada elemento representa un elemento del suelo, y su comportamiento esfuerzo deformación está definido mediante modelos constitutivos. En la **figura 24** podemos ver que la curva esfuerzo deformación es una suma de varios conceptos dentro del comportamiento del suelo como elasticidad, elastoplasticidad, endurecimiento, etc (ingredientes constitutivos) donde al final son los que resultan en las ecuaciones matemáticas que asocian incrementos de deformaciones con incremento de esfuerzos (Lade, 2005).

Figura 24

Componentes que conforman el comportamiento elastoplástico del suelo

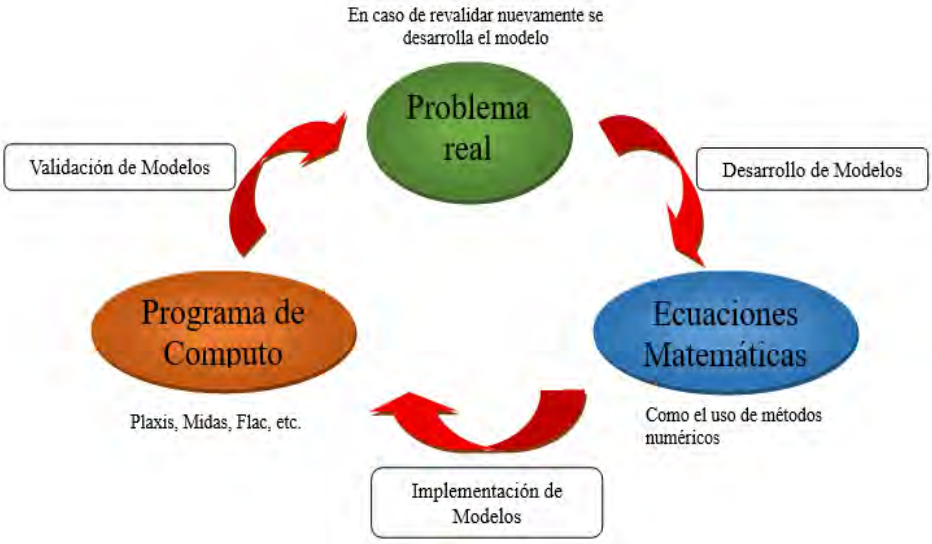


Nota. Adaptado de *Soil structure divided into a finite number of elements each of which is represented by a constitutive model base don elasticity and plasticity theories.* (p. 2), por P. V. Lade, 2005, ASCE Geotechnical Special Publication No 128.

La **figura 25** también nos da un ejemplo de flujo del desarrollo de modelos constitutivos a través del desarrollo, implementación, validación y su posterior aplicación (GeoGroup UNI - Grupo Geotécnico, 2022)**.**

Figura 25

Flujo para el desarrollo de modelos constitutivos



Para la presente investigación se seleccionó cuatro modelos constitutivos para su aplicación en el estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona - Cusco, algunos de estos modelos son conocidos como el modelo Mohr Coulomb y Hardening Soil, el modelo basado en la teoría del estado crítico como el modelo de Cam Clay modificado y el modelo de la Hipoplasticidad. La obtención de los parámetros de cada uno de estos modelos fue de acuerdo a su descripción y metodología y se hicieron ensayos de laboratorio de acuerdo a la Norma Técnica Peruana según corresponda y a la ASTM D7181-20 y posteriormente se usó el software PLAXIS 2D versión 2023 para la calibración y simulación de las correspondientes curvas esfuerzo – deformación. A continuación, se dará una breve descripción de cada modelo constitutivo que se usó en la presente investigación, para un mejor detalle de cada modelo se recomienda visitar las referencias bibliográficas que fueron citadas durante la descripción de los modelos constitutivos.

2.10.1 Modelo constitutivo de Mohr – Coulomb.

Basada en la ley de Hooke y el criterio general de la falla de Mohr Coulomb, este modelo elastoplástico perfecto es de primer orden al comportamiento no lineal del suelo, permite simular suelos sueltos o normalmente consolidados. Este modelo incluye tanto la elasticidad como la plasticidad para deformaciones plásticas (Nieto et al., 2009).

Este modelo involucra una superficie de fluencia fija que proporciona los límites de comportamiento elástico y plástico, así el estado general de esfuerzos en el modelo es una ampliación de la ley de fricción de Coulomb basado en seis ecuaciones de función f (ver **figura 26**), y por la formulación de las tasas de deformación elástica y plástica se tienen dos ecuaciones (2.20) y (2.21), donde el fenómeno de la dilatancia en adición a la fluencia *f*, nos proporciona funciones de potencial no asociado $g \neq f$ (ver **figura 27**), por lo tanto tendremos las siguientes ecuaciones (2.22) y (2.23) que relacionan los esfuerzo y deformación del modelo de Mohr Coulomb para la elastoplasticidad (Nieto et al., 2009)

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}^e + \dot{\varepsilon}^p \tag{2.20}$$

$$\dot{\sigma}' = D^e \dot{\varepsilon}^e = D^e(\dot{\varepsilon} - \dot{\varepsilon}^p) \tag{2.21}$$

$$\dot{\varepsilon}^p = \lambda' * \frac{\partial g}{\partial_{\sigma'}} \tag{2.22}$$

$$\dot{\sigma}' = D^e - \frac{\alpha}{d} * D^e * (\frac{\partial g}{\partial_{\sigma'}} * \frac{\partial f^T}{\partial_{\sigma'}}) *\dot{\varepsilon} \tag{2.23}$$

Figura 26

Ecuaciones para la superficie de fluencia en términos de los esfuerzos principales

$$f_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_3)\sin(\phi) - c\cos(\phi) \leq 0 \quad a)$$
$$f_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_2)\sin(\phi) - c\cos(\phi) \leq 0 \quad b)$$
$$f_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_1)\sin(\phi) - c\cos(\phi) \leq 0 \quad c)$$
$$f_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)\sin(\phi) - c\cos(\phi) \leq 0 \quad d)$$
$$f_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_2)\sin(\phi) - c\cos(\phi) \leq 0 \quad e)$$
$$f_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_1)\sin(\phi) - c\cos(\phi) \leq 0 \quad f)$$

Nota. Adaptado *de Eq. [77]* (p. 34), por Material Models Manual 2D, 2023a, Plaxis.

Figura 27

Funciones de potencial plástico para el modelo de Mohr Coulomb

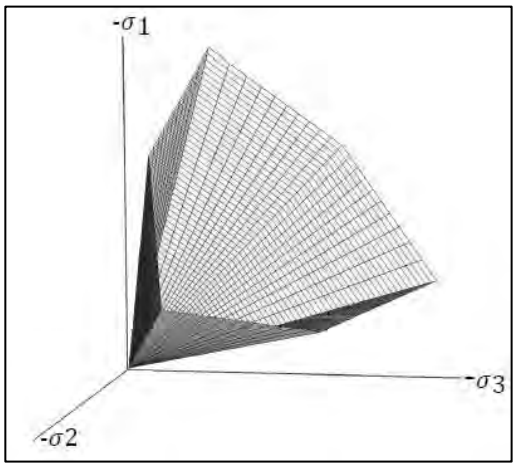
$$g_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_3)\sin(\psi) \leq 0 \quad a)$$
$$g_{1b} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_2)\sin(\psi) \leq 0 \quad b)$$
$$g_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_1)\sin(\psi) \leq 0 \quad c)$$
$$g_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)\sin(\psi) \leq 0 \quad d)$$
$$g_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_2)\sin(\psi) \leq 0 \quad e)$$
$$g_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_1)\sin(\psi) \leq 0 \quad f)$$

Nota. Adaptado de *Eq. [78]* (p. 35), por Material Models Manual 2D, 2023a, Plaxis.

En la figura 26 se puede apreciar dos parámetros bien conocidos, la cohesión y el ángulo de fricción, y en la figura 27 podemos también observar la intervención del ángulo de dilatancia que adquiere un valor diferente de cero para suelos densos o rígidos y para una condición de *fi=0* todas las superficies de fluencia son fijadas en un cono hexagonal tal como se muestra en la **figura 28** para cohesión igual a cero (Plaxis, 2023a).

Figura 28

Superficie de Fluencia para el modelo de Mohr Coulomb

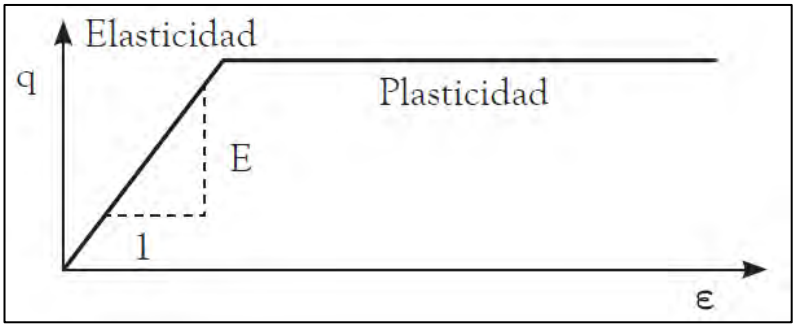


Nota. Adaptado de *The Mohr-Coulomb yield surface in principal stress space (c = 0)* (p. 34), por Material Models Manual 2D, 2023a, Plaxis.

En la **figura 29** podemos apreciar un comportamiento clásico del modelo de Mohr Coulomb basado en su formulación.

Figura 29

Comportamiento elastoplástico perfecto del Modelo de Mohr Coulomb



Nota. Adaptado de ***Formulación*** *básica del modelo elastoplástico perfecto (Mohr-Coulomb)* (p. 78), por A. Nieto et al., 2009, Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15).

Parámetros del Modelo de Mohr Coulomb. Básicamente el modelo de Mohr Coulomb está conformado por cinco parámetros conocidos los cuales son los la cohesión, el ángulo de fricción, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson y el ángulo de dilatancia. A continuación, se hará una descripción breve de cada uno de ellos.

Para los *Parámetros de Resistencia* tenemos: la ***Cohesión (c)***, el cual es un parámetro dado por las fuerzas de cementación entre partículas que conforman los suelos, en especial los suelos cohesivos, este parámetro puede ser hallado por medio del ensayo de corte triaxial a a través del criterio de falla de Mohr Coulomb interceptando la envolvente de falla al eje de ordenadas. ***El ángulo de Fricción*** ($\emptyset$) es otro parámetro muy usado para el diseño de ingeniería de cimentaciones, taludes, etc, este parámetro es una medida de la fricción entre partículas del suelo, así como una función de dimensiones y forma de los granos, puede ser hallado por medio de ensayos de corte triaxiales a través del ángulo que forma la envolvente de falla con el eje de las abscisas o incluso por medio de tablas. ***El ángulo de dilatancia*** ($\boldsymbol{\psi}$) es un parámetro que puede influir mucho en el modelamiento del material, ya que tanto para suelos densos o rígidos y suelos sueltos o blandos, este parámetro viene de un comportamiento diferente en ambos casos en las deformaciones volumétricas (ver **figura 31**)

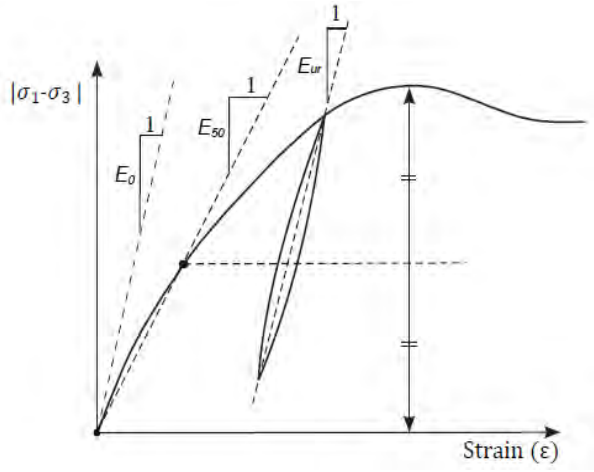
que se obtiene de ensayos de corte triaxiales, por ejemplo, para suelos normalmente consolidados este parámetro tiene un valor de cero grados (Nieto et al., 2009).

Se puede ver en la figura 19 un esquema para la obtención de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción, así como formulaciones de las ecuaciones en la sección 2.8.1.

Para los *Parámetros de Elasticidad* tenemos: ***El Módulo de Young (E)***, también indicado como parámetro de rigidez, este parámetro debe hallarse por medio de ensayos de corte triaxiales por medio de una secante en la curva esfuerzo – deformación al 50% de la deformación máxima alcanzada, se puede simbolizar como E50, según la experiencia este método es el más considerado para hallar este parámetro a pesar de que haya relaciones empíricas para su obtención, en la **figura 30** podemos ver un esquema sobre ello. ***La Relación de Poisson (v)***, es bien conocido que este parámetro es complicado de hallar, la mejor manera es colocando sensores de deformación en las partes laterales de las muestras, sin embargó a través de la deformación volumétrica -unitaria de los ensayos de corte triaxiales es posible hallarlo (ver **figura 31**) o por medio de relación empíricas, teniendo cuidado su aplicación en condiciones no drenadas (Nieto et al., 2009).

Figura 30

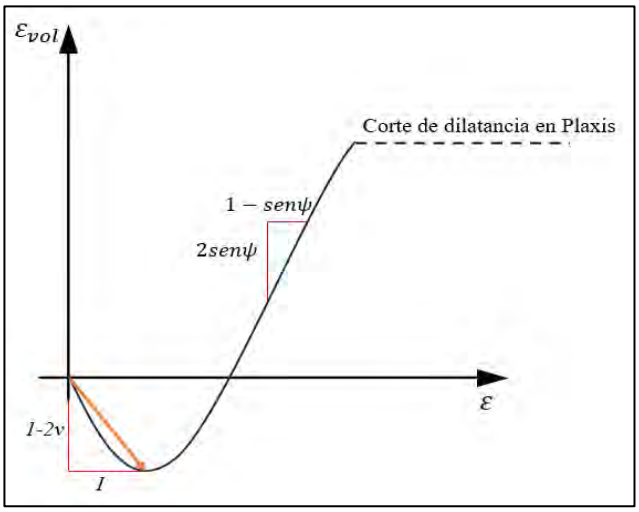
Módulos de Rigidez Eo, E50 y Eur.



Nota. Adaptado de *Definition of E0, E50 and Eur for drained triaxial test results* (p. 36), por Material Models Manual 2D, 2023a, Plaxis.

Figura 31

Parámetros de Relación de Poisson y Angulo de Dilatancia



A continuación, presentamos un resumen de los parámetros básicos del Modelo de Mohr Coulomb sus descripciones y el ensayo a hacer para sus respectivas obtenciones (Ver **tabla 2**).

Tabla 2

Parámetros básicos del modelo de Mohr Coulomb y los Ensayos a realizar

Parámetros de Mohr Coulomb	Descripción de Parámetro	Ensayo de Laboratorio
C	Cohesión	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
ϕ	Angulo de Fricción	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
ψ	Angulo de Dilatancia	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
E	Módulo de Elasticidad	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
υ	Relación de Poisson	Ensayo de Corte Triaxial Drenado

Nota. Material Models Manual 2D (Plaxis) (2023a, p. 35).

2.10.2 Modelo constitutivo de Hardening Soil.

Formulado en base a la teoría clásica de la plasticidad, el modelo de Hardening Soil (en este caso isotrópico) simula varios tipos de suelos y sus características, a excepción de la histéresis y el comportamiento cíclico, y no necesariamente suelos altamente sobre consolidados, , este modelo usa también los criterios de falla de Mohr Coulomb para obtener sus parámetros de la cohesión y ángulo de fricción , sin embargo el modelo usa tres rigideces diferentes pero referentes ya que la rigidez del suelo será simulado con mucha mejor precisión, los cuales son el módulo de elasticidad de referencia al 50% de esfuerzo máximo (E_{50}^{Ref}), El modulo de rigidez de carga y descarga (E_{ur}^{Ref}), el módulo de rigidez edométrico (E_{oed}^{Ref}), así también el modelo toma en cuenta la potencia para la dependencia para la rigidez, ya que estas aumentan con los esfuerzos, se distingue el endurecimiento entre esfuerzo cortante y por compresión. El modelo durante la aplicación del software toma más tiempo y se deforma para cada paso de computación, además la superficie de fluencia se expande por causa de las deformaciones plásticas (Vakili et al., 2013; Wu y Yu Tung, 2019).

El modelo de Hardening Soil es un modelo de segundo orden, pues es una variante elastoplástica del modelo hiperbólico. El modelo no tiene una superficie de fluencia fija por causa de las deformaciones plásticas y por los efectos de los esfuerzos de preconsolidacion, así la ecuación general para la fluencia del modelo está dada por la ecuación (2.24), donde $\bar{f}$ esta en función de los esfuerzos y rigidez del modelo y Υ^p en función de las deformaciones plásticas. El modelo de Hardening Soil es superior en su formulación por varias razones, superando a los modelos propuestos por Kondner y al modelo hiperbólico de Duncan y Chang, por ejemplo, por usar la teoría de la plasticidad, el fenómeno de la dilatancia e introducir una superficie de fluencia variable. Podemos observar en la ecuación (2.25) una manera para describir diferentes comportamientos tales como la **figura 32**, así como el uso de las ecuaciones (2.26) para establecer el esfuerzo desviador de falla (qf) y el valor asintótico

de la resistencia al corte de suelo (qa), así cuando q=qf, sucede la plasticidad perfecta tal como en el modelo de Mohr Coulomb (Nieto et al., 2009).

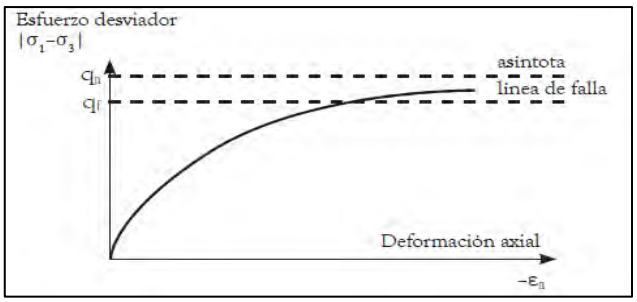
$$f = \bar{f} - \Upsilon^{p} \tag{2.24}$$

$$\varepsilon a = \frac{1}{2E_{50}} * \frac{q}{1-\frac{q}{qa}} \quad con\ q < qf \tag{2.25}$$

$$qf = (c'cot\phi' - \sigma'^{3}) * \frac{2sin\phi'}{1-sin\phi'} \quad ; \quad qa = \frac{qf}{Rf} \tag{2.26}$$

Figura 32

Comportamiento del Modelo de Hardening Soil en la curva esfuerzo - deformación



Nota. Adaptado *de Relación hiperbólica esfuerzo-deformación* (p. 80), por A. Nieto et al., 2009, Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15).

En la figura 22, anteriormente mostrada, podemos observar un ejemplo de la superficie de fluencia para le modelo de Hardening Soil.

Parámetros del Modelo de Hardening Soil. El modelo comprende parámetros más precisos para el comportamiento del suelo, así se tienen parámetros como:

Para los *Parámetros de Resistencia*, tenemos los ya indicados anteriormente en el modelo de Mohr Coulomb los cuales son, ***la Cohesión (c), El ángulo de Fricción*** (∅) y ***El ángulo de dilatancia*** (**ψ**).

Para los *Parámetros de Rigidez,* tenemos: El parámetro de ***Dependencia al estado de Esfuerzos (m)***, este parámetro es una característica que da un enfoque general de la dependencia de los parámetros de rigidez, tales como la relación de los módulos de Young y los esfuerzos de confinamiento a través de una regresión lineal***. El Módulo de Rigidez***

Secante de Referencia (E_{50}^{Ref}), como el análisis es de acuerdo a la dependencia de esfuerzos, se debe definir un parámetro global y único que permita simular el suelo bajo diferentes confinamientos, este parámetro es también hallado de la relación lineal de los módulos de Young y los esfuerzos de confinamiento. ***El módulo de Rigidez tangente Edométrico*** (E_{oed}^{Ref}), es generalmente obtenido de un ensayo de consolidación unidimensional donde se establece una tangente a los esfuerzos de referencia, este parámetro puede ser obtenido también a través de relaciones o correlaciones, por ejemplo, con el (E_{50}^{Ref}). ***El Módulo de Rigidez de Recarga-Descarga*** (E_{ur}^{Ref}), cuando es suelo está bajo condiciones de carga y descarga este parámetro de rigidez puede ser incluido generalmente es obtenido su valor igual al triple de (E_{oed}^{Ref}) (Nieto et al., 2009; Wu y Yu Tung, 2019).

Para los *Parámetros Avanzados*, plaxis nos da recomendaciones de algunos valores por defecto para el análisis de suelos, entre ellos tenemos la ***relación de Poisson de carga y descarga Vur*** que por defecto es de 0.2 y el ***coeficiente de presión lateral de tierras*** K_0^{nc} que es dependiente en su formulación si el suelo es normalmente consolidado o sobre consolidado (Nieto et al., 2009).

Plaxis nos da algunas recomendaciones para la obtención de los parámetros, por ejemplo, se pueden usar las ecuaciones (2.27), (2.28), (2.29), (2.30) para las determinaciones de los módulos de rigidez de referencia, así también para los datos como Vur que por defecto es 0.2, una presión de Referencia (Pref) un valor de 100Kpa, el valor de K_0^{nc} de acuerdo a lo ya mencionado anteriormente y el valor de Rf que según plaxis puede ser de 0.9 por defecto. También es muy importante mencionar que para casos particular es importante una buena estimación de los valores en caso de no usar los valores defectos. Así mismo se debe recalcar el uso del corte de dilatancia para la variación volumétrica ya que al hacer esto se tiene una simulación más realista del suelo, diferente al caso del Modelo de Mohr Coulomb que no considera este corte (Plaxis, 2023a).

$$E_{50} = E_{50}^{Ref} * (\frac{c*\cos(\emptyset)+\sigma'_3*\sin(\emptyset)}{c*\cos(\emptyset)+p^{ref}*\sin(\emptyset)})^m \quad (2.27)$$

$$E_{ur} = E_{ur}^{Ref} * (\frac{c*\cos(\emptyset)+\sigma'_3*\sin(\emptyset)}{c*\cos(\emptyset)+p^{ref}*\sin(\emptyset)})^m \quad (2.28)$$

$$E_{oed} = E_{oed}^{Ref} * (\frac{c*\cos(\emptyset)+\frac{\sigma'_3}{K_0^{nc}}*\sin(\emptyset)}{c*\cos(\emptyset)+p^{ref}*\sin(\emptyset)})^m \quad (2.29)$$

$$E_{ur}^{Ref} = 3 * E_{50}^{Ref} \quad (2.30)$$

En la siguiente **Tabla 3** podemos ver los parámetros del Modelo Hardening Soil.

Tabla 3

Parametros del Modelo Hardening Soil

Parámetros	Descripción de Parámetro	Ensayo de Laboratorio o Por Procesamiento
C	Cohesión	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
ϕ	Angulo de Fricción	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
ψ	Angulo de Dilatancia	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
E_{50}^{Ref}	Módulo de rigidez secante de Referencia	Por regresión Lineal de E50 y *p'*
E_{oed}^{Ref}	Módulo de rigidez edométrico de Referencia	Ensayo de Consolidación Unidimensional
E_{ur}^{Ref}	Módulo de rigidez de carga-descarga de Referencia	Ensayo de Corte Triaxial Drenado de carga y descarga
m	Dependencia de rigidez de estado de esfuerzos	Por regresión Lineal de E50 y *p'*
Vur	Relación de Poisson de Carga-Descarga	Por defecto
$p\,ref$	Presión de Referencia	Por defecto
K_0^{nc}	Coeficiente de Presión Lateral	Por formula
Rf	Relación de falla	Por defecto

Nota. Material Models Manual 2D (Plaxis) (2023a, pp. 73 - 74).

2.10.3 Modelo constitutivo de Cam Clay Modificado.

Este modelo, como se comentó antes, está basado en la teoría del estado crítico. En la sección 2.5 se ha dado una breve introducción sobre ello el cual está muy relacionado al modelo Constitutivo de Cam Clay modificado.

Para un mejor entendimiento del comportamiento elastoplástico del suelo se ha hecho útil el uso de modelos numéricos, debido a la dificultad que se tiene en los diseños geotécnicos de proyectos, así pues, mientras un modelo tenga más parámetros se necesita ensayos más complejos y más inversión. El modelo de Cam Clay modificado es una solución a algunos de esos problemas ya que es un modelo con parámetros relativamente simplificados y obtenidos de ensayos de laboratorio convencionales. Este modelo, desarrollado por Roscoe y Burland en 1968, está basado en cuatro principios importantes (Camacho et al., 2004):

Las Propiedades Elásticas que relaciona las deformaciones elásticas y los incrementos de esfuerzos efectivos, en las que no interviene los efectos de distorsión y de volumen (ecuación 2.31). ***La superficie de Fluencia,*** el cual determina el límite de las combinaciones de los esfuerzos en el espacio p'-q, esta tiene forma de elipse con su centro en el eje de las abscisas y esta está representada por la ecuación 2.32, en la **figura 33** podemos ver la superficie de fluencia y la pendiente crítica M. ***El potencial Plástico,*** relaciona los componentes volumétricos y cortante, así también explica el mecanismo de las deformaciones plásticas, en la **figura 33** podemos ver su inclusión mediante un vector de flujo perpendicular a la superficie, pues si se conoce la ecuación de la superficie de fluencia se conoce la dirección del vector, en la ecuación (2.33) podemos ver la relación de las deformaciones plásticas. ***Ley de Endurecimiento,*** nos muestra el cambio de la superficie de fluencia mediante las deformaciones plásticas, ya que esta superficie es dependiente de po', que no es constante, el cual también depende la variación volumétrica plástica, en la ecuación

(2.34) podemos ver la relación entre ellos. Por último, en la **figura 34** una curva elastoplástica del modelo (Camacho et al., 2004).

$$\begin{bmatrix} \partial\varepsilon_p^e \\ \partial\varepsilon_q^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k/_{v.p'} & 0 \\ 0 & 1/3G' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial p' \\ \partial q \end{bmatrix} \tag{2.31}$$

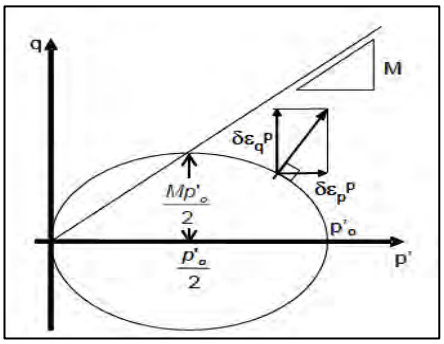
$$\frac{p\prime}{p\prime_o} = \frac{M^2}{M^2+\eta^2} \tag{2.32}$$

$$\frac{\partial\varepsilon_p^p}{\partial\varepsilon_q^p} = \frac{M^2-\eta^2}{2\eta} \tag{2.33}$$

$$\frac{\partial p\prime_0}{\partial\varepsilon_p^p} = \frac{v*p\prime_0}{\lambda-\kappa} \tag{2.34}$$

Figura 33

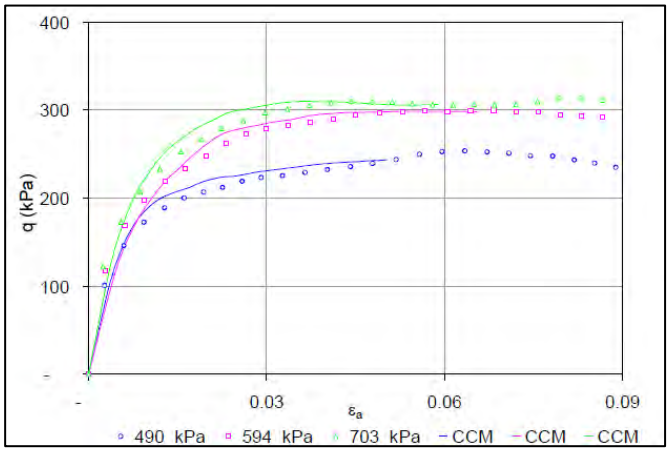
Superficie de fluencia del Modelo de Cam Clay modificado y Parámetro M



Nota. Adaptado de *Superficie de fluencia del modelo Cam-Clay modificado* (p. 7), por J. F. Camacho et al., 2004, Universidad Militar Nueva Granada.

Figura 34

Curva esfuerzo - deformación del Modelo Cam Clay Modificado



Nota. Adaptado de *Curvas esfuerzo – deformación para muestras normalmente consolidadas* (p. 10), por J. F. Camacho et al., 2004, Universidad Militar Nueva Granada.

Parámetros del Modelo de Cam Clay Modificado. Para esta sección haremos uso de la **figura 35** para tener un mejor entendimiento de los parámetros del modelo.

Para un espacio p'- q – v, podemos obtener los parámetros del modelo como sigue: ***El Módulo Cortante,*** en la **figura 35** (a) se puede observar tres curvas esfuerzo deformación de los cuales podemos extraer el Módulo de Young, así con este valor podemos hallar el Módulo Cortante (G'), en el que podemos usar la ecuación (2.35) para obtenerlo***. Pendiente de Linea de Estado Crítico,*** en la **figura 35** (b) de acuerdo al plano p'-q se puede observas las trayectorias de los ensayos para formar una línea de estado crítico (CSL) dándonos así el valor de M que puede ser hallado también por la ecuación (2.36) para un ángulo de fricción crítico. ***Valor de Γ,*** este parámetro puede ser hallado por medio de la **figura 35** (d) al valor de 1kPa en el plano v-Ln (p'). ***Pendientes λ y κ,*** de acuerdo a la **figura 35** (c) las trayectorias de las líneas NCL y CSL llegan a la **figura 35** (d) donde por medio de sus respectivas pendientes de la línea CSL se puede hallar los valores de λ y κ, estos parámetros están relacionados con la teoría de consolidación unidimensional y pueden ser halladas por medio de las ecuaciones (2.37) y (2.38). En la figura 18, anteriormente mostrada en la sección 2.7, podemos ver cómo podemos hallar los parámetros Cc' y Cs' (Camacho et al., 2004).

$$G = \frac{E_u}{2(1+v)} \tag{2.35}$$

$$M = \frac{6*sin\phi_c}{3-sin\phi_c} \tag{2.36}$$

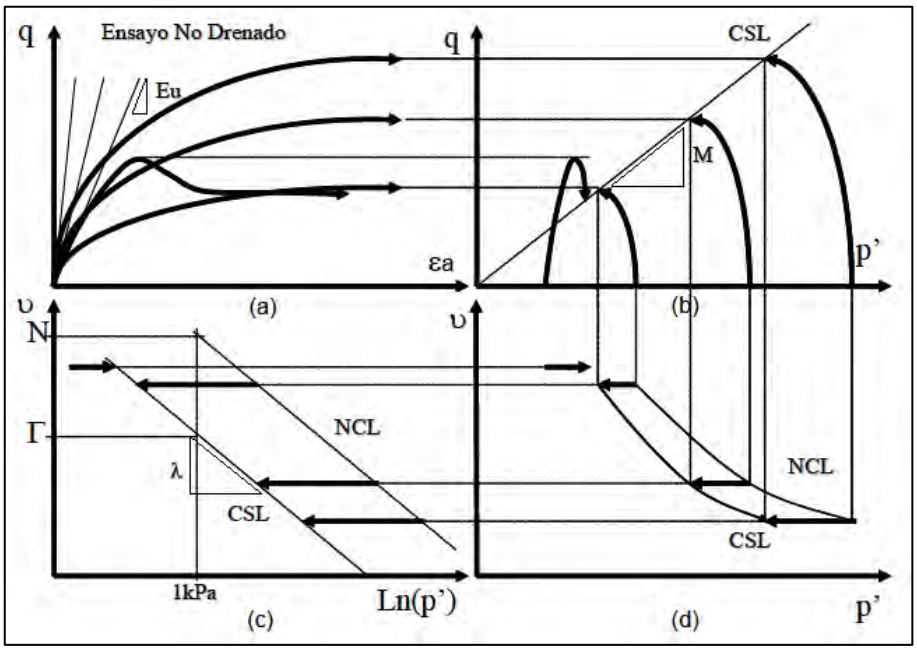
$$\lambda = \frac{Cc}{2.3} \tag{2.37}$$

$$\kappa = \frac{Cs}{2.3} \tag{2.38}$$

También se pueden usar las ecuaciones (2.4) y (2.5) para el caso de los valores de N y Γ a un valor de 1kPa para el eje de las abscisas.

Figura 35

Distintas curvas obtenidas del ensayo de corte triaxial para el estado crítico de suelos



Nota. Adaptado de *Representación de un ensayo triaxial en el espacio p' – q – v* (p. 5), por J. F. Camacho et al., 2004, Universidad Militar Nueva Granada.

Plaxis trata al modelo Cam Clay modificado también en base a la teoría del estado crítico, sin embargo, especifica que los valores λ y κ y las ecuaciones (2.37) y (2.38) están en base al plano e – Ln (p'), también se debe aclarar que el estado de falla en este modelo es en base a la falla de Druger – Prager, diferente a tipo de falla del modelo de Mohr Coulomb. Otro punto importante a destacar es que plaxis para su modelado en el software usa los parámetros de la relación de Poisson (v) con valores usuales de entre 0.1 y 0.2 y la relación de vacíos inicial (e init) en vez de los parámetros G y Γ (Ver tabla 5), adicionalmente también se requiere los datos del esfuerzo isotrópico de preconsolidación y el índice de sobre consolidación OCR (Plaxis, 2023a).

En la **tabla 4** podemos ver los parámetros del modelo de Cam Clay modificado basado en la teoría inicial y la **tabla 5** basado en el programa Plaxis versión 2023:

Tabla 4

Parámetros del Modelo Cam Clay Modificado según la teoría Inicial

Parámetros	Descripción de Parámetro	Ensayo de Laboratorio
M	Pendiente de Línea de Estado Critico	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
G	Modulo Cortante	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
λ	Índice de compresibilidad de la CSL	Ensayo de Consolidación Unidimensional
κ	Índice de recompresión de CSL	Ensayo de Consolidación Unidimensional
Γ	Valor del volumen específico para 1kPa de la CSL	Ensayo de Corte Triaxial Drenado

Nota. Ayala (2013, p. 58).

Tabla 5

Parámetros del Modelo Cam Clay Modificado para Plaxis versión 2023

Parámetros	Descripción de Parámetro	Ensayo de Laboratorio
M	Pendiente de Línea de Estado Critico	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
v	Relación de Poisson	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
λ	Índice de compresibilidad Cam Clay modificado	Ensayo de Consolidación Unidimensional
κ	Índice de Expansión Cam Clay modificado	Ensayo de Consolidación Unidimensional
e_{init}	Relación de vacíos inicial	Ensayo de Consolidación Unidimensional

Nota. Material Models Manual 2D (Plaxis) (2023a, pp. 96 – 97).

2.10.4 Modelo constitutivo de la Hipoplasticidad.

El modelo de la hipoplasticidad describe el comportamiento no lineal e inelástico de los suelos, lo describe de una manera más realista. Este modelo no necesita una superficie de fluencia o descomponer las deformaciones en rangos elásticos y plásticos (Anaraki, 2008, como se citó en Ayala, 2013).

En el comportamiento no lineal del suelo también se toma en el nivel de esfuerzo y la influencia de la densidad, así la ecuación del modelo modificado por Gudehus es dado en la ecuación (2.39) que relaciona los esfuerzos objetivos T y las deformaciones D, donde L y N son funciones del esfuerzo de relación de vacíos y $f_D \; y \; f_S$ son funciones escalares para expresar la picnotropía y barotropía, respectivamente. Aunque el modelo de la hipoplasticidad fue desarrollado primero para materiales granulares también fue desarrollado para el caso de suelos finos, Masín propuso un modelo para ello donde se obtienen parámetros por medio de regresiones lineales y ensayos de laboratorio estándar (Hernández, 2018).

$$\dot{T} = f_S L : D + f_S f_D N \left|\left|D\right|\right| \tag{2.39}$$

La deformación intergranular también es primordial en el modelo de la hipoplasticidad, tomando en cuenta el rendimiento en el rango de deformaciones pequeñas, el comportamiento no lineal del suelo, etc. A partir de la formulación general de las ecuaciones para el modelo de la hipoplasticidad se hicieron algunas adiciones y modificaciones para su formulación, introduciendo valores de factores escala, funciones tensoriales, la introducción de la teoría del estado crítico, radios de módulos de bulk y de corte y principalmente la introducción de concepto de la deformación intergranular el cual está dado por la ecuación (2.40), donde M es el tensor de rigidez tangente de cuarto orden introduciendo la variable δ llamado deformación intergranular. Así el modelo hipoplástico propuesto para el uso en suelos finos tiene los siguientes puntos importantes como: Los tensores L y N, la regla de flujo hipoplástico a través de la cantidad tensorial m, el factor barotrópico f_S, el factor picnotrópico f_d, los factores de escala c1 y c2, así como los parámetros $m_R \, , m_T$ que determinan el módulo de corte al cambio de ruta de carga meridial o los que determinan la tasa de rigidez en tensión cortante $\beta_r \, , X$, etc., para el cual se tiene muestra la ecuación (2.41). Así podemos ya establecer una formulación matemática que incluye la deformación

intergranular donde podemos estimar, además de los cinco parámetros constitutivos de la versión básica (ϕ_c, $\lambda^*, \kappa^*, N, r$), otros cinco parámetros R, m_R, m_T, β_r y X (Masín, 2004).

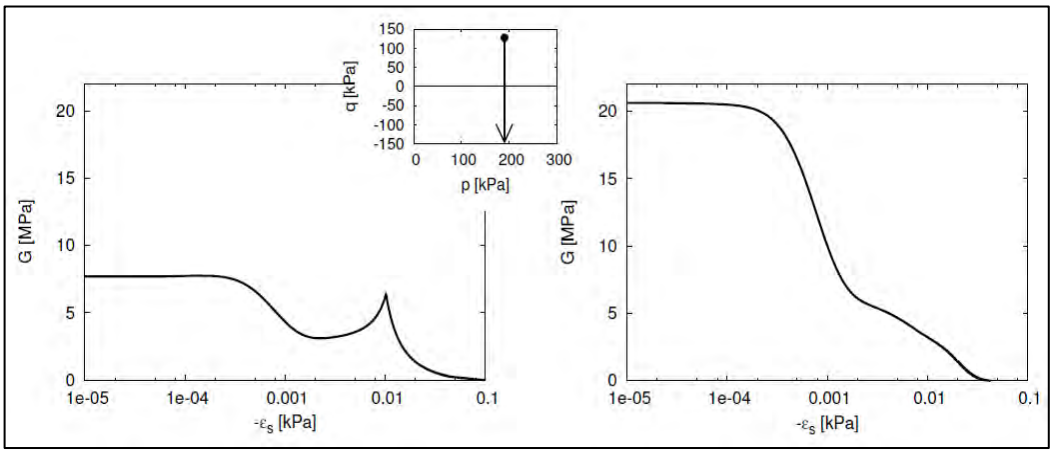
$$\dot{T} = M : D \tag{2.40}$$

$$M = [\rho^X m_T + (1 - \rho^X)R, m_R] f_S L + \{\rho^X (1 - m_T) f_S L : \hat{\delta} \otimes \hat{\delta} + \rho^X f_S f_d N \hat{\delta} \quad \text{ó} \quad \rho^X (m_R - m_T) f_S L : \hat{\delta} \otimes \hat{\delta}\} \tag{2.41}$$

En la siguiente **figura 36** podemos ver la influencia del concepto de la deformación intergranular del anterior modelo de Herle y Kolymbas (modelo HK) (figura izquierda) con el modelo propuesto de Masín también con el concepto de deformación intergranular (figura derecha) (Masín, 2004):

Figura 36

Efecto del concepto de la deformación intergranular en el modelo de la Hipoplasticidad



Nota. Adaptado de *Erroneous increase of the shear sti_ness calculated by the HK model enhanced by the intergranular strain concept for the stress path passing isotropic stress state (left) and corresponding predictions by the proposed model with intergranular strains (right).* (p. 12), por D. Masín, 2004, INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN GEOMECHANICS.

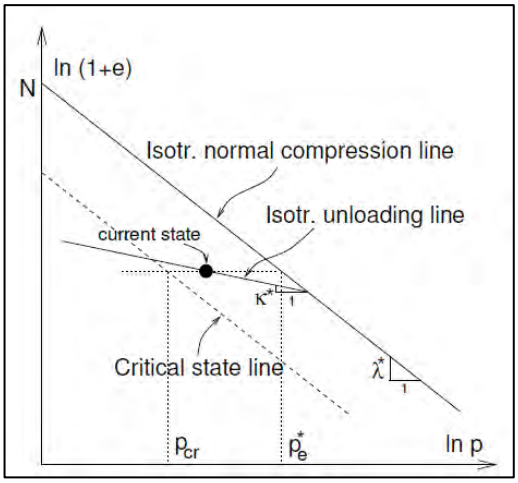
Parámetros del Modelo de la Hipoplasticidad. En esta sección vamos a describir los parámetros presentados por Masín en su propuesta, así como los presentados por el

concepto de deformación intergranular, sin embargo, Plaxis también presenta sus propuestas de orden de ingreso de parámetros del modelo (también presentado por Masín).

Según Masín (2004) los parámetros en su modelo en arcillas son los siguientes: ***Parámetro N***, el cual es el valor de la ordenada (1+e) al proyectar la línea de carga isotrópica (ver **figura 37**), ***Parámetros*** $\boldsymbol{\lambda^*}$ ***y*** $\boldsymbol{\kappa^*}$, estos parámetros son hallados por medio de un ensayo de consolidación al cambiar los valores de los ejes de las abscisas y ordenadas (ver **figura 37**), ***Parámetro r,*** que es una relación del módulo de corte y de Bulk, pero debido a que el parámetro no tiene una relación con otros parámetros se puede hacer una estudio paramétrico (ver **figura 38**) , ***Parámetro*** $\boldsymbol{\phi_c}$, el ángulo de fricción crítico que se obtiene a partir de puntos críticos de ensayos de corte. Además de los anteriores parámetros se adicionan otros cinco parámetros por el concepto de deformación intergranular para el rango de deformaciones pequeñas: ***Margen de deformación elástica intergranular R, Parámetro*** $\boldsymbol{\beta_r}$***, Parámetro X, el Parámetro*** $\boldsymbol{m_t}$***, y el Parámetro*** $\boldsymbol{m_R}$***,*** usualmente los cuatro primeros suelen tener valores estándar que pueden ser asumidos y para el caso de $\boldsymbol{m_t}$**,** este puede ser igual a $\boldsymbol{m_R}$.

Figura 37

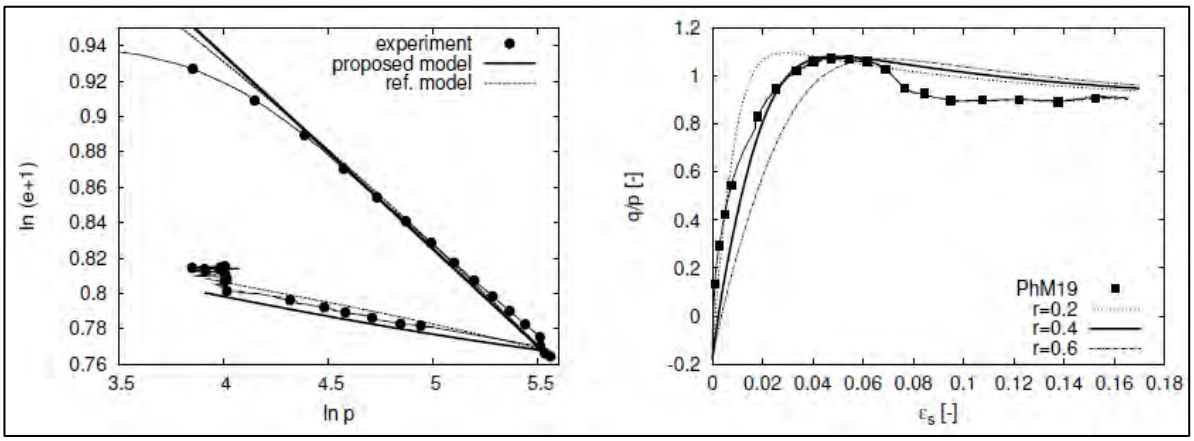
Determinación de los parámetros N, $\lambda^* y\ \kappa^*$



Nota. Adaptado de *Definition of parameters N,* $\lambda^* y\ \kappa^*$*and quantities* p_{cr} *and* p_e^* (p. 11), por D. Masín, 2004, INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN GEOMECHANICS

Figura 38

Calibración de parámetros N, $\lambda^* y\ \kappa^*$ y el estudio parámetro de r



Nota. Adaptado de *Calibration of parameters N, $\lambda^* y\ \kappa^*$on the basis of isotropic loading and unloading test. Unlike the experiment, simulation started from normally compressed state (left). Calibration of parameter r using a parametric study (right).* (p. 17), por D. Masín, 2004, INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN GEOMECHANICS.

Según Masín (2017) Plaxis permite el ingreso de los parámetros del modelo de la hipoplasticidad para arcillas mediante el use-defined Soil Models (USDM) al ingresar habrá dos tipos de modelos de hipoplasticidad, el dado para arenas y el dado para arcillas, este último simbolizado como "Hypoplas. -clay" es el cual seleccionaremos. Por lo tanto, tendremos el siguiente orden de parámetros para el ingreso en Plaxis: ***Parámetro 1***, el ángulo de fricción interna de estado critico ϕ_c. ***Parámetro 2***, El desplazamiento del esfuerzo medio por la cohesión p_t, que por valor defecto es de 1kPa. ***Parámetros 3-5***, los ya antes mencionados *N, $\lambda^* y\ \kappa^*$*. ***Parámetro 6***, v_{pp} que es parte del modelo básico de la hipoplasticidad (en la versión plaxis 2023 se usa el parámetro r). ***Parámetro 7***, α_G, que la relación entre el módulo de corte vertical y horizontal, ***Parámetro 8 – 10***, $(k, A\ y\ s_f)$ parámetros para arcillas con estructura metaestable. ***Parámetros 11 – 13***, R, β_r, X parámetros del concepto intergranular. ***Parámetros 14 – 15***, $A_g\ y\ n_g$, parámetros de rigidez

de corte de deformación muy pequeña. **Parámetro 16**, m_{rat}, parámetro de concepto de deformación intergranular. ***Parámetro 17***, K_w, módulo de bulk del agua. ***Parámetro 18***, dirección vertical específica. **Parámetro 19**, α_E, que es la relación del módulo de Young vertical y horizontal. ***Parámetro 20***, α_V, radio de relaciones de Poisson vertical y horizontal. ***Parámetro 21***, α_f, control de la no linealidad dentro de la superficie de estado límite. ***Parámetro 22***, Relación de vacío inicial o Índice de Sobreconsolidación OCR. ***Parámetros 23 – 28***, $(\delta_{11}, \delta_{22}, \delta_{33}, 2\delta_{12}, 2\delta_{13}, 2\delta_{23})$, valores iniciales del tensor de deformación intergranular. ***Parámetro 29***, valor inicial de la sensibilidad (s). Y los parámetros (16 variables) de variables de estado que pueden ser el esfuerzo medio efectivo, ángulo de fricción movilizado, exceso de presión de poros, numero de evaluación del modelo constitutivo, la longitud normalizada del tensor de deformación intergranular, tamaño sugerido del primer subpaso, entre otros.

En la **tabla 6** tenemos un resumen de los principales parámetros para arcillas, anteriormente mencionados, note los cinco parámetros de la versión básica del modelo, así como los del concepto de la deformación intergranular, sin embargo, se debe especificar que para la versión Plaxis 2023 hay algunos cambios en el formato de ingreso de datos, como se verá en el Capítulo V de la presente investigación, por ejemplo, en la versión Plaxis 2023 se usa el ingreso del parámetro *r* en ves del anteriormente ya mencionado parámetro v_{pp}.

Así también se debe recalcar el uso del estudio paramétrico o calibración que se hará a algunos parámetros para el ajuste de las curvas del modelo a las curvas de los ensayos experimentales (fine, s.f.; Masín, 2004; Hernández, 2018; Ayala, 2013; Plaxis, 2023b).

Por ejemplo, para los parámetros *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *,*X*.* se hará un estudio paramétrico o calibración, esto se verá con más detalle en el Capítulo V.

Tabla 6

Parámetros a necesitar del Modelo de la Hipoplasticidad para arcillas

Parámetros	Descripción de Parámetro	Ensayo de Laboratorio
φ_c	Angulo de Fricción Crítico	Ensayo de Corte Triaxial Drenado
λ^*	Índice de compresibilidad Hipoplasticidad	Ensayo de Consolidación Unidimensional
κ^*	Índice de expansión Hipoplasticidad	Ensayo de Consolidación Unidimensional
N	Origen de la Línea de Consolidación Normal	Ensayo de Consolidación Unidimensional
r	Relación del módulo de Corte y Bulk	Obtenido por estudio paramétrico de Ensayo de Corte Triaxial
R	Margen de Deformación Elástica Intergranular	Obtenido por estudio paramétrico de la Curva de Degradación
m_R , m_T	Determinan el módulo de corte al cambio de ruta de carga meridial	Obtenido por Calibración o a través del plano $G_h^v : p$
β_r , X	Determinan la tasa de rigidez en tensión cortante	Obtenido por estudio paramétrico o valores estándar
e_{init}	Relación de vacíos inicial	Ensayo de Consolidación Unidimensional

Nota. fine (s.f.)

2.11 Fundamentos del Método de Elementos Finitos

El método de elementos finitos (MEF) o FEM en sus siglas en inglés es un método que nos permite hallar de forma aproximada una solución numérica por medio de subdominios no intersectantes llamadas *elementos finitos* o también llamado discretización, estos elementos contienen varios puntos llamados *nodos*, estos puntos en conjunto con los elementos forma el llamado malla, este se forma por medio de programas de generadores de malla. La solución de estos procesos se da por medio de un análisis numérico por medio de cálculos computacionales concentrados en los nodos formando varias ecuaciones que en vez

de obtener una solución exacta obtendremos una solución aproximada de los desplazamientos, esfuerzos y posteriormente de las deformaciones que se pueden producir. Incluso el MEF puede adaptarse a casos de transmisión de calor, mecánica de fluidos y casos sobre el campo electromagnético, es importante mencionar que el MEF es muy útil para medios continuos lo que hace más fácil su aplicación práctica (ingeoexpert, s.f.).

El método de elementos finitos nos ayuda a resolver valores de contorno mediante una ecuación diferencial por medio de integrales, para luego discretizarlas en elementos y resolver el dominio o contorno que queremos analizar, ese contorno llamado BVP o problema de valores de contorno al final nos da una integral con solución analítica, el MEF a través de su metodología resuelve este problema discretizando un BVP en elementos pequeños, pero no infinitesimales, donde cada elemento se ensambla el uno al otro dándonos una matriz de rigidez del sistema, así el BVP puede ser resuelto a gran escala. Una solución por el MEF puede ser mostrado de la siguiente manera:**1**. ***Las incógnitas están en los nodos***, donde se halla por ejemplo los desplazamientos, **2**. ***Interpolación a los puntos de Gauss***, los desplazamientos son interpolados al interior de los elementos, **3**. ***Derivadas de los desplazamientos,*** esto las deformaciones, **4**. ***Obtención de tensiones por modelos constitutivos***, 5. ***Obtención de Fuerzas nodales por medio de la integración numérica de tensiones,*** estas fuerzas están ubicadas en los nodos, y **6**. ***Equilibrio de fuerzas nodales con las fuerzas exteriores del dominio,*** se verifica el equilibro de fuerzas en los nodos, por lo tanto se forma una matriz de rigidez Ke que por medio de iteraciones y su inversa con una Fext se logra hallar los desplazamiento Ue del sistema. En el conjunto de ecuaciones (2.42), (2.43), (2.44) podemos ver un resumen del proceso (FIUBA-Geotecnia, 2022).

$$u_e = f[U_e] \;\rightarrow\; \varepsilon = f[u_e] \;\rightarrow\; \sigma = f[\varepsilon] \;\rightarrow\; F = f[\sigma] = F_{ext} \tag{2.42}$$

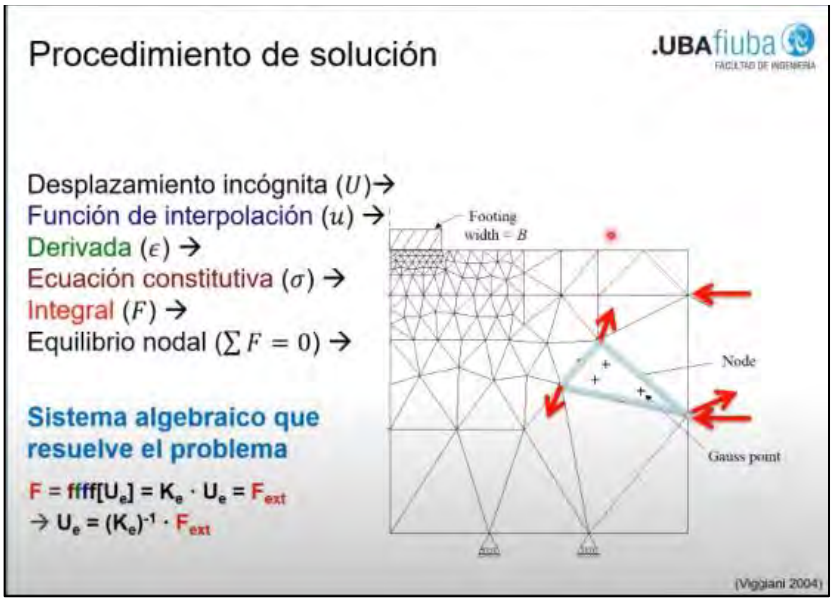
$$F = ffff[U_e] = K_e * U_e = F_{ext} \tag{2.43}$$

$$U_e = (K_e)^{-1} * F_{ext} \tag{2.44}$$

En la **figura 39** podemos ver un resumen de lo anteriormente expuesto que nos indica la influencia de los elementos finitos para la resolución de problemas geotécnicos.

Figura 39

Introducción del método de elementos finitos en la Solución de Modelos Geotécnicos



Nota. Adaptado de *Introducción elementos finitos*, por FIUBA-Geotecnia, 2022, YouTube (https://www.youtube.com/watch?v=KHCB0Ab-byg&ab_channel=FIUBA-Geotecnia)

Según Plaxis (2023c) para la discretización de los elementos finitos la teoría de deformación de los grados de libertad es correspondido a los componentes de deformación, y usando funciones de interpolación se puede relacionar los desplazamientos de campo u y los vectores v por medio de la ecuación (2.45):

$$u = N * v \tag{2.45}$$

Donde las funciones de forma de la matriz N pueden relacionarse con la relación cinemática dando la ecuación (2.46), donde ahora la matriz N es de interpolación de deformación (Plaxis, 2023c):

$$\varepsilon = L * N * v = B * v \tag{2.46}$$

Ahora las ecuaciones basadas en las ecuaciones básicas de la deformación continua pueden ser reformuladas y discretizadas, con sus respectivas simplificaciones donde bajo

cualquier variación de desplazamiento admisible cinemático se obtiene una ecuación (2.47) de condición de equilibrio en forma discretizada, donde los dos primeros términos del lado derecho representan el vector de fuerza externa actual y el tercero el vector de reacción interna (Plaxis, 2023c):

$$\int \boldsymbol{B^T} \Delta\sigma dV \; = \; \int \boldsymbol{N^T} b^i dV \; + \; \int \boldsymbol{N^T} t^i dS \; - \; \int \boldsymbol{B^T} \sigma^{i-1} dV \qquad (2.47)$$

2.12 Métodos Numéricos y Programa de Ingeniería Plaxis

Los métodos numéricos son técnicas mediante el cual se formulan problemas matemáticos a través de logaritmos para poder resolver un problema, este método va acompañado del uso de lenguajes de programación para ordenadores a través de programas de ingeniería.

Para la resolución de problemas geotécnicos a través del modelamiento numérico se debe tener cuatro principios primordiales: ***1. Definición de las condiciones de contorno***, los cuales depende de las situaciones o solicitaciones del problema geotécnico, ***2. Condiciones de Equilibrio***, el problema geotécnico debe cumplir el equilibro de las fuerzas aplicadas donde incluso también interactúa las fuerzas externas. ***3. Condiciones de Compatibilidad***, los elementos que conforman el problema geotécnico deben ser continuos o conectados y estén relacionados con los desplazamientos. ***4. Ecuaciones Constitutivas***, los cuales son los que representan el material con el cual se está trabajando, existen varios tipos y cada uno relacionado con su modelo constitutivo (Casusol, 2020).

Plaxis 2D es un software de elementos finitos geotécnico bidimensional especializado para el análisis, diseño, deformación, análisis de flujo y de problemas geotécnicos de ingeniería. Este programa permite a los usuarios acceder a una interfaz gráfica para generar modelos geotécnicos a través de una malla de elementos finitos por medio de una sección transversal que represente el problema en sí. El programa puede ser dividido en dos sub programas principal. ***El programa Input,*** el cual es un pre - procesador para definir el

problema geotécnico tanto para su geometría, la malla de elemento finito y los cálculos de definición. ***El programa Output***, es un post – procesador el cual nos muestra los resultados en una vista de dos dimensiones, así como las curvas de puntos seleccionados en los resultados del modelo. En la **Tabla 7** podemos tener un resumen (Plaxis, 2023b).

Tabla 7

Subprogramas Input y Output del Software Plaxis versión 2023

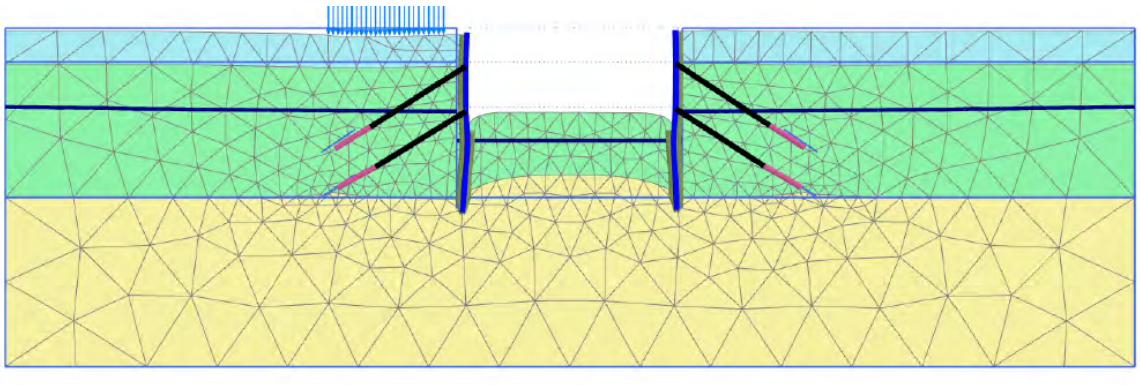
Sub - Programas	Características
Input Program	1. Soil (Asignación de pozos, niveles freáticos, etc) 2. Structures (Creación de modelos geométricos, materiales, interfaces, anclajes, etc) 3. Mesh (Generación de malla de elementos finitos) 4. Flow Conditions (niveles globales de agua, etc) 5. Staged Construction (Etapas de construcción para el modelado, condiciones de modelado, factor de seguridad, etc) 6. Calculations (Selección de puntos para curvas, etc)
Output Program	1. Deformaciones (Deformaciones, desplazamientos totales, desplazamientos incrementales, etc) 2. Stresses (Esfuerzos totales y efectivos, presión de poros, etc= Structures and Interfaces (Resultados de fuerzas, momentos, en conexiones, de placas, anclajes, etc) 3. Curves (Generación, selección, puntos de curva, secciones transversales, etc)

Nota. Reference Manual 2D (Plaxis) (2023b).

En la **figura 40** podemos ver los resultados de un proyecto geotécnico y su respectivo modelado numérico, note la malla conformada para los elementos finitos y así obtener esfuerzos y deformaciones.

Figura 40

Resultados de deformaciones para un modelo de excavación con muros anclados desarrollado en el Software Plaxis



Nota. Adaptado de *Deformed mesh (scaled up 50.0 times) - Final pase* (p. 118), por Tutorial Manual 2D, 2023d, Plaxis.

Suelos como la arcilla son materiales complejos de cuantificar dentro del contexto geotécnico, estos suelos si bien no son perfectamente continuos, homogéneos, isotrópicos y uniformes, en ellos, en la práctica, se puede trabajar bajo la hipótesis del medio continuo equivalente considerando la arcilla como un material continuo homogéneo equivalente con propiedades constitutivas continuas, donde estos suelos pueden describirse por tensores de esfuerzos y deformaciones que se definen en un volumen infinitesimal representativo, esto va acorde con el modelamiento mediante métodos numéricos y formulaciones constitutivas. Por lo tanto, lo mencionado anteriormente permite usar la herramienta Soil Test del software Plaxis 2D, para simular el comportamiento de arcillas a través de la aplicación de modelos constitutivos, esta herramienta usa un algoritmo de punto único sin ser necesario de crear un modelo de elemento finito (Puzrin, 2012; Plaxis, 2023b; Plaxis, 2023c).

La herramienta Soil Test se verá más a detalle en el Capítulo V.

Sin embargo, como complemento a lo dicho anteriormente, también modelaremos las probetas ensayadas en laboratorio a través del modelo axisimétrico disponible en el software plaxis, este proceso generalmente se hace en un modelo axisimétrico con dimensiones de1m x 1m y es más preciso en la mayoría de los casos.

2.13 Software Abaqus/CAE

ABAQUS es un software que también usa el método de elementos finitos, así como métodos numéricos para modelar. Es muy utilizado para simular diversos comportamientos de diversas estructuras bajo diferentes condiciones de cargas.

Este software, a diferencia del plaxis 2d, usa generalmente hexaedros para el modelamiento de las estructuras, también es usado para el análisis y estudio de taludes, asentamientos, interacción suelo – estructura, etc., y puede ser usado como complemento con el software Plaxis 2d para el modelamiento (en nuestro caso para modelar las probetas cilíndricas en 3D).

Mas adelante se verá en detalle el uso del software ABAQUS y su complemento con el software Plaxis 2D para el modelamiento de las probetas cilíndricas.

CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 Tipos, diseño y alcance de la investigación.

3.1.1 Tipo y Diseño de la investigación

- **Ruta (Enfoque) Cuantitativa.**

La meta de la investigación fue estudiar, analizar, comprobar y simular el comportamiento esfuerzo – deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica, perteneciente a la formación San Sebastián, ubicada en la APV Villa Orccona - Cusco, donde los parámetros a hallar se harán mediante fórmulas establecidas junto con los ensayos de laboratorio.

Se aplico la lógica deductiva, pues va de un tema general como el Comportamiento esfuerzo – deformación que derivo en temas particulares como son: aplicación de modelos constitutivos, resistencia al corte, consolidación de suelos, corte directo, estado crítico de suelos, etc.

El diseño de la investigación es estructurado, predeterminado, sistemático donde se busca comparar resultados de la investigación con resultados de los estudios experimentales.

Se establece la idea de la investigación para probar hipótesis preestablecidas donde cuál de los modelos constitutivos simula mejor el comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica, perteneciente a la formación San Sebastián, ubicada en la APV Villa Orccona - Cusco, está dependiendo del estudio de cuales se aceptan o se rechazan.

- **Diseño Experimental (Tipo Cuasiexperimental) y No experimental**

El estudio se realizó mediante la observación y registro de las variables de la investigación, que, para el caso cuasiexperimental, se hace mediante la manipulación e influencia de al menos una variable independiente (calibración de parámetros) el cual es la aplicación de parámetros de modelos constitutivos (x) que harán que la variable dependiente

(y) tenga varias curvas de simulación que son dependientes de la aplicación de la variable independiente. Y para el caso de No Experimental, no se manipula o varia una variable independiente (parámetros fijos) para ver sus efectos en la variable dependiente (simulación de la curva esfuerzo – deformación). También la investigación es de tipo transversal debido a que la recolección de datos se hizo en un periodo o única etapa temporal, comprendida entre los meses de Mayo y Noviembre del 2024, sin la realización de nuevas mediciones o muestreos posteriores.

Y como la investigación es cuasiexperimental y no experimental la asignación no es al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos de muestras ya son intactos, integrados o seleccionados para su respectivo estudio (Hernández y Mendoza, 2018).

3.1.2 Nivel de investigación (Alcance): Correlacional

La presente investigación mostró un grado de relación entre la variable independiente (parámetros de modelos constitutivos) y la variable dependiente (simulación del comportamiento esfuerzo – deformación) donde los parámetros de los modelos constitutivos tomaron un punto importante en la simulación de la curva experimental esfuerzo – deformación ya que al tener parámetros más precisos se tendrá una mejor simulación de la curva experimental esfuerzo – deformación, así como también una predicción de su comportamiento debido a que se esta modelando el suelo.

3.2 Unidad de Análisis

La unidad de análisis fue dada por las unidades de Arcilla ubicadas en el APV. Villa Allpa Orccona cerca de la dirección de la prolongación Calle Intiraymi.

3.3 Muestra

El lugar de donde se extrajo las unidades para los ensayos es de *la muestra de estrato de arcilla* inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV. Villa Allpa Orccona en EL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN – CUSCO cerca de la dirección de la prolongación

Calle Intiraymi donde sus coordenadas geográficas son: Latitud; 13°31’25.2” S y Longitud; 71°55’57.6” W, de los cuales sus unidades de análisis serán analizados y ensayados en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

3.4 Selección de Muestra.

Se realizó un *muestreo no probabilístico*: muestreo por conveniencia, donde la elección de unidades no depende de la probabilidad, sino de razones relacionadas con las características y contexto de la investigación y depende del proceso de toma de decisiones del investigador en la presente investigación. *En nuestro caso la selección de este tipo de muestreo fue debido a* : Lo complicado de encontrar un estrato de arcilla de significante espesor para la extracción de muestras de suelo de 1pie3, también se tuvo limitantes a ciertos accesos debido a que son de propiedad privada y difícil acceso del transporte, también como la falta de seguridad ciudadana en algunos sectores y el peligro por los deslizamientos que pueden suceder, así como también la extracción de muestras de suelo antes de la temporada de lluvias para evitar dificultades en el acceso y en la extracción de suelos, entre otros.

3.5 Población de Estudio.

Debido a que el *muestreo es no probabilístico*, la elección no fue al azar ni por emparejamiento, por lo tanto, no se busca generalizar los resultados a una población.

3.6 Tamaño de muestra

La muestra a ser investigada es un estrato de acilla perteneciente a la formación San Sebastián, ubicado en el talud de una cantera especifica en la APV Villa Orccona – Cusco.

Para el caso de unidades de muestras de suelo alteradas se excavó una calicata C-1, de donde se extrajo material para los ensayos de análisis granulométrico y límites de Consistencia, así como otra muestra de suelo inalterada extraída de la misma calicata C – 1 para los ensayos de consolidación, gravedad específica y contenido de humedad. También se

excavó una calicata C-2 de donde se extrajo material inalterado para los Ensayos de Corte Triaxial (06 unidades cilíndricas a ensayar).

Adicionalmente se extrajeron muestras de suelos inalteradas de los estratos superiores al estrato de arcilla a analizar, para la obtención del peso unitario de cada estrato.

3.7 Recolección e interpretación de datos e información

Como se mencionó anteriormente la presente investigación sirvió para ver la aplicación de los modelos constitutivos en el estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica, perteneciente a la formación San Sebastián, ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco., para lo cual se presentó una metodología (Ver **Figura 41**) que nos permitió hacer un adecuado camino para obtener nuestros objetivos:

Primero se realizó la exploración, reconocimiento, así como la definición de puntos de muestreo y su respectiva selección extrayendo muestras tanto alteradas e inalteradas.

Segundo, se procedió a realizar los procedimientos de ensayos de laboratorio, dentro del cual tenemos los ensayos de granulometría, contenido de humedad, límites de consistencia, Gravedad especifica, consolidación de suelos, peso unitario de suelos y los ensayos de corte triaxial a las muestras cilíndricas.

Tercero, una vez terminados los ensayos de laboratorio se procedió al procesamiento y obtención de datos como los parámetros de resistencia y comprensibilidad, etc.

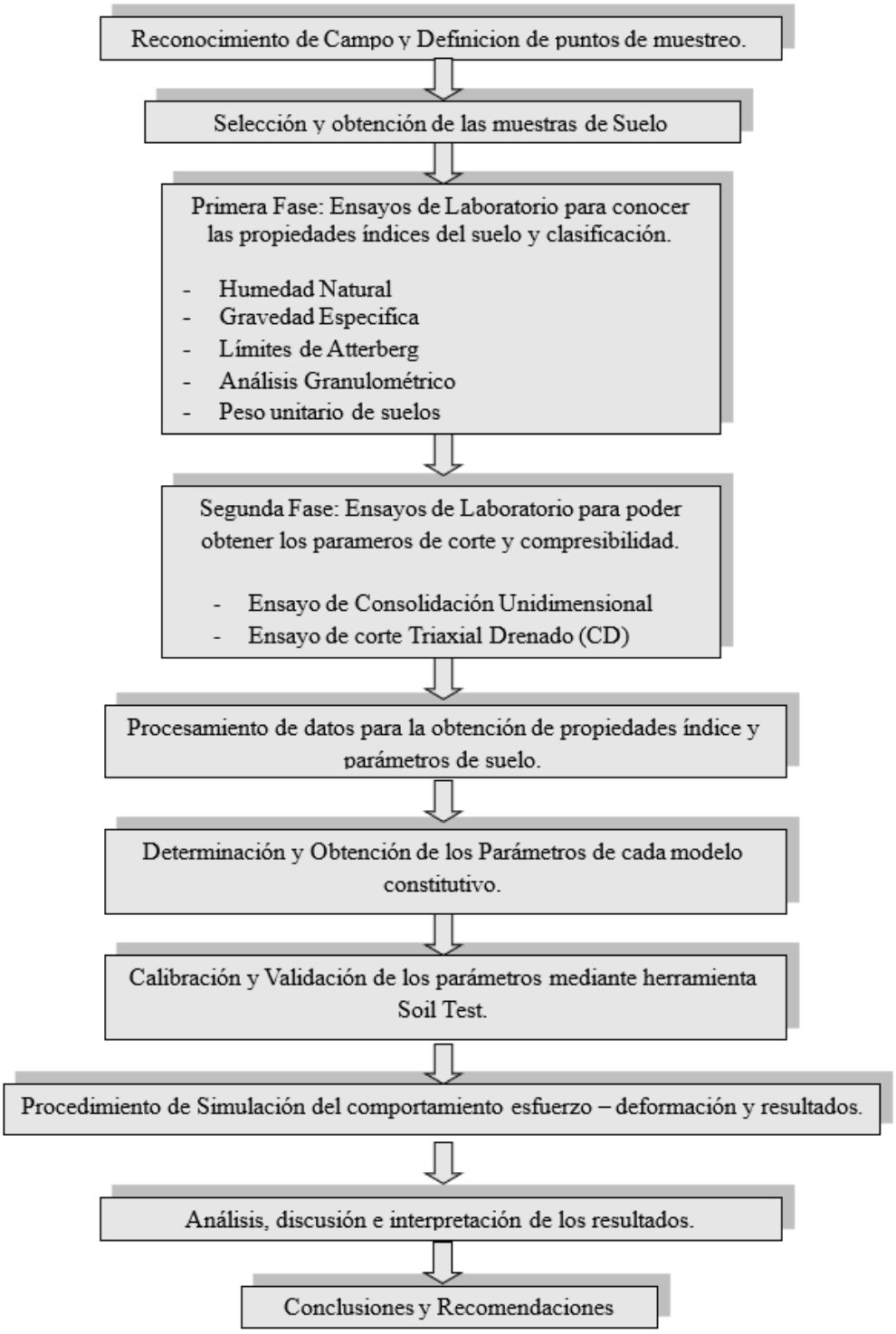
Cuarto, con los valores hallados de los ensayos de laboratorio procedemos a la obtención de los parámetros de cada modelo constitutivo a través de sus respectivos procedimientos.

Quinto, los parámetros hallados de cada modelo fueron llevados a la herramienta “Soil test” del software Plaxis 2D para su calibración y posteriormente simular de las curvas esfuerzo – deformación experimental, complementando con los modelos axisimetricos y con el software ABAQUS, y así ver cual modelo se acerca más a las curvas experimentales.

Sexto, una vez que se terminó los pasos anteriores se procedió al análisis e interpretación de resultados para así poder presentar conclusiones y recomendaciones en el presente trabajo de investigación.

Figura 41

Metodología y Proceso General de la Investigación

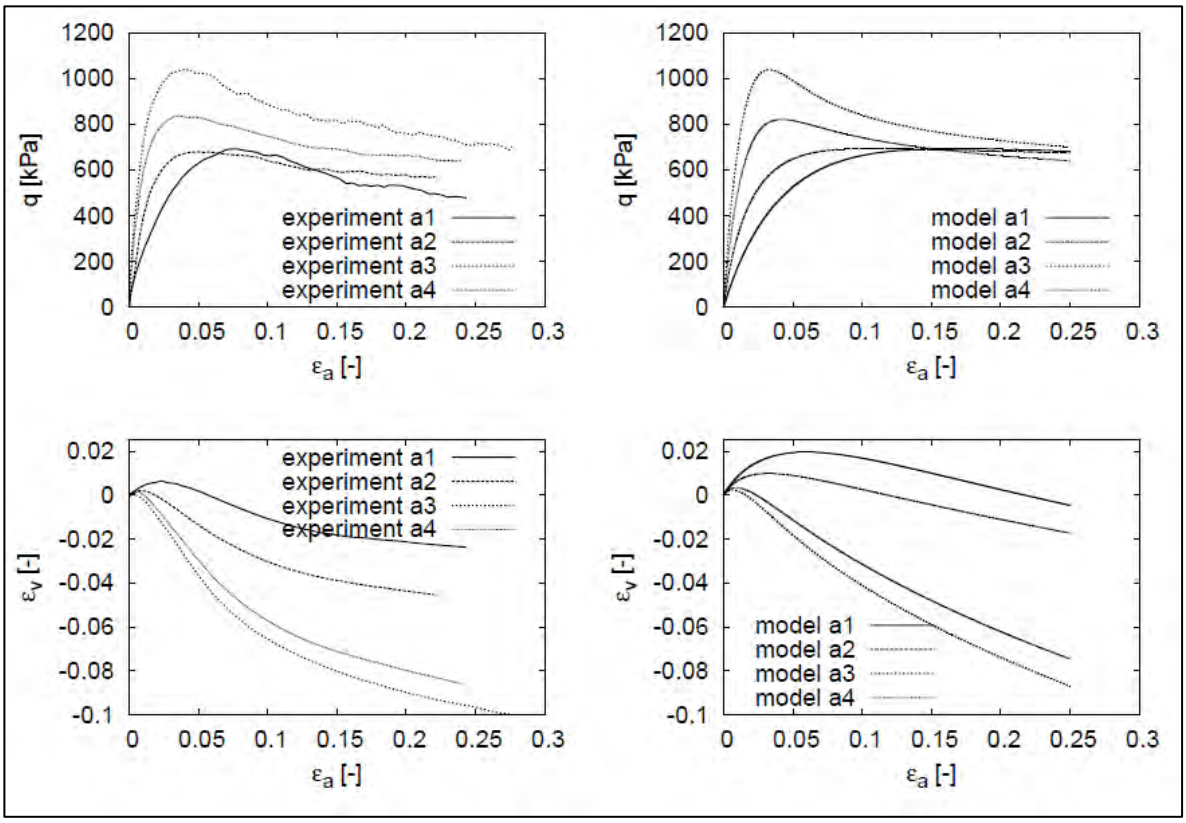


3.8 Interpretación de la información

Luego de la realización de los ensayos de laboratorio y en especial del ensayo de Corte Triaxial se obtienen los parámetros para poder calibrarlos y luego simular las curvas de esfuerzo deformación y así ver su comparación con la curva de esfuerzo – deformación experimental como vemos en el ejemplo de la **figura 42**:

Figura 42

Comparación entre la Curvas experimentales y curvas de Modelos



Nota. Adaptado de *Typical experimental and simulated results of drained triaxial tests* (p. 6), por R. Suchomel y D. Masín, 2011, Charles University in Prague.

Como vemos en el ejemplo de la figura 42 luego de la obtención de la información interpretaremos los resultados obtenidos tanto de los ensayos experimentales como de los modelos y los analizaremos para ver que curva de modelo constitutivo obtenido se acerca más a la curva experimental obtenida de laboratorio.

CAPITULO IV: RECOLECCION DE DATOS

Para llegar a los objetivos de nuestra investigación en el presente capítulo se procedió a la recolección de todos los datos necesarios para la obtención de los parámetros de los modelos constitutivos a investigar, se recalca que tales puntos de muestreo a investigar se hicieron en base a lo ya mencionado en la justificación de la investigación y en lo mencionado a los peligros y riesgos de los tipos de suelos y deslizamientos en la formación San Sebastián descritos en la sección 2.4.

4.1 Visitas de Reconocimiento y Ubicación de Campo a estudiar.

Para la selección de los puntos a investigar se hizo una inspección de varios lugares que contengan suelos finos, en este caso arcillas, en el área que es parte de la formación San Sebastián ubicados en el Distrito de Sebastián - Cusco. Algunos de estos puntos fueron los ubicados aproximadamente en las coordenadas: 13°31'21.3"S 71°56'01.5"W (Punto A), 13°31'22.1"S 71°56'00.4"W (Punto B), 13°31’24.9” S 71°55’58.8” W (Punto C), 13°31'16.3"S 71°55'54.5"W (Punto D), entre otros. Sin embargo, estos puntos, así como en los demás puntos, los estratos de arcilla eran delgados o no lo suficientemente grandes para obtener muestras inalteradas de tamaño significativo de acuerdo a la NTP y ASTM D 7181-20. Por lo tanto, luego de varias inspecciones se optó por la ubicación, ya anteriormente mencionado, que se describe a continuación.

4.1.1 Ubicación del proyecto de investigación

La presente investigación, como se mencionó, se ubica en el Distrito de San Sebastián, provincia y departamento de Cusco, en la APV. Villa Allpa Orccona cerca de la prolongación de la Calle Intiraymi con coordenadas geográficas Latitud; 13°31’25.2” S y Longitud; 71°55’57.6” W. Esta ubicación contiene un estrato de arcilla de significante espesor (aprox. 60cm) para la obtención tanto de muestras alteradas como inalteradas. En la **figura 43** podemos observar la ubicación del tramo a estudiar.

Figura 43

Ubicación geográfica en el Distrito de San Sebastián – Cusco del punto de Investigación



Nota. Tomado de: Google Maps (s.f).

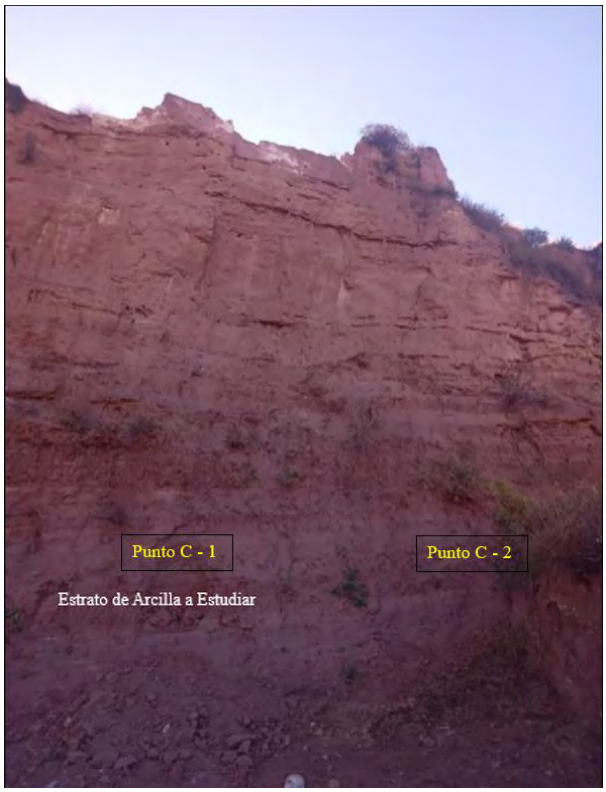
4.1.2 Reconocimiento y definición de la ubicación del proyecto a investigar.

En la sección 2.4 en las figuras 6 y 7 se hizo una breve descripción geológica de las formaciones y suelos que conformaban los alrededores y el área del tramo a estudiar, sin embargo, especificaremos el tramo a investigar para nuestra investigación. De acuerdo a la **figura 44** el tramo a investigar está ubicado en un talud, conformado por varios estratos de diferentes espesores y diferentes colores, entre ellas se tiene un suelo fino color blanco de gran espesor (posiblemente Contay) en la parte superior del talud, en la parte inferior de esta se encuentran suelos arenosos limosos, arenosos sueltos, medianamente densos o densos, arcillas de color rojizo o marrón oscuro, suelos de color amarillento medianamente densos, arenas húmedas, etc, todas ellas intercaladas entre sí, también podemos observar el estrato de arcilla a investigar ubicado cerca de la base del talud, así también no se detectó nivel freático por ninguna parte y que el talud está cubierto por una especie de barro seco de suelo fino, esto talvez haya sido causado por el desgaste de las lluvias y vientos en los estratos superiores

cubriendo el talud de arriba hacia abajo, y a pesar que el talud ya tiene muchas partes inestables, estos desgastes pueden provocar una inestabilidad critica a largo plazo.

Figura 44

Talud del tramo a investigar, con los diferentes tipos de suelos que conforman.



Nota. Note el barro seco de suelo fino cubriendo el talud, así como el estrato de arcilla.

4.2 Extracción de muestras

Para ello se identificó dos puntos de extracción de muestras en el estrato de arcilla a investigar (Ver figura 44), la primera llamada C - 1 para extraer muestras alteradas e inalteradas y la segunda C – 2 para extraer solo muestras inalteradas, esta último fue necesario adicionar debido a que el punto C – 1 luego de ser excavado y extraído de ellas muestras alteradas e inalteradas, fue expuesto a secado e intemperismo perdiendo asi su estado natural, es por ello que se necesitó identificar un punto C – 2 para obtener muestras inalteradas. En ambos puntos de extracción las muestras se extrajeron a una profundidad de aproximadamente 50cm de excavación dentro del estrato de arcilla en estudio.

Muestras Alteradas (Punto C-1). Se extrajeron muestras alteradas del punto de extracción C – 1, ello fue introducido en sacos para su conservación y posterior traslado al laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, estas muestras servirán, por ejemplo, para los ensayos como granulometría, límites de consistencia (Ver la **figura 45**).

Figura 45

Extracción de Muestras Alteradas



Muestras Inalteradas (Punto C – 1). Para la extracción de estas muestras se hicieron cuidando su humedad, estructura, sin dañar las muestras al momento de extraerlas. Primero se extrajo del Punto de extracción C – 1, del cual se obtuvo una muestra inalterada de 1 pie cubico de volumen (Ver **figura 46**), por ejemplo, esta muestra nos servirá para los ensayos de Consolidación, Gravedad especifica, Contenido de humedad.

Figura 46

Extracción de Muestra Inalterada en C - 1



a) Tallado y Extracción b) Embalado de Muestra c) Muestra Preparada

Muestras Inalteradas (Punto C – 2). De manera similar al anterior punto se extrajeron varias muestras inalteradas de distintos tamaños, cuidando de que no sean alteradas por cargas de impacto o por otras alteraciones, cada una de ellas embaladas para el cuidado de la humedad (Ver **figura 47**). Estas muestras serán usadas principalmente para obtener muestras cilíndricas para el Ensayo de Corte Triaxial.

Figura 47

Extracción de Muestras Inalteradas de C - 2



a) Excavado para obtención de Muestras



b) Tallado de Muestras



c) Embalaje de Muestras



d) Muestras Preparadas

4.3 Procedimiento y Resultado de Ensayos de Laboratorio

Para la obtención de las propiedades de los suelos extraídos se procedió a los ensayos de laboratorio los cuales están basados en las normas técnicas peruanas descritas en la **tabla 8**, se especifica que para Ensayo de Compresión Triaxial CD se usó la norma ASTM D7181-20 para muestras inalteradas.

Tabla 8

Ensayos de Laboratorio a realizar con su respectiva normativa

Tipo de Ensayo	Normativa	Estado de Muestra a Ensayar
Análisis Granulométrico	(NTP 339.128)	Muestra Alterada
Contenido de Humedad	(NTP 339.127)	Muestra Inalterada
Límites de Atterberg	(NTP 339.129)	Muestra Alterada
Gravedad Específica de Solidos de los Suelos.	(NTP 339.131)	Muestra Inalterada
Consolidación Unidimensional de Suelos	(NTP 339.154)	Muestra Inalterada
Peso Unitario de Suelos	(NTP 339.139-339.151)	Muestras Inalteradas

Nota. INACAL (2024a, pp. 7 – 11).

4.3.1 Análisis Granulométrico de Suelos

Las publicaciones (INACAL, 2024b; Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016; Bowles, 1978/1981; Juárez y Rico, 2011a) indican el procedimiento y recomendaciones para el análisis granulométrico por tamizado.

Para suelos arcillosos, por ejemplo, se hizo un diagrama (Ver **figura 48**) explicando brevemente el procedimiento, y la **figura 49** mostrando el procedimiento en el laboratorio.

Figura 48

Procedimiento de ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado para esta investigación.

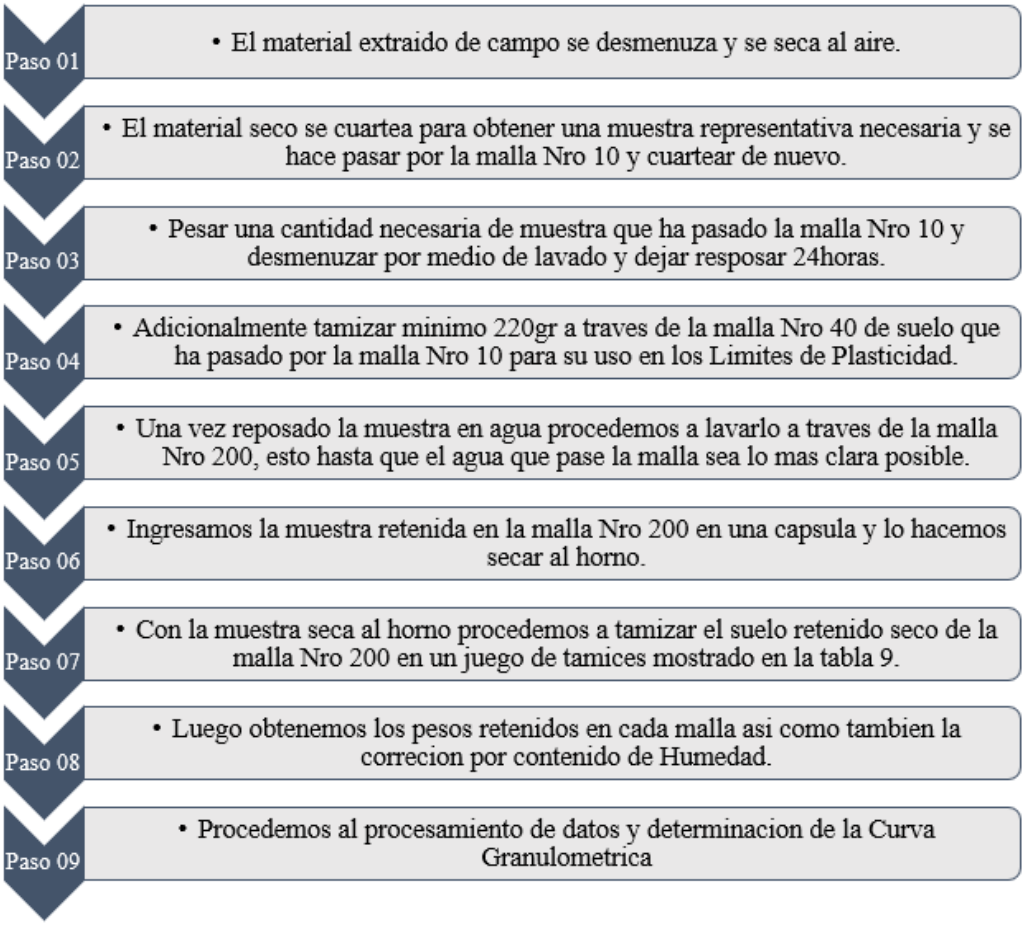


Figura 49

Proceso de Análisis Granulométrico tamizado en Laboratorio



a) Cuarteo de Material

b) Proceso de Tamizado

Nota. Para ver más imágenes del proceso de Ensayo de Granulometría ver Anexo C.

En la **tabla 9** podemos ver los resultados del análisis granulométrico y en la **tabla 10** los porcentajes de gravas, arenas y arcillas, es importante indicar que todo el material necesario que se eligió en el cuarteo paso la malla Nro. 10.

Tabla 9

Análisis Granulométrico del Material

Nro. Malla	Abertura (mm)	Peso Capsula + Peso Retenido (gr)	Peso retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
Nro. 10	2.00	40.5	0	-	0.000%	0.000%	100.00%
Nro. 20	0.84	41.24	0.74	0.712	0.065%	0.065%	99.94%
Nro. 40	0.425	41.39	0.89	0.856	0.078%	0.143%	99.86%
Nro. 60	0.250	41.33	0.83	0.798	0.073%	0.216%	99.78%
Nro. 140	0.106	42.92	2.42	2.328	0.213%	0.429%	99.57%
Nro. 200	0.075	41.4	0.9	0.866	0.079%	0.508%	99.49%
		Retenido Total:	5.78	5.56			

Nota. Puede ver el ensayo en detalle ver el Anexo A1.

Tabla 10

Cantidades en % de Fracciones de grava, arena y suelo fino en el material.

Porcentajes de Fracciones del Material		
% Fracción Grava	% de Grava Gruesa	0%
	% de Grava Fina	0%
% Fracción Arena	% de Arena Gruesa	0%
	% de Arena Media	0.143%
	% de Arena Fina	0.365%
% Fracción Finos		99.492%

De las tablas anteriormente mostradas podemos notar que el suelo tiene un alto porcentaje de finos, muy cerca al 100% a diferencia de la fracción de las arenas, esto ya se había previsto así porque el estrato que estudiaremos es de aspecto arcilloso.

Según INACAL (2024i) a través el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS), el suelo se clasifica en dos tipos: los suelos de *grano grueso* donde más del 50% del peso seco del espécimen es retenido por la malla Nro. 200 y los suelos de *grano fino* cuando el 50% o más del peso seco del espécimen pasa la malla Nro. 200.

Por lo tanto, de acuerdo a la tabla 9 nuestro suelo tiene un 99.492% que pasa la malla Nro. 200, lo que significa que nuestro tipo de suelo es de **Grano Fino**, por lo que ahora es necesario determinar el *Símbolo de Grupo y el Nombre del Grupo*, a través de los límites de consistencia, Índice de Plasticidad, porcentajes de arena y grava, etc., utilizando la Carta de Flujo para la clasificación de suelos de grano fino de la NTP 339.134.

4.3.2 Límites de Atterberg

Se siguieron las publicaciones (INACAL, 2024c; Bowles, 1978/1981; Juárez y Rico, 2011a) para la obtención de los limites líquido y plástico para los cual se necesita extraer una cierta cantidad del análisis granulométrico.

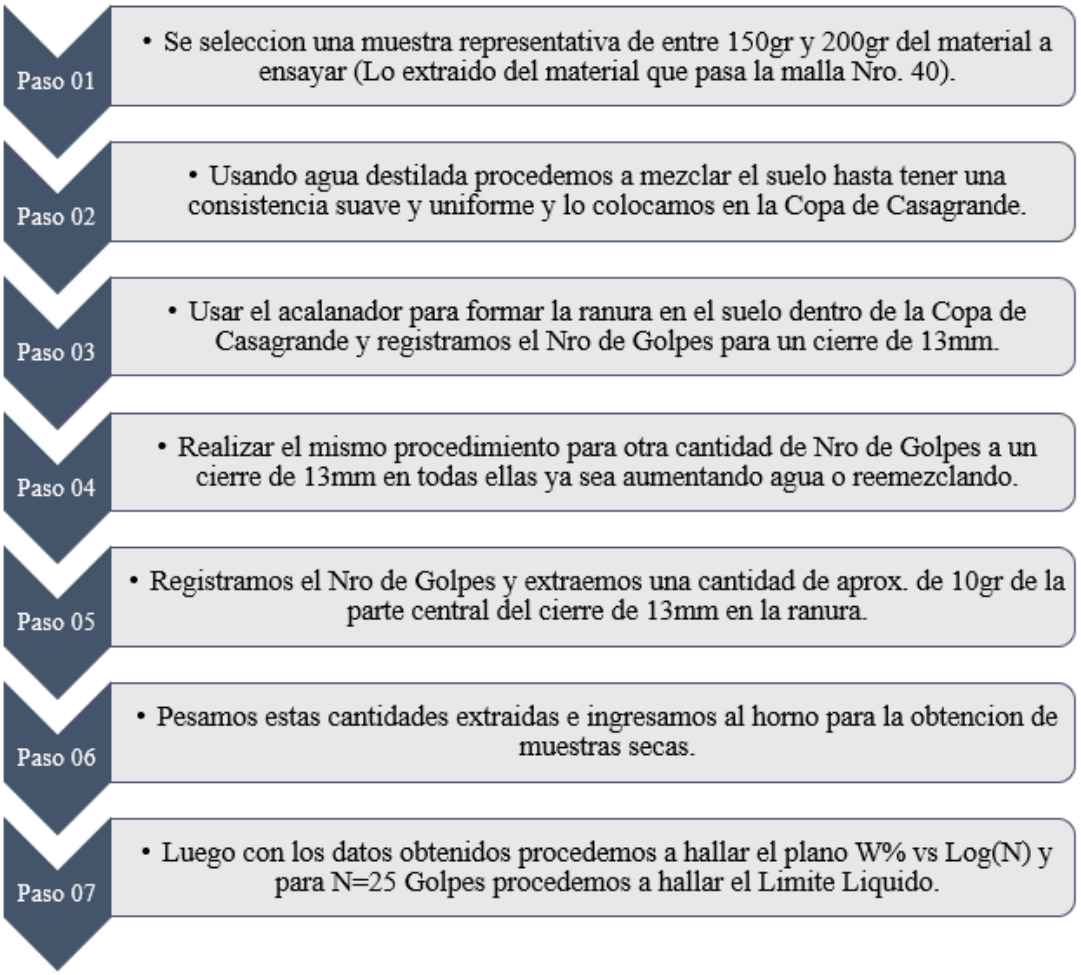
Por lo tanto, se extrajo mínimo 220gr de suelo que pasa la malla Nro. 40 (de lo que pasa la malla Nro.10), para su uso en la obtención de estos límites de consistencia.

Limite Liquido. Es el contenido de humedad en el cual el suelo dentro de una copa de Casagrande se cierra en 12.7mm en una cantidad de 25 Golpes. Este es el límite entre dos fases del suelo, la fase liquida y fase plástica. Debido a dificultad de obtener a 25 golpes 12.7mm de cierre, en el laboratorio se hacen varias pruebas a 12.7mm de cierre para que en un plano de W% vs Log(N), a través de una regresión lineal, se pueda hallar a 25 goles el contenido de humedad o Limite liquido a un cierre de 12.7mm (Das, 2013/2015).

INACAL (2024c) contempla el cierre en la ranura de la copa de Casagrande en 13mm o ½" con un mínimo de 2 pruebas para hallar el plano W% vs Log(N), En la **figura 50** podemos ver un proceso breve del ensayo para el Limite Liquido y en la **figura 51** el ensayo en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Figura 50

Procedimiento para hallar el Limite Liquido



Como se mencionó anteriormente el Límite Líquido es un contenido de humedad al cierre de 13mm para 25 Golpes, por lo tanto, la ecuación (4.1) es usada para hallar los contenidos de humedad para una cierta cantidad de Nro. de Golpes a 13mm de cierre en la Copa de Casagrande.

$$w(\%) = \frac{W_w(Peso\ de\ Agua)}{W_s(Peso\ de\ Suelo\ Seco)} * 100\% \qquad (4.1)$$

Figura 51

Ensayo de Limite Liquido en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



a) Preparación de Material



b) Obtención de Suelo de la Copa de Casagrande

Nota. Para más imágenes del ensayo de Límite Líquido, ver Anexo C.

En la **tabla 11** podemos ver los resultados que se obtuvieron para hallar los diferentes contenidos de humedades para diferentes Nro. de Golpes así también el resultado para la obtención de Límite líquido en la **figura 52**.

Tabla 11

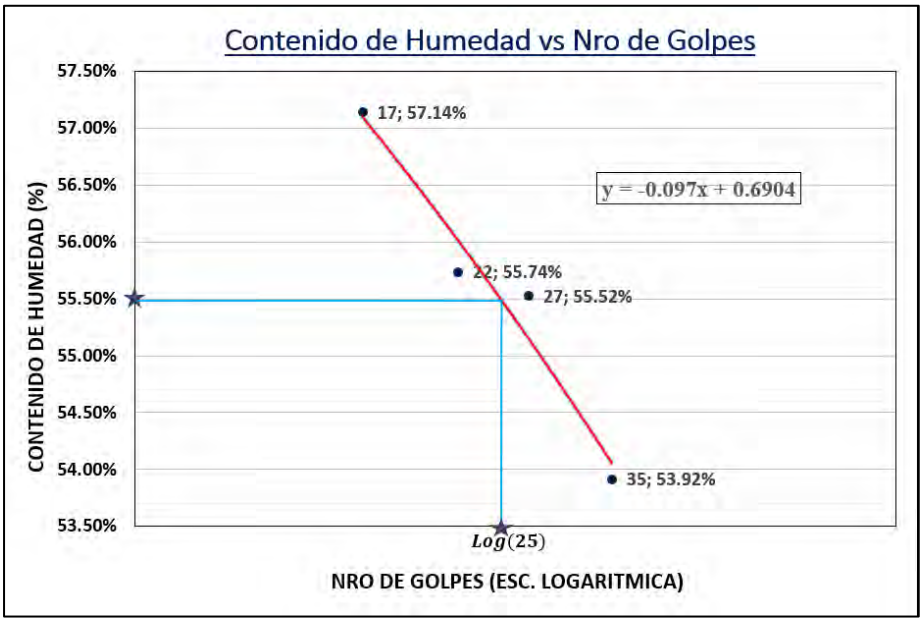
Datos de Numero de Golpes para diferente Contenido de Humedad

Número de Golpes vs Contenido de Humedades				
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Capsula (gr)	54.93	57.17	60.69	57.98
Peso Capsula + Muestra Húmeda (gr)	60.04	62.52	65.44	64.47
Peso Capsula + Muestra Seca (gr)	58.25	60.61	63.74	62.11
Peso del agua (Ww) (gr)	1.79	1.91	1.7	2.36
Peso de la Muestra Seca (Ws) (gr)	3.32	3.44	3.05	4.13
Contenido de Humedad (w) (%)	53.92%	55.52%	55.74%	57.14%
Nro de Golpes	**35**	**27**	**22**	**17**

Nota. Para más detalle del ensayo ver el Anexo A2

Figura 52

Regresión lineal para la Obtención del Limite Liquido



Por lo tanto, de la figura 52 se obtiene que para N=25 golpes, se obtiene:

$$Límite\ Líquido\ (\%) = 55.48\% \tag{4.2}$$

Límite Plástico. Es el límite determinado al enrollar hilos de suelo de 3.2mm de diámetro al momento de desmoronarse apretando con la palma de la mano sobre un vidrio esmerilado, este límite define el límite inferior de estado plástico del suelo y también se define como un contenido de humedad (Das, 2013/2015).

Para la determinación de este ensayo podemos usar la ecuación (4.3) que nos muestra de manera directa la obtención del Límite Plástico.

$$LP(\%) = \frac{W_w(Peso\ de\ Agua)}{W_s(Peso\ de\ Suelo\ Seco)} * 100\% \tag{4.3}$$

INACAL (2024c) especifica que se debe hacer 2 ensayos para obtener el límite plástico al promediar los valores obtenidos de ellas. También se debe tener cuidado de no formar hilos de 3.2mm de forma tosca o forzada. En la **figura 53** podemos ver un procedimiento breve para la obtención del límite plástico, el cual también nos ayudara para la clasificación del suelo anteriormente mencionada y en la **figura 54** el proceso en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Figura 53

Procedimiento para hallar el Limite Plástico

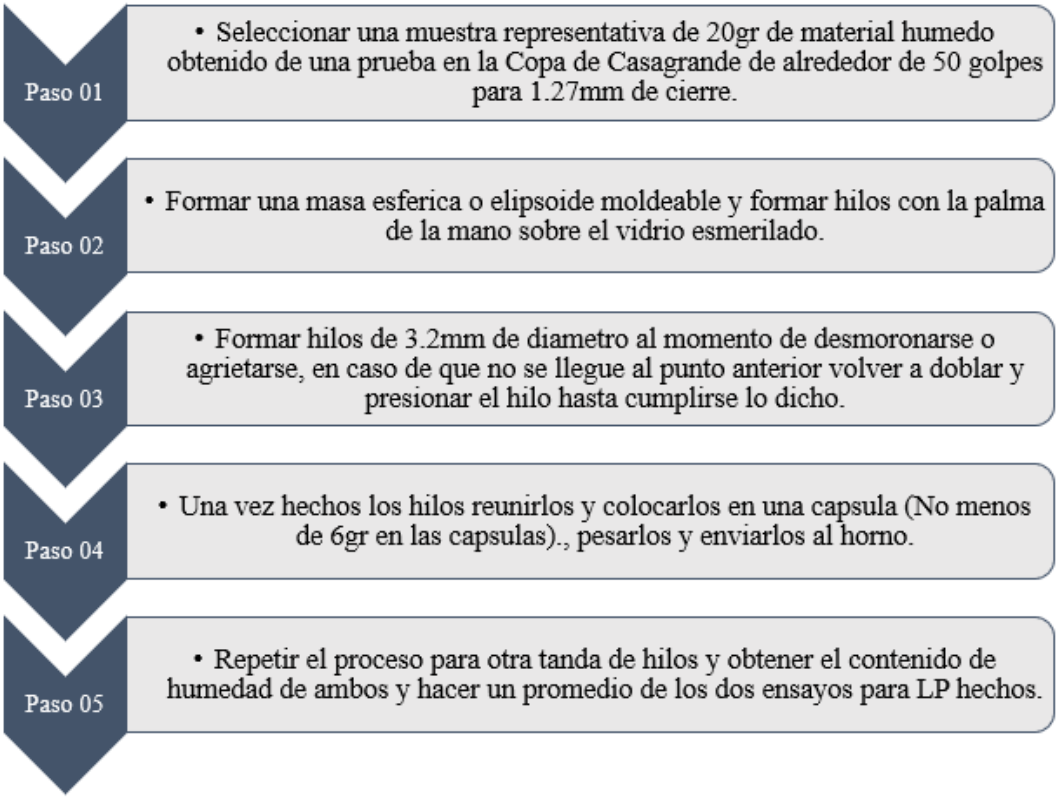


Figura 54

Proceso de ensayo del Limite Plástico en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



a) Formación de masas de esferas | b) Obtención de hilos de 3.2mm de diámetro

Nota. Para más imágenes del proceso de ensayo ver el Anexo C.

En la **tabla 12** podemos ver los resultados del proceso para obtener el límite Plástico.

Según INACAL (2024c) se pide dos ensayos de limite plástico.

Tabla 12

Procesamiento de Datos para la Obtención del Limite Plástico

Ensayo para Limite Plástico		
Descripción	Muestra 01	Muestra 02
Peso Capsula (gr)	22.03	21.66
Peso Capsula + Muestra Húmeda (gr)	26.72	27.88
Peso Capsula + Muestra Seca (gr)	25.75	26.61
Peso del agua (Ww) (gr)	0.97	1.27
Peso de la Muestra Seca (Ws) (gr)	3.72	4.95
Contenido de Humedad (w) (%)	26.08%	25.66%
Contenido de Humedad Promedio (%)	**25.87%**	

Nota. Para más detalle del Procesamiento de datos del ensayo ver Anexo A2

Por lo tanto, el Limite Plástico es el promedio de los dos ensayos, dándonos:

$$Límite\ Plástico\ (\%) = 25.87\% \tag{4.4}$$

Índice de Plasticidad. Otro parámetro importante dentro de los límites de Consistencia es el índice de Plasticidad, esta es una diferencia entre el Límite Líquido y Limite Plástico. Para nuestro caso el valor de este Índice esta dado por la ecuación (4.5) y (4.6):

$$Índice\ de\ Plasticidad = Límite\ Líquido - Límite\ Plástico \tag{4.5}$$

$$Índice\ de\ Plasticidad = 29.61\% \tag{4.6}$$

Clasificación del Suelo, Simbología y Nombre. Una vez determinado los límites de consistencia y el índice de Plasticidad ahora procederemos a la Clasificación del suelo que se inició en la sección 4.3.1 donde se determinó que el suelo es de *Grano Fino*, y de acuerdo a la siguiente **figura 55** (Basado en el Sistema Unificado de Suelos SUCS) y la carta de plasticidad mostrado en la **figura 56** procederemos a tener la Simbología y Nombre del suelo.

Figura 55

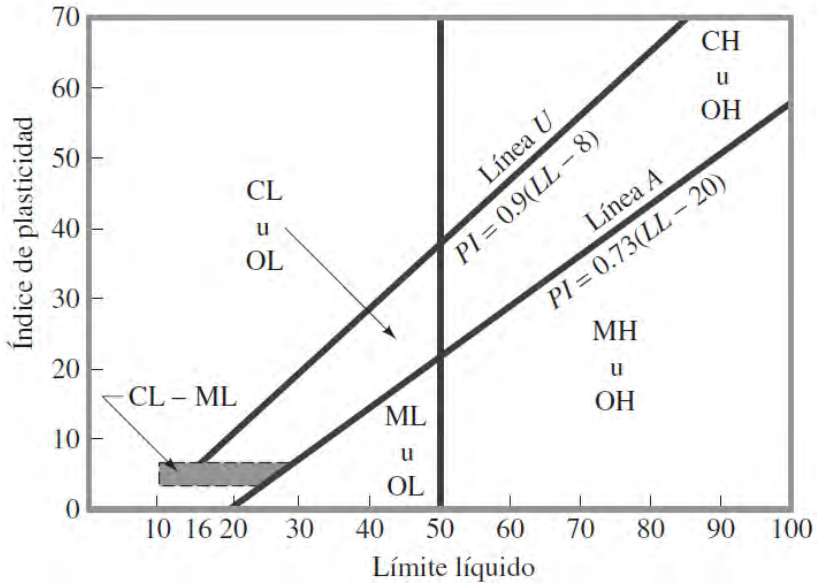
Clasificación de Suelo para suelos de Grano Fino

Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[e]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[e]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos *PI* en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos *PI* por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH

Nota. Adaptado de *Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)* (p. 83), por B. M. Das, 2013/2015, Cengage Learning.

Figura 56

Carta de Plasticidad para Clasificación de Suelos Finos



Nota. Adaptado de *Gráfica de plasticidad* (p. 84), por B. M. Das, 2013/2015, Cengage Learning.

Para la simbología del grupo recurrimos a las dos figuras anteriores donde nuestro LL=55.48% es LL >= 50% (cercano al 50%), y para nuestro suelo inorgánico consultando la carta de Plasticidad para el IP=29.61%, obtenemos que la **Simbología del Grupo** es **CH.**

Por lo tanto, Según INACAL (2024i) para el Nombre del Grupo consultaremos la carta de flujo para la clasificación de sueldos de grano fino, donde:

$$LL \geq 50\% \rightarrow Inorganico \rightarrow IP\ ubicado\ en\ o\ sobre\ la\ Linea\ \mathrm{A} \rightarrow CH \rightarrow < 30\%\ retiene\ Nro.200 \rightarrow < 15\%\ retiene\ Nro.200 \rightarrow Arcilla\ de\ Alta\ Plasticidad$$

Se debe recalcar que, de acuerdo a la tabla 9, la cantidad de suelo retenido en la malla Nro. 200 es menor a 30% a la vez menor a 15% dándonos que el **Nombre del Grupo** es **Arcilla de Alta Plasticidad.** Así el suelo puede ser clasificado como**:**

Arcilla de Alta Plasticidad (CH)

El resultado anterior no debe confundir al lector, debido a que también existe otros suelos como la arcilla rígida sobreconsolidada de Londres con un Índice de Plasticidad de 27% y Limite Liquido de 70% que también puede clasificarse como una arcilla de Alta Plasticidad (CH) (Bishop et al., 1968, cómo se citó en Terzagui et al, 1996).

4.3.3 Contenido de Humedad Natural

El contenido de humedad es la proporción del peso del agua al peso de suelo seco o peso de solidos con respecto a un volumen dado (Das, 2013/2015).

Las publicaciones (INACAL, 2024d; Bowles, 1978/1981; Juárez y Rico, 2011a) nos dan las orientaciones y recomendaciones necesarias para proceso de ensayo.

En la **figura 57** un procedimiento para el ensayo y también se recalca que las muestras representativas para el ensayo se extrajeron del espécimen inalterado obtenido del punto de extracción de suelo C – 1 explicado en la sección 4.2 y en la **figura 58** observamos el ensayo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Figura 57

Procedimiento para hallar el Contenido de Humedad del Suelo

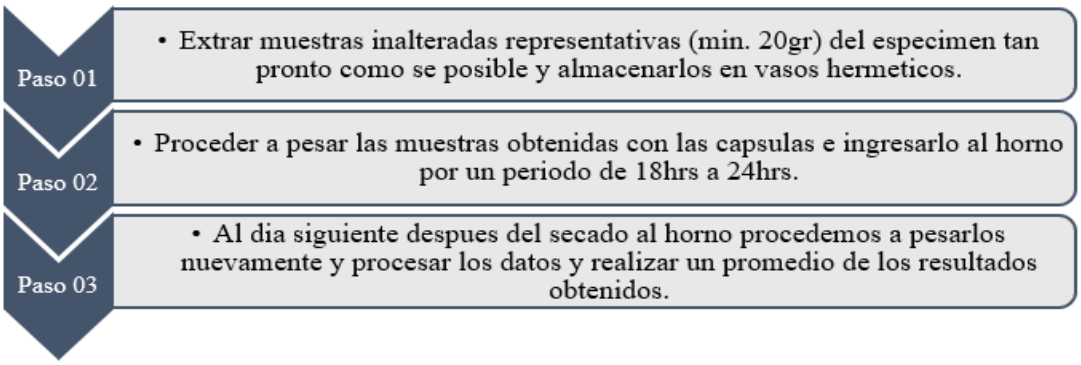


Figura 58

Proceso de ensayo de Contenido de Humedad en el Laboratorio de Suelos y Materiales



a) Proceso de extracción de muestra b) Anotación de peso de muestras de las capsulas

Nota. Para más imágenes del ensayo ver el Anexo C

Por lo tanto, en la **tabla 13** se muestra los resultados del ensayo de laboratorio de Contenido de Humedad para tres procedimientos de ensayo usando la ecuación (4.1), dándonos como resultado lo siguiente:

Tabla 13

Resultados de la Obtención del Ensayo de Contenido de Humedad

Ensayo de Contenido de Humedad			
Descripción	**Muestra 01**	**Muestra 02**	**Muestra 03**
Peso Capsula (gr)	58.67	63.03	57.62
Peso Capsula + Muestra Húmeda (gr)	92.36	99.91	94.61
Peso Capsula + Muestra Seca (gr)	84.48	91.27	85.94
Peso del agua (gr)	7.88	8.64	8.67
Peso de la Muestra Seca (gr)	25.81	28.24	28.32
Contenido de Humedad (%)	**30.53%**	**30.59%**	**30.61%**

Nota. Para ver con más detalle el procesamiento de datos del ensayo ver Anexo A3

De los resultados de la tabla 13 obtendremos el promedio de ellos, dándonos la ecuación (4.7):

$$Contenido\ de\ Humedad\ (\%) = 30.58\% \qquad (4.7)$$

4.3.4 Gravedad Especifica de Solidos

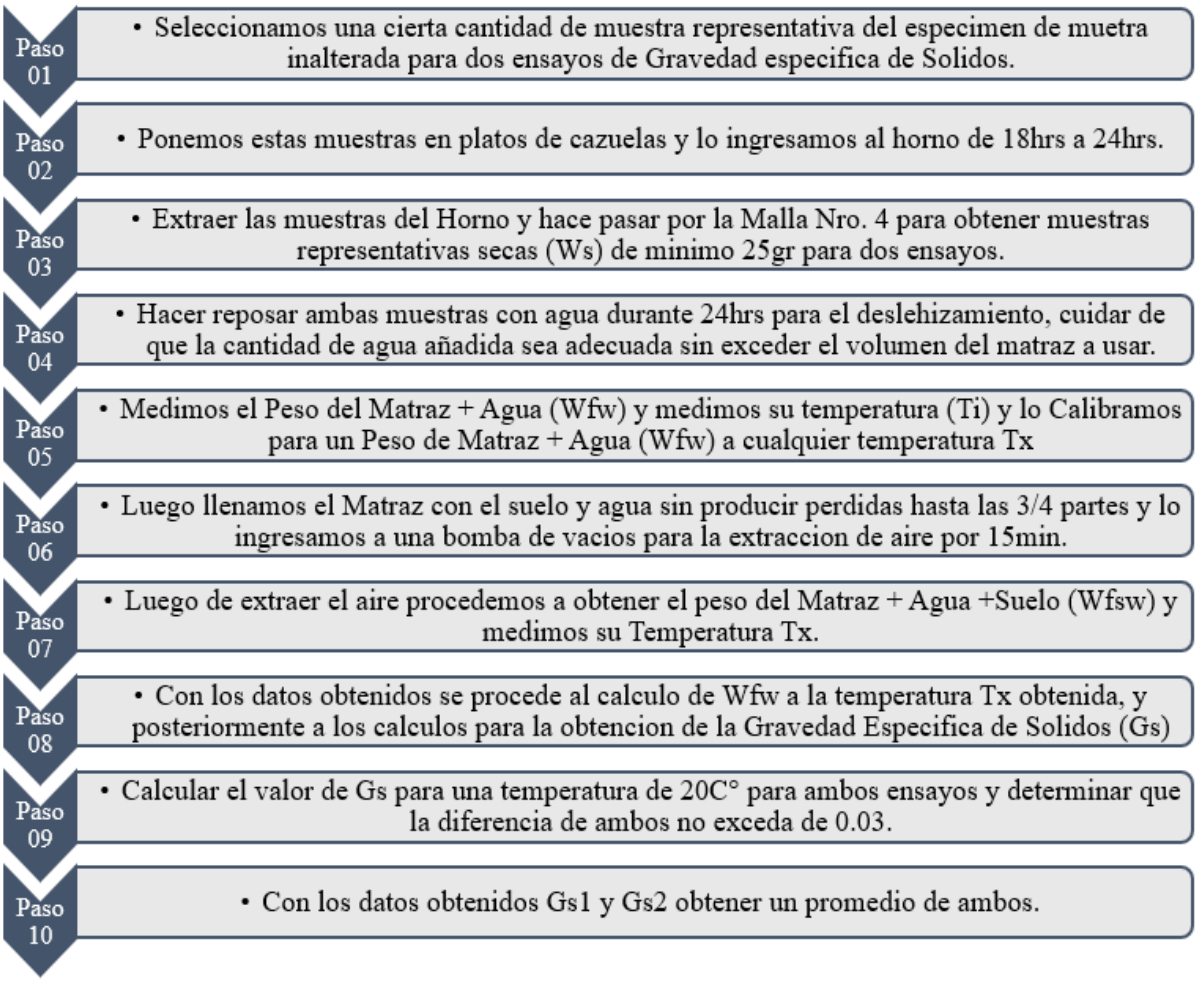
Es la relación entre del peso propio del suelo al peso del agua a un mismo volumen idéntico, a una misma temperatura. La gravedad especifica de solidos sirve para clasificar algunos minerales, también para hallar la relación de vacíos en el ensayo de consolidación unidimensional y también en el análisis del hidrómetro, incluso para las relaciones gravimétricas y volumétricas también es muy útil (Bowles, 1978/1981).

Las publicaciones (INACAL, 2024e; Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016; Bowles, 1978/1981) nos indican los procedimientos para la obtención de la Gravedad específica de los Sólidos, así como las recomendaciones respectivas.

En la **figura 59** se muestra una breve descripción del procedimiento para el ensayo.

Figura 59

Procedimiento para el ensayo de Gravedad Especifica de Solidos



De lo anteriormente indicado se tienen: la ecuación (4.8), para la Calibración del Peso del Matraz + Agua (Wfw) a cualquier temperatura Tx con respecto a un Ti, la ecuación (4.9) para la obtención de la Gravedad específica de Sólidos a una temperatura Tx y la ecuación (4.10) para hallar la Gravedad especifica de Solidos a una temperatura de 20C°, donde *K* es la relación entre la densidad del agua a una temperatura de T(xC°) con respecto a una densidad del agua a la temperatura de T (20C°) (INACAL, 2024e).

$$W_{fw}(a\,Tx) = \frac{Densidad\ de\ agua\ a\ Tx}{Densidad\ de\ agua\ a\ Ti}\left(W_{fw}(a\,Ti) - W_f\right) + W_f \tag{4.8}$$

$$G_s\left(\frac{Tx}{TxC}°\right) = \frac{W_S}{W_S + (W_{fw} - W_{fsw})} \tag{4.9}$$

$$Cálculo\ de\ Gs\ (a\,T\ 20c°) = K * (Gs\ a\ TxC°) \tag{4.10}$$

En la **figura 60** se ve el proceso para el ensayo de Gravedad específica de Sólidos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, para (Ver el Anexo C para más detalle)

Figura 60

Ensayo de Gravedad especifica en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



a) Herramientas y Materiales

b) Calibración del Peso de Matraz + Agua (Wfw)

c) Uso de bomba de Vacíos

d) Medida de Temperatura Tx de Wfsw

En la siguiente **tabla 14** podemos también observar los resultados obtenidos de laboratorio para el ensayo de Gravedad Específica de Sólidos.

Tabla 14

Resultados para obtener la Gravedad Especifica de Solidos

Ensayo de Gravedad Especifica de Solidos	**Prueba Nro. 1**	**Prueba Nro. 2**
- Matraz	Gs1	Gs2
- Volumen del Frasco a 20C°	500ml	500ml
- Método de Remoción de Aire	Vacío	Vacío
- Peso del Matraz (Wf) (gr)	153.56	160.72
- Temperatura (Ti en C°)	16.3 C°	16.9C°
- Peso de Matraz + Agua (Wfw a Ti) (gr)	652.32	659.69
- Temperatura (Tx en C°)	19.0 C°	21.20C°
- Peso de Matraz + Suelo + Agua (Wfsw a Tx) (gr)	683.53	690.44
- Peso de Matraz + Agua (Wfw a Tx) (gr)	652.08	659.27
- Peso de Cazuela (gr)	99.70	91.72
- Peso de Cazuela + Muestra Seca (gr)	150.26	141.93
- Peso de Muestra Seca (Ws)	50.56	50.21
- Peso de Agua desplazada (Ww)	19.11	19.04
- Gravedad Especifica de los Solidos (Gs) (a Tx)	2.65	2.64

Nota. Para más detalle de los resultados consulte el Anexo A4

De la tabla 14 se debe obtener los valores de Gs con respecto a una temperatura de 20C° y con respecto al anexo A4 se obtiene:

$$Cálculo\ de\ Gs1\ (a\ T\ 20C°) = 2.65 \quad (4.11)$$

$$Cálculo\ de\ Gs2\ (a\ T\ 20C°) = 2.64 \quad (4.12)$$

La diferencia entre los valores de las ecuaciones (4.11) y (4.12) es menor a 0.03, por lo tanto, el valor de la **Gravedad Especifica de Solidos (**a una aproximación de 0.01**)** para nuestro suelo a investigar es el promedio del valor de las ecuaciones (4.11) y (4.12):

$$Gravedad\ Específica\ de\ Sólidos\ (Gs) = 2.64 \quad (4.13)$$

4.3.5 Consolidación Unidimensional de Suelos

La parte teórica de la consolidación de suelos fue descrita en la Sección 2.7, donde bien se describe dos parámetros principales a hallar, el parámetro del índice Compresión (Cc) y el parámetro del Índice de expansión (Cs), ambos llamados parámetros de compresibilidad, que serán útiles para le modelamiento numérico de Suelos.

Las publicaciones (INACAL, 2024f; Bowles, 1978/1981; Peck et al., 1974/1996), nos dan el procedimiento y las recomendaciones necesarias para hacer el ensayo de Consolidación Unidimensional de Suelos.

En la **figura 61** podemos mostrar un breve resumen del ensayo y en la **figura 62** el ensayo en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Figura 61

Procedimiento para el ensayo de Consolidación Unidimensional

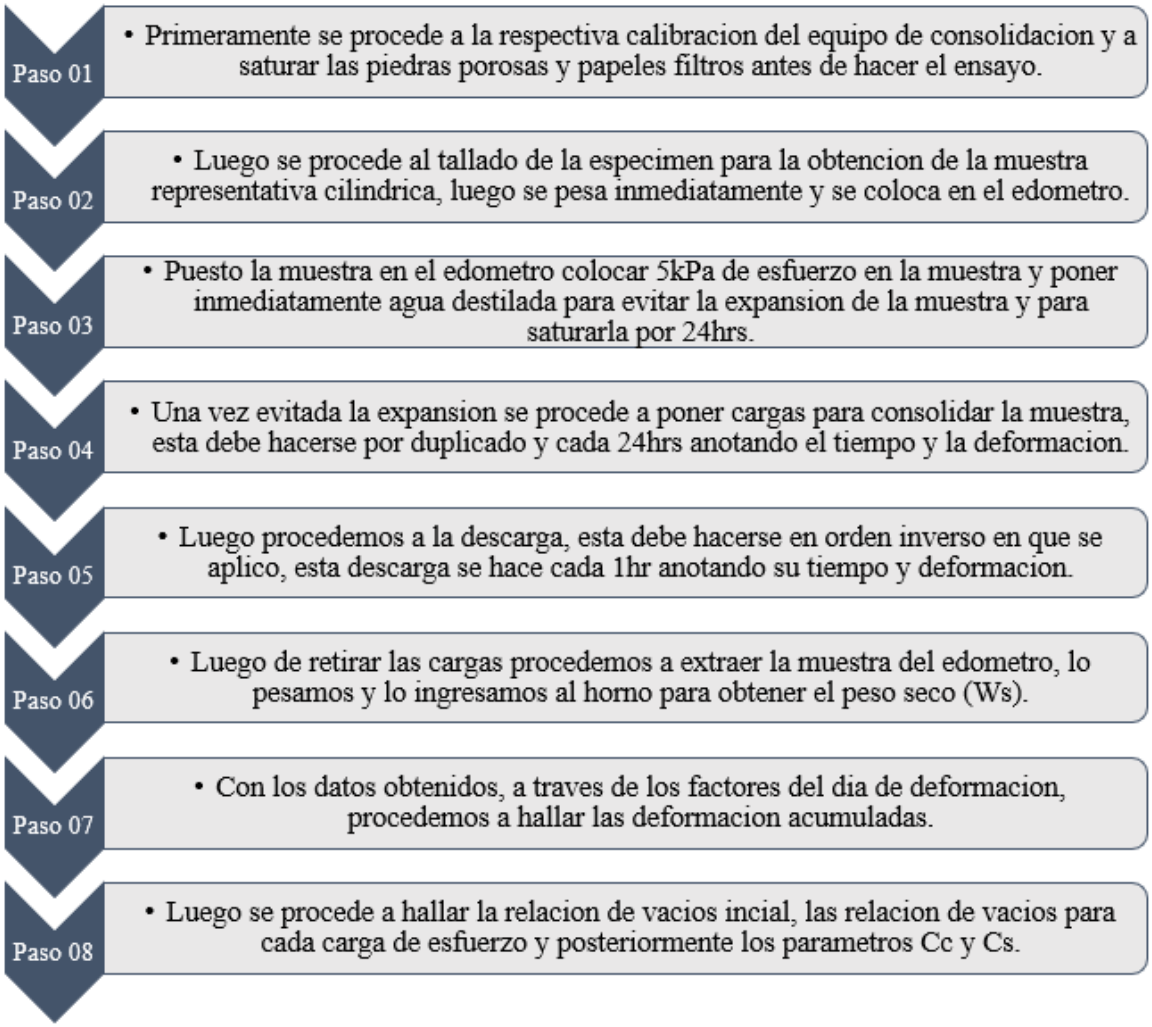


Figura 62

Ensayo de Consolidación Unidimensional en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



a) Tallado de Muestra

b) Proceso de Carga

c) Proceso de Descarga

d) Obtención de Peso seco (Ws)

Nota. Para más imágenes del ensayo ver el Anexo C.

Para nuestra presente investigación el ensayó estuvo conformado por un anillo de 2.5” de diámetro y de 1” de Altura, con un brazo de factor de Carga de 1:10. Se recalca que para el ensayo solo se usó un brazo o edómetro debido a que el otro edómetro mostrado en la **figura 62 (b)** estaba reservado para uso de alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por lo tanto, solo se usó un edómetro o brazo para el ensayo.

En la **tabla 15** se puede observar el factor de brazo usado en el edómetro, así como las diferentes cargas y descargas que se usó para el ensayo con sus respectivos esfuerzos actuantes sobre la muestra representativa de suelo a ensayar, también en la **tabla 16** se muestra los resultados de la relación de vacíos (e) y el esfuerzo aplicado en kg/cm2, este procedimiento de obtención se puede ver con más detalle en el Anexo A5.

Tabla 15

Cargas aplicadas y esfuerzos en la muestra representativa

Fator de Brazo	Peso (kg)	F1 (kg)	Esfuerzo (kg/cm2)
	CARGA		
10	1.002	10.016	0.316
10	2.007	20.066	0.634
10	4.004	40.036	1.264
10	8.002	80.018	2.527
10	16.001	160.009	5.053
10	32.032	320.319	10.115
	DESCARGA		
10	16.001	160.009	5.053
10	8.002	80.018	2.527
10	4.004	40.036	1.264
10	2.007	20.066	0.634
10	1.002	10.016	0.316
10	0	0.000	0.000

Nota. Para más detalle del procesamiento del ensayo ver el Anexo A5.

Tabla 16

Esfuerzos Aplicados (kg/cm2) vs Relación de Vacíos (e)

Carga Aplicada (kg/cm²)	Relación de Vacíos *e*
0.000	0.762
0.316	0.757
0.634	0.754
1.264	0.749
2.527	0.740
5.053	0.727
10.11	0.710
5.053	0.717
2.527	0.725
1.264	0.732
0.634	0.738
0.316	0.742
0.000	0.751

Nota. Para más detalle del procesamiento del ensayo ver el Anexo A5

En la **figura 63** podemos ver los resultados dibujados en un plano de relación de vacíos (e) vs esfuerzo aplicado (kg/cm2), este último en escala logarítmica, esta figura es importante porque partir de ella podremos hallar el esfuerzo de Preconsolidacion Pc´, el índice de Compresión (Cc) y el índice de Expansión (Cs), adicionalmente se usaron las ecuación (4.14), (4.15), (4.16), (4.17) para la obtención de los datos necesarios como la altura de solidos (Hs), relación de vacíos inicial (e_0), relación de vacíos para cada carga aplicada (e_n), y el índice de Sobreconsolidación OCR, respectivamente.

$$Hs = \frac{Ws}{A*\gamma_w*G_s} \tag{4.14}$$

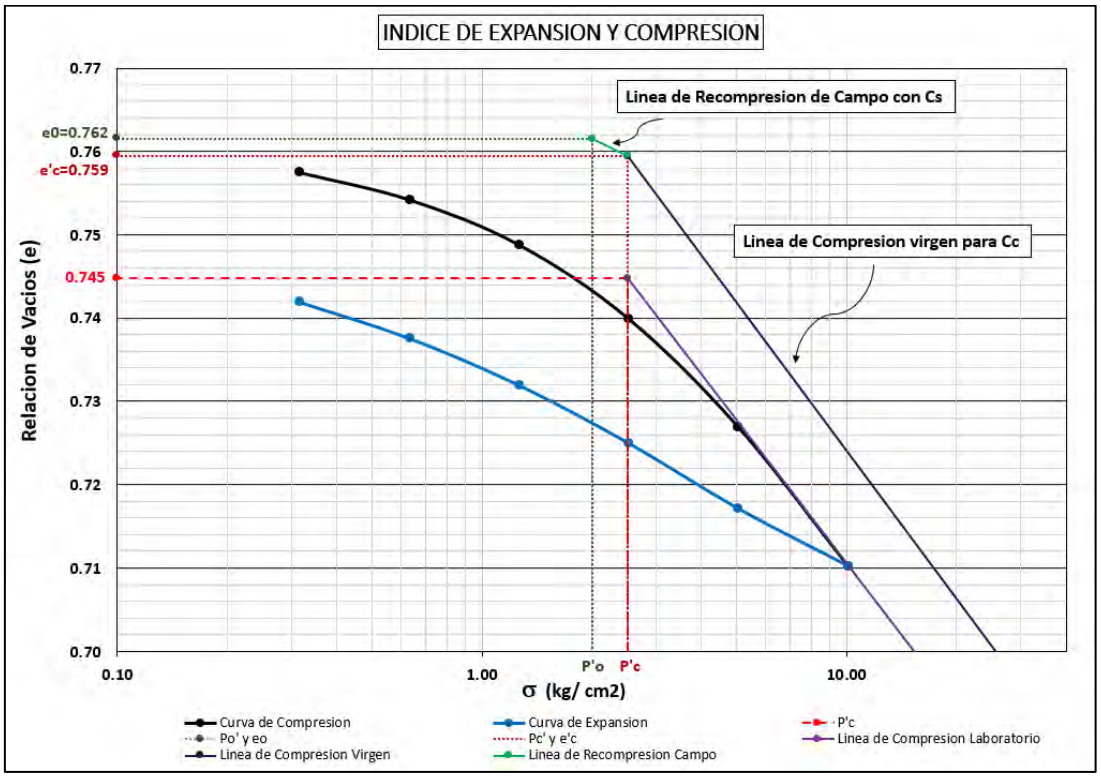
$$e_0 = \frac{Hv}{Hs} \tag{4.15}$$

$$e_n = e_o - \frac{\Delta H_{acum.}}{Hs} \tag{4.16}$$

$$OCR = \frac{P\prime_c}{P\prime_o} \tag{4.17}$$

Figura 63

Plano de Esfuerzo Aplicado (kg/cm2)-escala logarítmica VS Relación de Vacíos



Por lo tanto, los resultados obtenidos del ensayo de Consolidación Unidimensional son los mostrados en las ecuaciones (4.18), (4.19), (4.20) y (4.21), respectivamente:

$$e_0 = 0.7615 \quad (4.18)$$

$$\sigma'_c\ (Pc') = 2.51 kg/cm2\ \ (246.2\text{kPa}) \quad (4.19)$$

$$Índice\ de\ Compresión\ Cc = 0.0589 \quad (4.20)$$

$$Índice\ de\ Expansión\ Cs = 0.0206 \quad (4.21)$$

4.3.6 Peso Unitarios de Suelos

Para la obtención de los pesos unitarios que conforman el talud en estudio se debe extraer muestras representativas de cada estrato que esta encima del estrato de arcilla a investigar, esto será importante porque así obtendremos el esfuerzo aplicado presente (Po') que actúa sobre ella y por consiguiente hallar el índice de Sobreconsolidación (OCR) mencionado en la sección 4.3.5.

Las publicaciones (INACAL, 2024g; INACAL, 2024h; Universidad Nacional de Ingeniería, s.f.) muestran que para suelos cohesivos se puede proceder al tallado de ellas ya sea en forma cilíndrica o en forma prismática, todas ellas talladas con mucho cuidado y precisión sin permitir que pierda humedad durante el ensayo, así mimo para el caso de suelos no cohesivos se pueden extraer muestras intactas fabricadas en campo o usando tubos de pared delgada normadas o botes de hojalata presionando o incrustando en el suelo con cuidado de no alterar la muestra a extraer y muchas otras formas para extraer muestras para hallar el peso unitario de las mismas.

Para nuestra presente investigación en general se tuvo que obtener muestras de forma prismática rectangular de cada estrato debido a la dificultad de obtener muestras no perturbadas de tubos de pared delgadas o para obtener de manera rápida las muestras antes que el intemperismo los alterará, en la **figura 64** podemos observar la extracción de algunas

de estas muestras del talud y llevados al laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales para su medida de peso y registro.

Figura 64

Proceso de Extracción de muestras en el campo y su registro en el Laboratorio



a) Extracción de muestras del talud



b) Ejemplo de muestra inmediatamente envuelta



c) Muestras en el Laboratorio

Nota. Para más imágenes del ensayo ver el Anexo C.

De acuerdo a Das (2013/2015) se puede usar la ecuación (4.22) y (4.23) de forma general para hallar el peso unitario de los suelos y el esfuerzo que aplica cada estrato en el talud, respectivamente.

$$\gamma = \frac{Peso\ de\ la\ Muestra\ (W)}{Volumen\ de\ la\ muestra\ (V)} \tag{4.22}$$

$$\sigma = \gamma * (Espesor\ de\ Estrato) \quad (4.23)$$

Por lo tanto, de acuerdo al **Anexo A6** (en el que se puede observar todo el procesamiento y resultados de datos de cada estrato con su respectivo espesor y peso unitario obtenido) y usando las ecuaciones (4.22) y (4.23), podemos hallar el Esfuerzo Efectivo Presente Vertical (Po') el cual está dado por la ecuación (4.24) de acuerdo a lo obtenido en el Anexo A6, así podemos obtener que nuestro índice de Sobreconsolidación (OCR) está dado por la ecuación (4.25).

$$Esfuerzo\ Efectivo\ Presente\ Vertical\ (Po') = 2.00\ kg/cm2 \quad (4.24)$$

$$OCR = \frac{P\prime_c}{P'_o} = \frac{2.51kg/cm2}{2.00kg/cm2} = 1.25 \quad (4.25)$$

Confirmando así que nuestra arcilla a investigar es una arcilla sobreconsolidadas debido a que el OCR>1.

4.3.7 Ensayo de Corte Triaxial

Este ensayo es uno de los más importantes para la obtención de los parámetros de corte necesarios para el modelamiento numérico de suelos. En la sección 2.8 ya se había hecho una descripción sobre el Criterio de falla de Mohr Coulomb aplicado a la resistencia de suelos y una breve descripción teórica del Ensayo de Corte Triaxial, sin embargo, en esta sección detallaremos con respecto al ensayo realizado en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Las condiciones de drenaje para llevar a cabo ensayos de corte triaxiales están relacionadas a las condiciones de campo y deben ser lo más próximas posibles. Para el caso de los ensayos de Corte Triaxial Drenado (CD) se basan en la condición de que los suelos en el campo se han consolidado y posteriormente se aplica un esfuerzo bajo condiciones drenadas a través de una lenta aplicación para permitir la disipación de la presión de poros. En el caso de Arcillas sobreconsolidadas para suelos en condiciones de inestabilidad critica es a menudo usado la condición drenada (CD), también, con el tiempo, las pruebas UU o no

drenadas no llegan a ser las adecuadas para arcillas duras sobre taludes por causa de los efectos de la dilatación o expansión, además en caso de hacer un control detallado y haber una bastante cantidad de tiempo para la ejecución de proyectos grandes también se puede hacer un ensayo CD económicamente hablando, y en caso de que arcillas sobreconsolidados puedan estar bajo condiciones de aplicación de carga lenta puede usarse la condición consolidada drenada CD. Adicionalmente varios ensayos consolidados drenados en arcillas sobreconsolidadas o rígidas fueron realizados, como el caso de la arcilla rígida de Londres (Bishop et al., 1965), o el caso de pruebas CD en la arcilla preconsolidada de Weald en el Colegio Imperial de la Universidad de Londres en la década de 1950 a 1960 (Juárez, 1969), así como los resultados de pruebas drenadas CD de arcillas preconsolidados presentadas en la sección 10.6 de Prueba consolidada- drenada del libro de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica de Braja M. Das (ASTM D7181-20, 2020; Bishop et al., 1968, cómo se citó en Terzagui et al, 1996; Bowles, 1978/1981; Das, 2013/2015; Juárez y Rico, 2011a; Terzagui et al, 1996; Juárez, 1969, cómo se citó en Juárez y Rico, 2011a; Peck et al., 1974/1996).

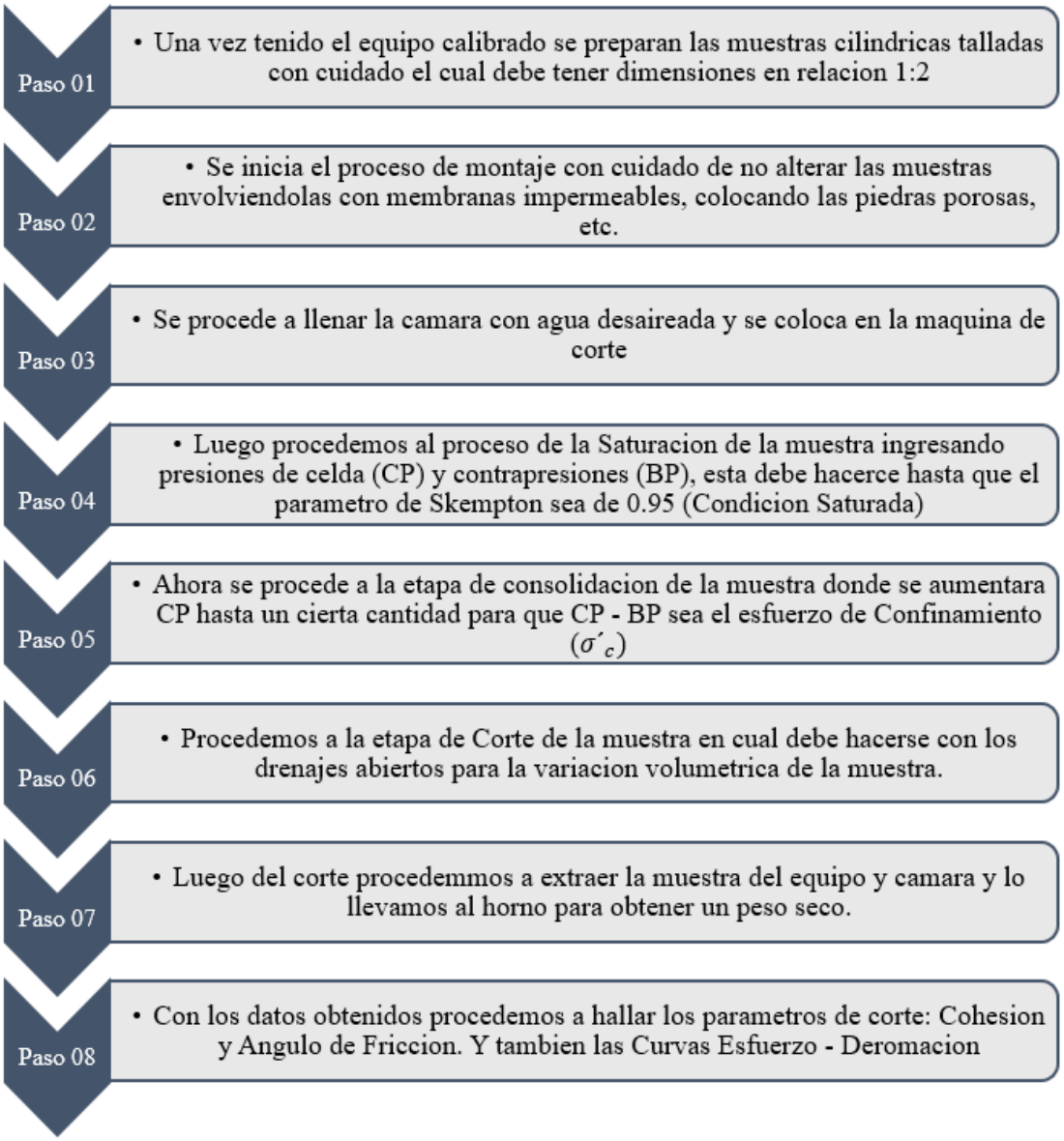
Lo descrito anteriormente permite que en nuestra investigación se pueda realizar el Ensayo de Corte Triaxial Drenado (CD), ya que nuestro suelo es arcilla sobreconsolidada. Este tipo de ensayo nos permitirá la obtención de parámetros de corte efectivos, los cuales serán muy importantes para la simulación de la curva esfuerzo – deformación.

Las publicaciones (ASTM D7181-20, 2020; Bowles, 1978/1981) nos dan todo el procedimiento y las recomendaciones para el ensayo de Corte Triaxial drenado, donde brevemente se explica que se inicia con la calibración y mantenimiento del respectivo equipo seguido del proceso de montaje y preparación de muestras y por consiguiente la saturación, consolidación y etapa de corte del ensayo, es muy importante aclarar que el ensayo debe realizarse por un personal capacitado, que en nuestra investigación se tomó en cuenta ello junto con una sólida formación teórica.

En la **figura 65** se puede ver el procedimiento del ensayo de Corte Triaxial Drenado

Figura 65

Procedimiento del Ensayo de Corte Triaxial Drenado



Como se mencionó anteriormente las muestras cilíndricas para nuestra investigación fueron obtenidos del punto de Extracción C – 2 tal como se vio en la figura 44, estas muestras son de proporción 1:2, de un diámetro de 73mm y una altura de 146mm, cada una de ellas fue tallada con sumo cuidado, siendo un total de seis muestras cilíndricas inalteradas talladas. En la **figura 66** se puede ver el procedimiento de tallado y el ensayo en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Figura 66

Procedimiento de Ensayo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



Nota. Para más imágenes del proceso de ensayo ver el Anexo C.

Para el Ensayo de Corte Triaxial se hicieron primeramente tres ensayos Sin Carga y Descarga y luego otros tres ensayos Con Carga y Descarga, este último solo para ver el comportamiento del suelo en esas condiciones. Los tres primeros ensayos tendrán sus propios parámetros de corte, así como los otros tres ensayos, aparte, sus propios parámetros de corte, dándonos así dos envolventes de falla de Mohr Coulomb y seis Curvas esfuerzo – deformación.

Los esfuerzos de confinamiento para cada ensayo triaxial serán dados a partir del resultado de presión de confinamiento promedio (*p'*) estimado a partir de la ecuación (4.26):

$$p' = \frac{\sigma'_1 + 2*\sigma'_3}{3} \quad ; \quad \sigma'_3 = K_o * \sigma'_1 \quad ; \quad K_o = 1 - sin\emptyset'_{cs} * (OCR)^{0.5} \qquad (4.26)$$

En este caso el σ'_1 es el esfuerzo vertical actual efectivo obtenido en la ecuación (4.24), σ'_3 la presión lateral, la fórmula para *Ko* es la dada por Meyernof (1976) para suelos sobreconsolidados (en este caso arcillas), el OCR siendo el índice de Sobreconsolidación y $\emptyset'_{cs}$ el ángulo de fricción critico (que en este caso es una estimación debido a que aún no se tiene los parámetros de corte). Los valores de $\emptyset'_{cs}$ para arcillas generalmente varían de entre 15° y 30° (Budhu, 2011).

Por lo tanto, se usarán los valores de $\sigma'_1 = 2.00kg/cm2 = 196.13kPa$, OCR=1.25, $\emptyset'_{cs} = 30°$ (estimado), donde se obtiene:

$$p' = \frac{(1+2*(1-sin\emptyset'_{cs}*(OCR)^{0.5})*\sigma'_1}{3} = 123.037kPa \qquad (4.27)$$

Así, con el valor de referencia dado en la ecuación (4.27) podemos hacer tres ensayos triaxiales de 50kPa, 100kPa y 150kPa, adicionalmente otras razones para poner esos confinamientos es debido a que el talud en estudio está siendo intervenido por la expansión urbanística y por el movimiento de tierras que suceden encima y alrededor de ella, produciendo así un aumento a futuro de la carga que el talud actualmente soporta, también de que el Modelo de Hardening Soil esta formulada en base a una Presión de referencia de 100kPa siendo así poner esfuerzos de confinamiento en los ensayos triaxiales de alrededor de esa Presión de referencia.

Sin embargo, durante el proceso de ensayos triaxiales para las muestras cilíndricas, y debido a la configuración del equipo, se trabajó con 50kPa, 89kPa y 150kPa para cada probeta tanto para sin carga – descarga como para con carga – descarga.

Ensayo de Corte Triaxial (Sin Carga y Descarga). Para este caso como se mencionó se hicieron tres Ensayos de Corte Triaxial Drenado (ver **tabla 17**), las muestras fueron nombradas como ***M3*** (para un esfuerzo de confinamiento de 50kPa), ***M2*** (Para un esfuerzo de Confinamiento de 89kPa), ***M5*** (Para un confinamiento de 150 kPa).

Tabla 17

Resumen de Resultados obtenidos para el ensayo de Corte Triaxial (Sin Carga - Descarga)

Datos Obtenidos de Ensayo de Corte Triaxial (Sin Carga – Descarga)			
Descripción	**Muestra M3**	**Muestra M2**	**Muestra M5**
Peso Volumétrico Húmedo (gr/cm3)	1.946	1.957	1.935
CP para Saturación (kPa)	240	280	220
BP para Saturación (kPa)	220	260	200
Parámetro de Skempton (%): $(\frac{\Delta u}{\Delta CP})$	95%	95%	95%
CP para Consolidación (kPa)	267	357	348
BP para Consolidación (kPa)	217	268	198
Presión de Confinamiento (KPa)	50	89	150
Esfuerzo Máximo Desviador (kPa)	459.04	563.41	700.72
Deformación Unitaria (%)	1.152%	1.345%	1.132%
Esfuerzo Residual (kPa)	99.273	193.53	323.10
Deformación Unitaria Máxima (%)	6.868%	6.897%	6.873%

En la **figura 67** podemos ver los resultados de las curvas esfuerzo – deformación para las muestras M2, M3 y M5 así también en la **figura 68** se ven las curvas de variaciones volumétricas y en la **figura 69** el criterio de falla de Mohr Coulomb para la obtención de los parámetros de corte, todo el detalle y obtención de ellos se puede ver en el Anexo A7.

Figura 67

Resultados de las Curvas Esfuerzo - Deformación para M3, M2 y M5

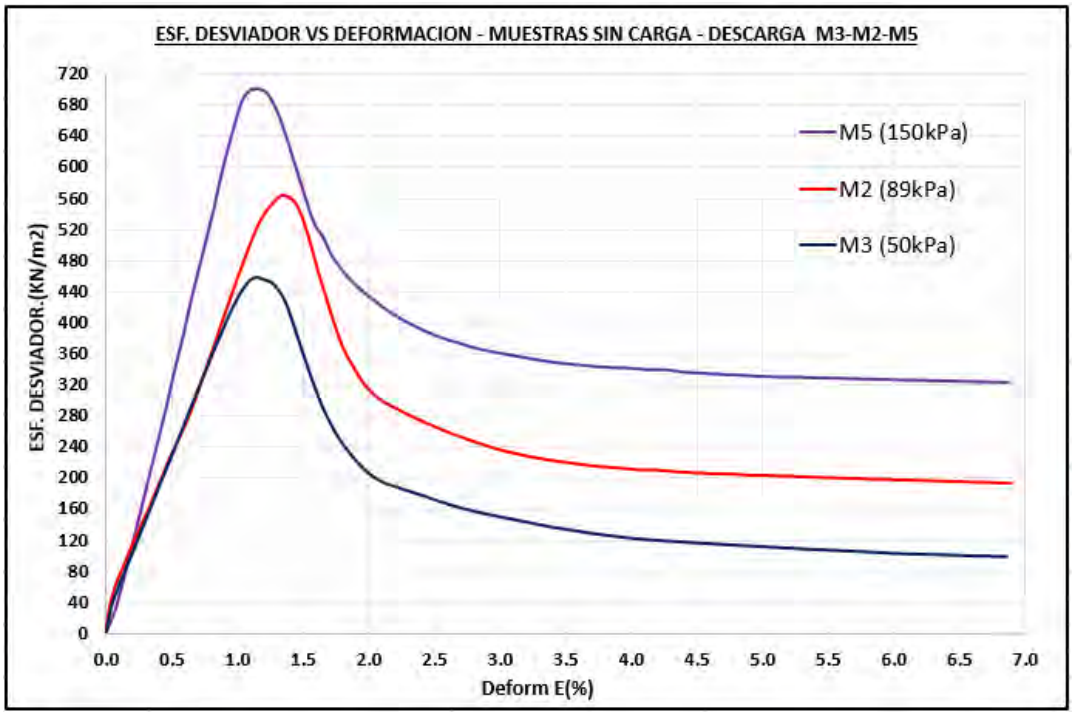


Figura 68

Resultados de Variación Volumétrica vs Deformación Unitaria de M3, M2 y M5

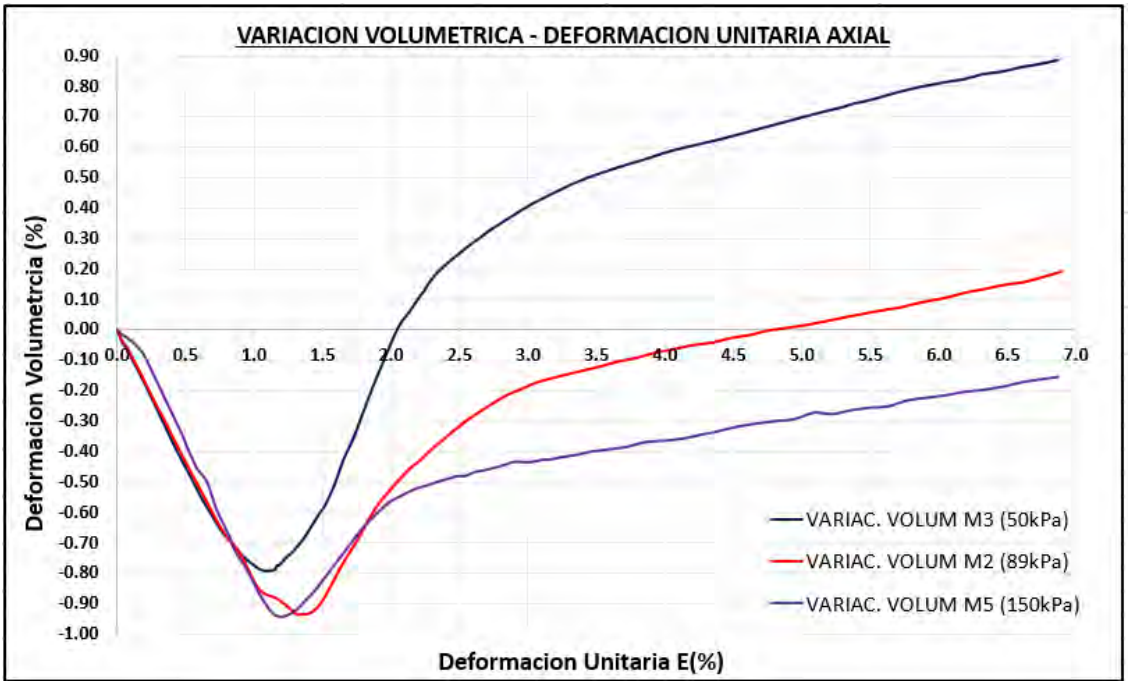
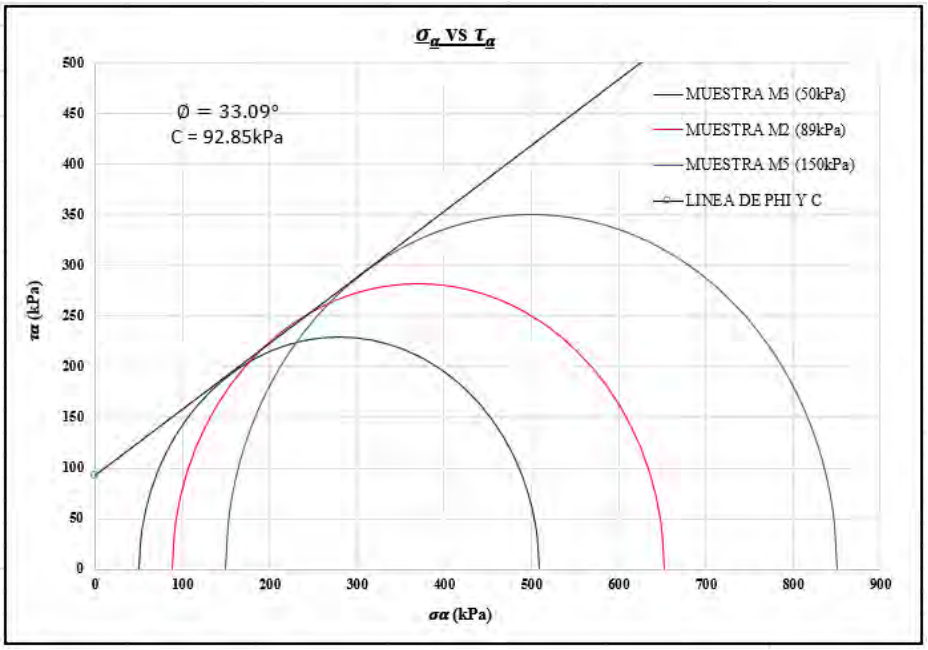


Figura 69

Criterio de falla de Mohr Coulomb para M3, M2 y M5



Con los resultados obtenidos en la figura 67 y 69 obtendremos la **tabla 18**, el cual muestra los parámetros de corte para el esfuerzo máximo desviador para M3, M2 y M5.

Tabla 18

Resultados de Parámetros de Corte para M3, M2 y M5

Parámetros de Corte para el esfuerzo máximo Desviador	
Angulo de Fricción Interno (°)	33.09°
Cohesión (kPa)	92.85

También se muestra los parámetros de corte del esfuerzo residual, esto es importante, por ejemplo, para el modelo de la Hipoplasticidad (ver **tabla 19)**.

Tabla 19

Resultados de Parámetros de Corte residual para M3, M2 y M5

Parámetros de Corte para el Esfuerzo Residual ($\emptyset_{res}$)	
Angulo de Fricción Interno Residual (°)	31.81°
Cohesión (kPa)	0.00

Ensayo de Corte Triaxial (Con Carga y Descarga). De manera similar al anterior caso. Se hicieron tres Ensayos de Corte Triaxial Drenado (ver **tabla 20**), las muestras fueron nombradas como ***M4*** (para un esfuerzo de confinamiento de 50kPa), ***M1*** (Para un esfuerzo de Confinamiento de 89kPa), ***M6*** (Para un confinamiento de 150 kPa).

Tabla 20

Resumen de Resultados obtenidos para el ensayo de Corte Triaxial (Con Carga - Descarga)

Datos Obtenidos de Ensayo de Corte Triaxial (Con Carga – Descarga)			
Descripción	**Muestra M4**	**Muestra M1**	**Muestra M6**
Peso Volumétrico Húmedo (gr/cm3)	1.963	1.956	1.968
CP para Saturación (kPa)	260	320	220
BP para Saturación (kPa)	240	300	200
Parámetro de Skempton (%): $(\frac{\Delta u}{\Delta CP})$	95%	95%	95%
CP para Consolidación (kPa)	290	351	353
BP para Consolidación (kPa)	240	262	203
Presión de Confinamiento (KPa)	50	89	150
Esfuerzo Máximo Desviador (kPa)	460.24	562.46	701.86
Deformación Unitaria (%)	1.433%	1.309%	1.253%
Esfuerzo Residual (kPa)	68.544	161.960	291.730
Deformación Unitaria Máxima (%)	6.920%	6.887%	6.849%

En la **figura 70** los resultados de las curvas esfuerzo – deformación para las muestras M4, M1 y M6, también en la **figura 71** se ven las curvas de variaciones volumétricas y en la **figura 72** el criterio de falla de Mohr Coulomb para la obtención de los parámetros de corte, *note las curvas de carga y descarga en la figura 70*. (Ver detalles de obtención en Anexo A8).

Figura 70

Resultados de las curvas Esfuerzo - Deformación para M4, M1 y M6

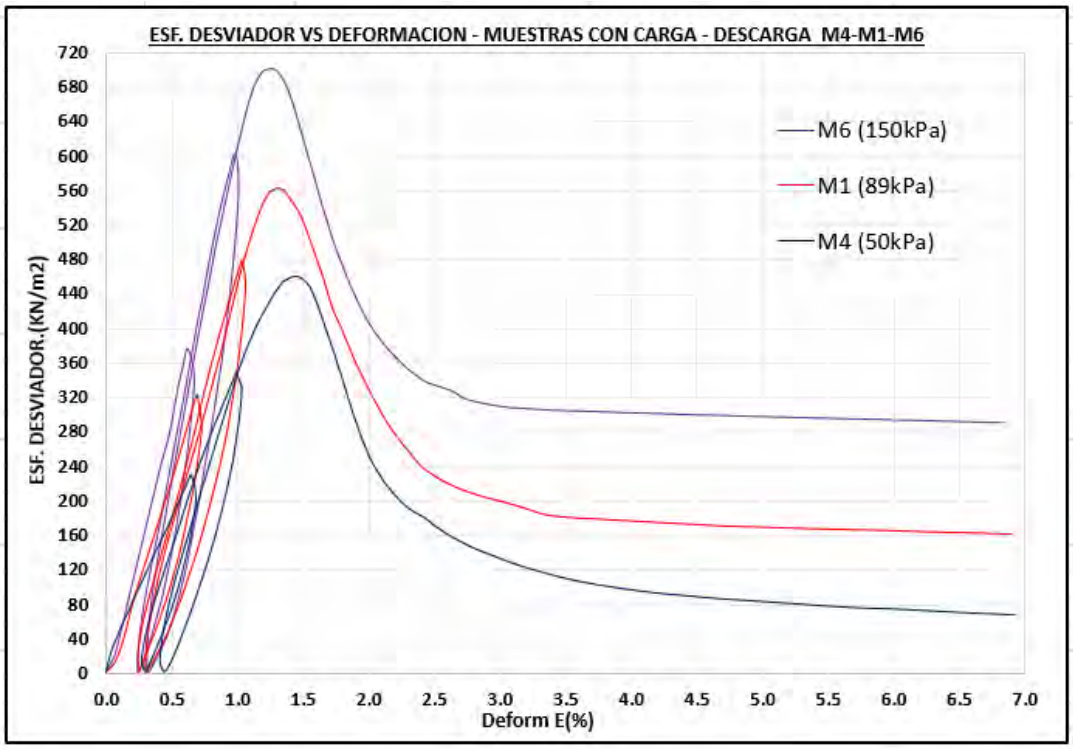


Figura 71

Resultados de la Variación Volumétrica para M4, M1 y M6

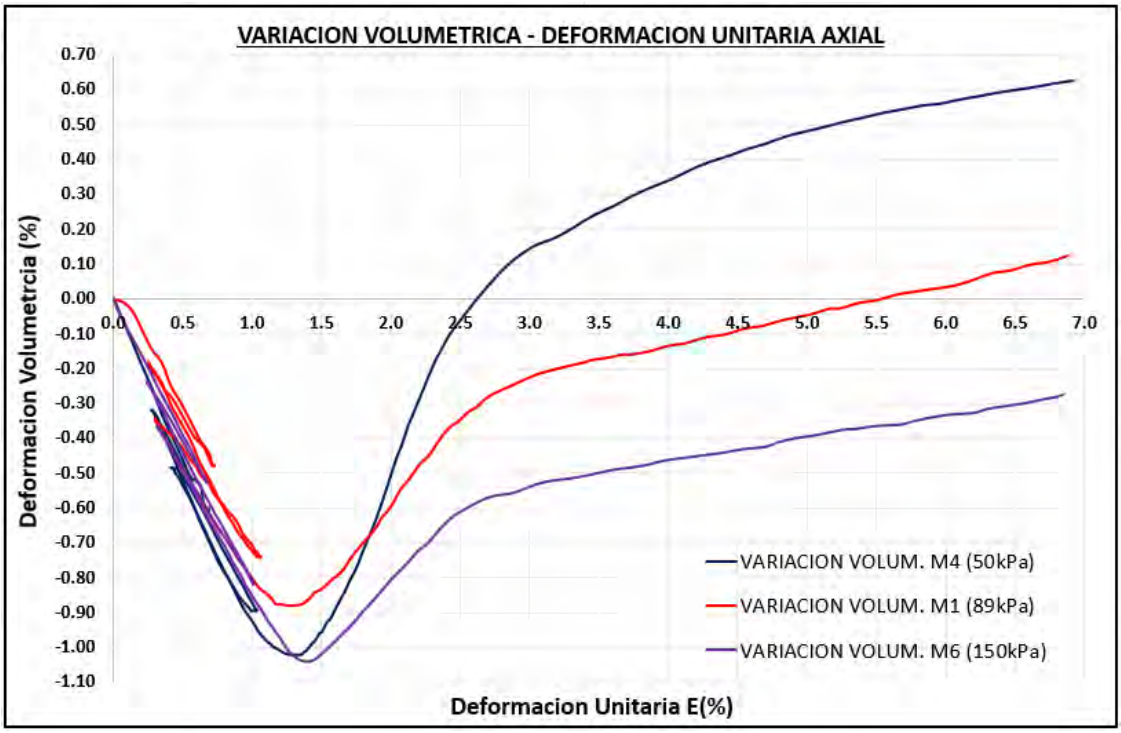
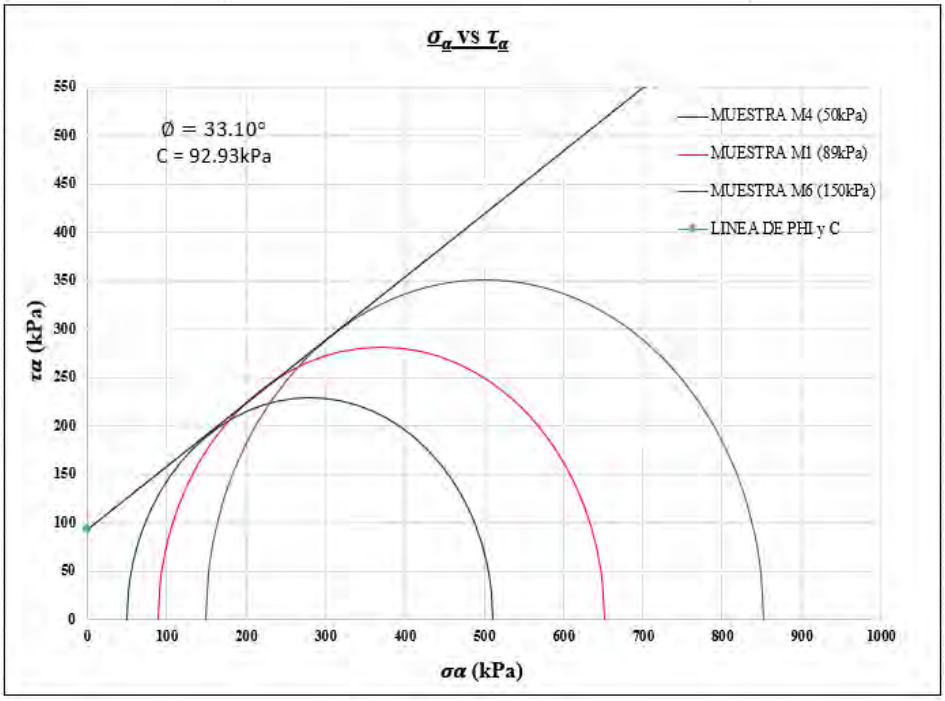


Figura 72

Criterio de falla de Mohr Coulomb para M4, M1 y M6



Así con los resultados obtenidos en la figura 70 y 72 obtendremos la **tabla 21**, el cual muestra los parámetros de corte para el esfuerzo máximo desviador para M4, M1 y M6.

Tabla 21

Resultados de Parámetros de Corte para M4, M1 y M6

Parámetros de Corte para el esfuerzo máximo Desviador	
Angulo de Fricción Interno (°)	33.10°
Cohesión (kPa)	92.93

También se muestra los parámetros de corte del esfuerzo residual (ver **tabla 22**).

Tabla 22

Resultados de Parámetros de Corte Residual para M4, M1 y M6

Parámetros de Corte para el Esfuerzo Residual ($\emptyset_{res}$)	
Angulo de Fricción Interno Residual (°)	31.77°
Cohesión (kPa)	0.00

Debido a que el OCR>1 y estando en condiciones consolidada – drenada las curvas esfuerzo - deformación resultan con un efecto pico.

CAPITULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

En este capítulo presentaremos la parte más importante de la investigación en el cual se determinó los parámetros de cada modelo constitutivo, su calibración y la aplicación para simular las curvas experimentales esfuerzo – deformación. En el Capítulo II y en la sección 2.10 se ha dio una explicación sobre los parámetros de cada modelo constitutivo, sin embargo, en algunas secciones de este capítulo los reiteraremos y más adelante veremos la aplicación de la herramienta Soil Test, de los modelos axisimetricos y el software ABAQUS.

Las secciones a continuación serán divididas en dos partes para la obtención de parámetros, la primera para el caso de curvas **SIN** carga – descarga y lo segundo para el caso **CON** carga – descarga, y es muy importante mencionar que para la aplicación de un modelo se usa un solo set de parámetros calibrados para sus tres muestras respectivas, porque los modelos constitutivos deben simular los suelos para toda condición de carga establecida.

5.1 Obtención de parámetros para el modelo de Mohr – Coulomb.

Como se mencionó en la Sección 2.10 este modelo tiene cinco parámetros básicos para su aplicación en el modelamiento de suelos, tal como se ve en la **tabla 23** se vuelven a mostrar para su entendimiento.

Tabla 23

Parámetros a obtener para la aplicación del Modelo de Mohr Coulomb

Parámetros de Mohr Coulomb	Descripción de Parámetro
C	Cohesión
ϕ	Ángulo de Fricción
ψ	Ángulo de Dilatancia
E	Módulo de Elasticidad
υ	Relación de Poisson

Nota. Material Models Manual 2D (Plaxis) (2023a, p. 35).

5.1.1 Parámetro de la Cohesión (C)

Tal como explicado en la sección 2.8 y en la sección 4.3.7 para su obtención, así como los resultados ya obtenidos en las tablas 18 y 21, para el esfuerzo desviador máximo se tienen los parámetros de la cohesión dados en la **tabla 24**.

Tabla 24

Obtención del Parámetro de la Cohesión

Parámetro de la Cohesión	
Tipo de Ensayo y Muestra	**Cohesión (kPa)**
Ensayo **SIN** carga - Descarga (Muestras M3, M2 y M5)	92.85
Ensayo **CON** carga - Descarga (Muestras M4, M1 y M6)	92.93

5.1.2 Parámetro del Angulo de Fricción (φ)

Similar a la anterior sección este parámetro se explica y se obtiene en base a lo ya dado en la sección 2.8 y en la sección 4.3.7 y para los resultados consultamos las tablas 18 y 21, en la cual ya se obtuvo el ángulo de fricción, donde para el esfuerzo desviador máximo tendremos la **tabla 25** para los valores de parámetro de ángulo de fricción.

Tabla 25

Obtención del Angulo de la Fricción

Parámetro del Ángulo de Fricción	
Tipo de Ensayo y Muestra	**Angulo de Fricción (°)**
Ensayo **SIN** carga - Descarga (Muestras M3, M2 y M5)	33.09°
Ensayo **CON** carga - Descarga (Muestras M4, M1 y M6)	33.10°

5.1.3 Parámetro del Angulo de Dilatancia

Descrito en la sección 2.10.1 este ángulo tiene valores diferentes de cero cuando se trata de arcillas sobreconsolidadas, puede ser hallado en base a la figura 31 y utilizando las curvas de Variación Volumétrica vs Deformación Unitaria de las figuras 68 y 71 podemos

obtener los valores para el ángulo de dilatancia para cada muestra, esta debe ser hallada en la en base a la ecuación (5.1) donde "a" es la pendiente más alta después de alcanzar el valor más bajo de variación volumétrica

$$sen(\psi) = \frac{a}{2+a} \;\; ; \;\; a = \frac{\Delta Ev\ (variacion\ Volumetrica)}{\Delta Ex\ (Deformacion\ Unitaria)} \tag{5.1}$$

Por lo tanto, con la explicación anterior tendremos la **tabla 26** el cual nos muestra el valor de cada alguno de dilatancia hallada para cada muestra y tipo de ensayo, se debe enfatizar que para la aplicación en el Plaxis se necesita un set de parámetros para insertarlo en el Plaxis, por consiguiente, el valor usado para el Modelo de Mohr Coulomb será el promedio de los tres ángulos de dilatancia hallados.

Tabla 26

Obtención del parámetro de Angulo de Dilatancia

Parámetro del Angulo de Dilatancia			
Tipo de Ensayo	**Muestras**	**Ángulos de Dilatancia**	**Valor Promedio**
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3 (50kPa)	22.599°	17.767°
	M2 (89kPa)	17.55°	
	M5 (150kPa)	13.154°	
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4 (50kPa)	22.11°	16.153°
	M1 (89kPa)	15.29°	
	M6 (150kPa)	11.06°	

Nota. Ver final de Anexo A7 Y A8 para detalles de obtención.

5.1.4 Parámetro del Módulo de Elasticidad

Como se vio en la sección 2.6 y 2.10.1 y de acuerdo a las figuras 17 y 30, el Módulo de Elasticidad para aplicarlo en los modelos constitutivos debe ser hallado al 50% del Esfuerzo Desviador máximo y de acuerdo a la ecuación (5.2).

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}\,(\sigma_{max}/2)}{\varepsilon_{50\%}} \tag{5.2}$$

Y de acuerdo a las figuras 67 y 70 tendremos las siguientes **tablas 27 y 28**, respectivamente, donde se obtuvieron los módulos de elasticidad al 50% del esfuerzo máximo con la deformación unitaria en función a ese mismo porcentaje ($\varepsilon_{50\%}$), obteniendo así un promedio ponderado (Ecuación 5.3) para cada tipo de ensayo realizado, esto para poder tener un set de parámetros para el Modelo de Mohr Coulomb.

$$E_{ponderado} = \frac{\sigma_1 * E_1 + \sigma_2 * E_2 + \sigma_3 * E_3}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3} \tag{5.3}$$

Tabla 27

Obtención de Modulo de Elasticidad Ponderado para M2, M3 y M5

Módulo de Elasticidad Ponderado para Ensayos SIN Carga - Descarga						
	σ3 Conf. (kPa)	**σmax (kPa)**	**σmax/2 (kPa)**	**$\varepsilon_{50\%}$**	**E50 (kN/m2)**	**E50* σ3 Conf**
Muestra M3	50	459.04	229.52	0.00498	46088.75	2304438
Muestra M2	89	563.41	281.70	0.00633	44503.05	3960771
Muestra M5	150	701.72	350.36	0.005355	65426.78	9814018
			E ponderado	55637.46 (kN/m2)		

Nota. Ver al final del Anexo A7 para procedimiento de obtención de E50.

Tabla 28

Obtención de Modulo de Elasticidad Ponderado Para M4, M1 y M6

Módulo de Elasticidad Ponderado para Ensayos CON Carga - Descarga						
	σ3 Conf. (kPa)	**σmax (kPa)**	**σmax/2 (kPa)**	**$\varepsilon_{50\%}$**	**E50 (kN/m2)**	**E50* σ3 Conf.**
Muestra M4	50	460.24	230.12	0.0064045	35930.90	1796545
Muestra M1	89	562.46	281.23	0.0060950	46141.27	4106573
Muestra M6	150	701.86	350.93	0.00577	60819.74	9122961
			E ponderado	51993.35 (kN/m2)		

Nota. Ver al final del Anexo A8 para procedimiento de obtención de E50.

5.1.5 Parámetro de la Relación de Poisson

De acuerdo a lo descrito en la sección 2.10.1 y a la figura 31, la relación de Poisson es la relación entre la deformación axial y la deformación lateral, esta puede hallarse a través de las curvas de variación volumétrica vs deformación unitaria usando la ecuación (5.4) donde $\frac{Ev}{Ex}$ es la pendiente desde el punto inicial de la curva de variación volumétrica hasta el valor más bajo de la curva como muestra la figura 31.

$$v = \frac{1}{2} * (1 - \frac{Ev}{Ex}) \tag{5.4}$$

Así, aplicando la ecuación a las figuras 68 y 71 se obtiene la **tabla 29** para los valores de la relación de Poisson de las curvas de variación volumétrica vs deformación unitaria, se debe recalcar que Plaxis recibe un set de parámetros de Mohr Coulomb, por lo tanto, los valores a usar será los valores promedio para cada tipo de ensayo.

Tabla 29

Obtención del Parámetro de Relación de Poisson

Parámetro de Relación de Poisson			
Tipo de Ensayo	**Muestras**	**Relación de Poisson**	**Valor Promedio**
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3 (50kPa)	0.1399	0.1317
	M2 (89kPa)	0.1526	
	M5 (150kPa)	0.1024	
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4 (50kPa)	0.1118	0.129
	M1 (89kPa)	0.1548	
	M6 (150kPa)	0.1204	

Nota. Ver final de Anexo A7 y A8 para detalles de obtención.

Con todos los parámetros obtenidos anteriormente, tendremos como resumen la **tabla 30** en el cual se ven los parámetros que serán subidos al Plaxis para la simulación de las curvas esfuerzo – deformación experimentales usando el modelo de Mohr Coulomb.

Tabla 30

Parámetros de Mohr Coulomb para subir a Plaxis

Parámetros de Mohr Coulomb para subir a PLAXIS		
Parámetros de Mohr Coulomb	Ensayo **SIN** Carga – Descarga M3 - M2 - M5	Ensayo **CON** Carga – Descarga M4 - M1 - M6
Cohesión *C* (kPa)	92.85	92.93
Angulo de Fricción φ (°)	33.09°	33.10°
Angulo de Dilatancia (ψ) (°)	17.767°	16.153°
Módulo de Elasticidad (*E*) (kN/m2)	55637.46	51993.35
Relación de Poisson (*v)*	0.1317	0.129

5.2 Obtención de Parámetros para el Modelo de Hardening Soil.

En la sección 2.10.2 se hizo una descripción del modelo y sus parámetros que lo conforman, los cuales son los Parámetros de Resistencia, Parámetros de Rigidez y Parámetros Avanzados los cuales son mostrados en la **tabla 31** para su entendimiento.

Algunos parámetros del modelo son los mismos hallados para el Modelo de Mohr Coulomb como el ángulo de fricción y la Cohesión. Para el caso del Módulo de Elasticidad se usó el dado como el de referencia que está relacionado a la presión de referencia de 100kPa, tanto de la misma manera para el Módulo Edométrico como para el Módulo de Rigidez de carga y descarga en el cual para hallarlos usaremos las recomendaciones de Plaxis.

Adicionalmente para nuestro caso usaremos los ángulos de dilatancia hallados en la tabla 26.

Tabla 31

Parámetros a obtener para la aplicación del Modelo de Hardening Soil.

Parámetros de Hardening Soil	Descripción de Parámetro
C	Cohesión
ϕ	Ángulo de Fricción
ψ	Ángulo de Dilatancia
E_{50}^{Ref}	Módulo de rigidez secante de Referencia
E_{oed}^{Ref}	Módulo de rigidez edométrico de Referencia
E_{ur}^{Ref}	Módulo de rigidez de carga-descarga de Referencia
m	Dependencia de rigidez de estado de esfuerzos
Vur	Relación de Poisson de carga - descarga
$Pref$	Presión de Referencia
K_0^{nc}	Coeficiente de Presión Lateral
Rf	Relación de falla (Por defecto)

Nota. Material Models Manual 2D (Plaxis) (2023a, pp. 73 - 74).

5.2.1 Parámetro de la Cohesión (C)

Este parámetro es el mismo que fue hallado en la tabla 24 tanto para los ensayos SIN carga y descarga como para los ensayos CON carga y descarga (Ver **tabla 24**).

5.2.2 Parámetro del Angulo de Fricción (φ)

Este parámetro es el mismo que fue hallado en la tabla 25 tanto para los ensayos SIN carga y descarga como para los ensayos CON carga y descarga (Ver **tabla 25**).

5.2.3 Parámetro del Angulo de Dilatancia (ψ)

Este parámetro es el mismo que fue hallado en la tabla 26 tanto para los ensayos SIN carga y descarga como para los ensayos CON carga y descarga. (Ver **tabla 26**).

5.2.4 Parámetro del Módulo de Rigidez Secante de Referencia (E_{50}^{Ref}), Parámetro de Dependencia de Rigidez de Estado de Esfuerzos (m) y Presión de Referencia (Pref).

Para este caso se hizo una regresión lineal de los valores de la ecuación (5.5) que ya fue dada en la sección 2.10.2, sin embargo, lo especificaremos aquí para su entendimiento, dando así la ecuación (5.6) para el uso de regresión lineal y hallar los valores de "a" y "m".

$$E_{50} = E_{50}^{Ref} * (\frac{c*\cos(\emptyset)+\sigma'_3*\sin(\emptyset)}{c*\cos(\emptyset)+p^{ref}*\sin(\emptyset)})^m \quad ; \quad donde\ E_{50}^{Ref} = a(P_{ref})^m \tag{5.5}$$

$$E_{50} = a * (P_{ref} * \frac{c*\cos(\emptyset)+\sigma'_3*\sin(\emptyset)}{c*\cos(\emptyset)+p^{ref}*\sin(\emptyset)})^m = a * (M')^m \tag{5.6}$$

En la **tabla 32** se puede ver el proceso de obtención de los valores "a" y "m", para una ***Presión de Referencia de 100 kPa***, esta presión según la experiencia da un mejor ajuste para la calibración de modelos constitutivos. Para ambos tipos de ensayo usando la ecuación (5.6).

Tabla 32

Proceso para hacer la Regresión lineal de LN(M') y LN(E50)

Tipo de Ensayo	**Muestra**	**σ3 (kPa)**	**M'**	**E50 (kPa)**	**LN (M')**	**LN (E50)**
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3	50	453.06	46088.75	6.116	10.738
	M2	89	544.85	44503.046	6.301	10.703
	M5	150	688.43	65426.78	6.534	11.089
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4	50	452.49	35930.90	6.115	10.489
	M1	89	544.138	46.141.27	6.229	10.739
	M6	150	687.48	60819.74	6.533	11.016

Por lo tanto, a través de una regresión lineal del LN(M') y LN (E50) se obtienen los valores de a' y b' dando así los valores de "a" y "m" usando las ecuaciones (5.7) y (5.8), obteniendo la **tabla 33**:

$$a = e^{a'} \tag{5.7}$$

$$m = b' \tag{5.8}$$

Tabla 33

Proceso de Obtención de los valores de "a" y "m"

Obtención de los Valores de “a” y “m”					
Tipo de Ensayo	**Muestra**	**a’**	**b’**	**a**	**m**
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3 M2 M5	5.3294	0.8729	206.32	0.8729
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4 M1 M6	2.8224	1.2594	16.82	1.2549

Una vez obtenido estos valores “a” y “m”, obtendremos el valor del Módulo de Rigidez Secante de Referencia E_{50}^{Ref} que ya fue dado en la ecuación (5.5) para una P_{ref}=100 kPa, obteniendo la **tabla 34**:

Tabla 34

Obtención de los parámetros de E_{50}^{Ref}, “m” y Pref.

Parámetros de E_{50}^{Ref} y “m”				
Tipo de Ensayo	**Muestra**	P_{ref} (kPa)	m	E_{50}^{Ref} **(kN/m2)**
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3 M2 M5	100	0.8729	11489.84
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4 M1 M6	100	1.2549*	5440.35

*Se debe aclarar que PLAXIS solo permite valores de “m” hasta la unidad, por lo tanto, para el tipo de ensayo CON carga – descarga se pondrá el valor de *m=1*, esto hará que algunos valores de otros parámetros tendrán que ponerse en función de ese valor de m.

5.2.5 Parámetros de Módulo de Rigidez Edométrico de Referencia (E_{oed}^{Ref}) y Módulo de Rigidez de Carga - Descarga de Referencia E_{ur}^{Ref}.

Siguiendo las recomendaciones (Plaxis, 2023a; Hernández et al., 2021) en vez de las ecuaciones (2.28) y (2.29) donde estos últimos muestran la relación entre el Módulo de rigidez Edométrico de Referencia y Módulo de rigidez de Carga - Descarga de Referencia con la cohesión, ángulo de fricción, presión de referencia y el confinamiento efectivo, se puede usar la ecuación (5.9) para hallar $\boldsymbol{E_{oed}^{Ref}}$ y $\boldsymbol{E_{ur}^{Ref}}$.

$$E_{oed}^{Ref} = E_{50}^{Ref} \quad ; \quad E_{ur}^{Ref} = 3 * E_{50}^{Ref} \tag{5.9}$$

Por lo tanto, tendremos la **tabla 35** para ambos tipos de ensayos, obteniendo:

Tabla 35

Obtención de Parámetros de E_{50}^{Ref} y E_{ur}^{Ref}

Parámetros de E_{50}^{Ref} y E_{ur}^{Ref}				
Tipo de Ensayo	**Muestra**	$\boldsymbol{E_{50}^{Ref}}$**(kN/m2)**	$\boldsymbol{E_{oed}^{Ref}}$**(kN/m2)**	$\boldsymbol{E_{ur}^{Ref}}$**(kN/m2)**
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3 M2 M5	11489.84	11489.84	34469.53
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4 M1 M6	5440.353	5440.353*	16321.059

*Para el caso del ensayo CON carga – descarga Plaxis solo permito valores máximos de $\boldsymbol{E_{oed}^{Ref}}$ igual a 4020, por lo tanto, al subir los valores al plaxis se debe ingresar el valor de 4020.

Los casos (*), son debido a la curva pico de las curvas de laboratorio y a la naturaleza hiperbólica del modelo, por lo tanto, ambas situaciones se afectan mutuamente, por ejemplo, a medida que aumente la deformación, la curva del modelo no lograra llegar al esfuerzo pico

a la misma deformación debido al crecimiento hiperbólico progresivo que ofrece el modelo, esto hará que se tengan valores límites para ser usado en el modelo.

5.2.6 Parámetro de la Relación de Poisson (Vur).

Este parámetro puede ser usado por defecto de acuerdo al manual de Modelos de Plaxis (*Vur=0.2*), tanto para los ensayos SIN carga y descarga como para los ensayos CON carga y descarga (Plaxis, 2023a; Wu y Yu Tung, 2019).

5.2.7 Parámetro de la Presión Lateral de Tierra (K_0^{nc}).

Plaxis (2023a) nos indica que este valor está enfocado para suelos normalmente consolidados dado por la ecuación (5.10):

$$K_0^{nc} = 1 - sen(\varphi) \quad ; \quad \varphi : Ángulo\ de\ Fricción \tag{5.10}$$

Por lo tanto, al ingresar el valor del ángulo de fricción al Plaxis, este nos dará valores automáticos de K_0^{nc}, como se ve en la **tabla 36**:

Tabla 36

Obtención del Parámetro de K_0^{nc}

Parámetro de Presión Lateral K_0^{nc}			
Tipo de Ensayo	**Muestra**	**Angulo de Fricción φ**	**K_0^{nc}**
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3 M2 M5	33.09°	0.4540
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4 M1 M6	33.10°	0.4539

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el suelo estudiado en esta investigación es arcilla de condición sobre consolidada OCR>1.

5.2.8 Parámetro de Relación de Falla R_f

Este parámetro Rf es la relación entre el esfuerzo máximo de falla con el esfuerzo asintótico que se presenta en el comportamiento del suelo al final de la curva esfuerzo – deformación como se presentó en la figura 32.

Sin embargo (Plaxis, 2023a; Wu y Yu Tung, 2019) se recomienda un valor por defecto de 0.9, donde usando la ecuación (2.26) con los valores de cohesión, ángulos de fricción y esfuerzos de confinamiento anteriormente obtenidos se obtiene la **tabla 37** para los valores de qf y qa para cada tipo de ensayo.

Tabla 37

Parámetro de Relación de Falla Rf=0.9

Tipo de Ensayo	Muestra	σ'_3	qf	Rf	qa
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3	50	462.90	0.9	514.33
	M2	89	556.69		618.55
	M5	150	703.39		781.54
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4	50	463.34	0.9	514.82
	M1	89	557.18		619.09
	M6	150	703.97		782.18

Con respecto a Rf este parámetro esta más relacionado a los suelos normalmente consolidados por su tendencia a un valor asintótico a grandes deformaciones (ver figura 32), por lo que para nuestro suelo arcilloso sobre consolidado no toma relevancia ya que con respecto a las figuras 67 y 70 las curvas antes de la falla del esfuerzo máximo no toman un comportamiento hiperbólico que es la base del modelo de Hardening Soil, he ahí la razón del valor de qa alejado del valor de qf en la **tabla 37**. Sin embargo, usaremos el valor que recomienda Plaxis de ***Rf=0.9.***

Por lo tanto, con todos los parámetros obtenidos anteriormente tendremos la **tabla 38**, el cual muestra los parámetros del Modelo de Hardening Soil que se subirá al software Plaxis.

Tabla 38

Parámetros de Hardening Soil para subir a Plaxis

Parámetros de Hardening Soil para subir a Plaxis			
Parámetros de Hardening Soil	**Descripción de Parámetro**	Ensayo **SIN** Carga – Descarga **M3 - M2 - M5**	Ensayo **CON** Carga – Descarga **M4 – M1 – M6**
C	Cohesión (kPa)	92.85	92.93
ϕ	Angulo de Fricción (°)	33.09°	33.10°
ψ	Angulo de Dilatancia (°)	17.767°	16.153°
E_{50}^{Ref}	Módulo de rigidez secante de Referencia (kN/m2)	11489.84	5440.35
E_{oed}^{Ref}	Módulo de rigidez edométrico de Referencia (kN/m2)	11489.84	4020
E_{ur}^{Ref}	Módulo de rigidez de carga-descarga de Referencia (kN/m2)	34469.53	16321.059
m	Dependencia de rigidez de estado de esfuerzos	0.8729	1.0
Vur	Relación de Poisson	0.2	0.2
$Pref$	Presión de Referencia (kPa)	100	100
K_0^{nc}	Coeficiente de Presión Lateral	0.4540	0.4539
Rf	Relación de falla (Por defecto)	0.9	0.9

Se debe tener en cuenta que como se está usando los parámetros de corte para el esfuerzo máximo pico de las curvas, entonces el modelo de Hardening simulara para el esfuerzo máximo desviador y no para el esfuerzo residual.

5.3 Obtención de Parámetros para el modelo Cam Clay – Modificado.

De acuerdo a lo comentado en las secciones 2.5 y 2.10.3 este modelo está basado en la teoría del estado crítico y a diferencia de los otros modelos este usa los parámetros de comprensibilidad hallado en el ensayo de consolidación unidimensional en un plano e vs Ln(σ'). En la **tabla 39** reiteramos los parámetros que se necesitan en el modelo de Cam Clay modificado para el programa Plaxis.

Tabla 39

Parámetros a obtener para la aplicación del Modelo de Cam Clay Modificado

Parámetros de Cam Clay Modificado	Descripción de Parámetro
M	Pendiente de Lina de Estado Critico
v	Relación de Poisson
λ	Índice de compresibilidad Cam Clay
κ	Índice de recompresión de Cam Clay
e_{init}	Relación de vacíos inicial

Nota. Material Models Manual 2D (Plaxis) (2023a, pp. 96 – 97).

5.3.1 Parámetro de la Pendiente de Estado Crítico (M).

Este parámetro puede ser hallado de acuerdo a las figuras 35 (a) y 35 (b) y a la recomendación de Ayala (2013), se usan los ángulos de fricción críticos en estado residual ya que nos permite simular las curvas para la deformación del esfuerzo residual, ya que normalmente el modelo es usado para simular suelos normalmente consolidados.

Existen dos formas para hallar la pendiente de estado crítico M, la primera por medio de la ecuación (2.36) y la otra por medio de las ecuaciones (5.11) y (5.12), los cuales dan valores a partir del esfuerzo de confinamiento (σ_3) y de cada valor de esfuerzo total (σ_1) hallado para que nos de los valores de p' y q', bajo el criterio de Cambridge.

$$p' = \frac{(2*\sigma_3+\sigma_1)}{3} \tag{5.11}$$

$$q' = \sigma_1 - \sigma_3 \ ; \ q' + \sigma_3 = \sigma_1 \qquad (5.12)$$

Las figuras 67 y 70 nos muestran el comportamiento del estado de esfuerzo residual de las curvas esfuerzo – deformación para cada tipo de ensayo, así como las **figuras 73** y **74**, los cuales nos muestran los resultados al aplicar las ecuaciones (5.11) y (5.12) y la **tabla 40** para los valores residuales p' y q' que por medio de una regresión lineal podemos hallar el valor de M (para ver el detalle del cálculo de la pendiente M revisar el Anexo B3)

Tabla 40

Obtención del Parámetro de Pendiente de Línea Critico M

Tipo de Ensayo	Muestra	p' (kPa)	q' (kPa)	Pendiente M
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3	83.09	99.27	1.27897
	M2	162.00	193.53	
	M5	278.66	323.10	
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4	72.85	68.54	1.2771
	M1	142.99	161.96	
	M6	247.24	291.73	

Figura 73

Pendiente M para el ensayo SIN carga - descarga

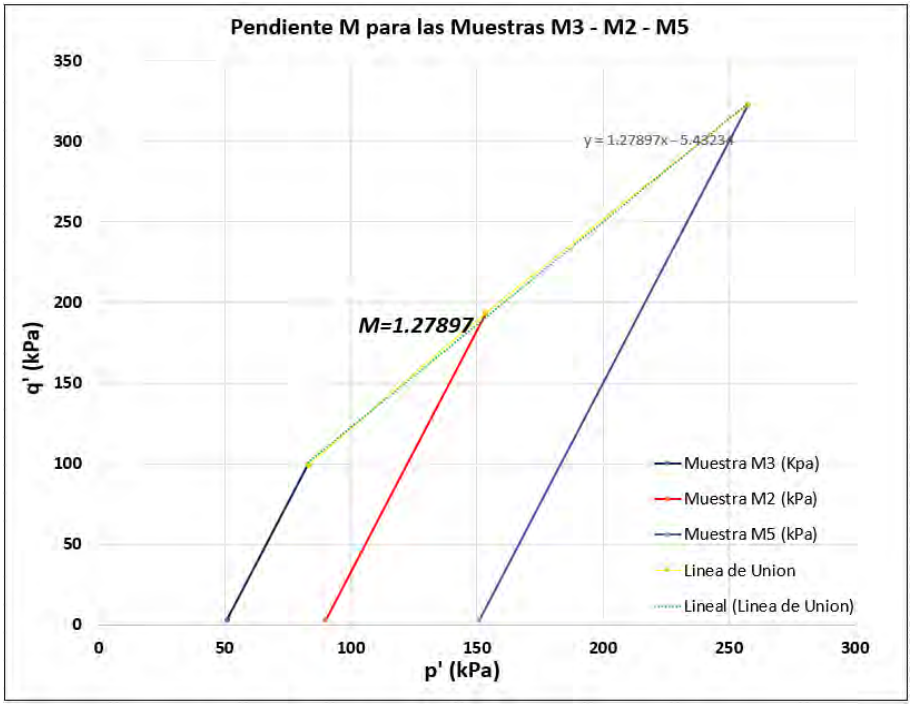
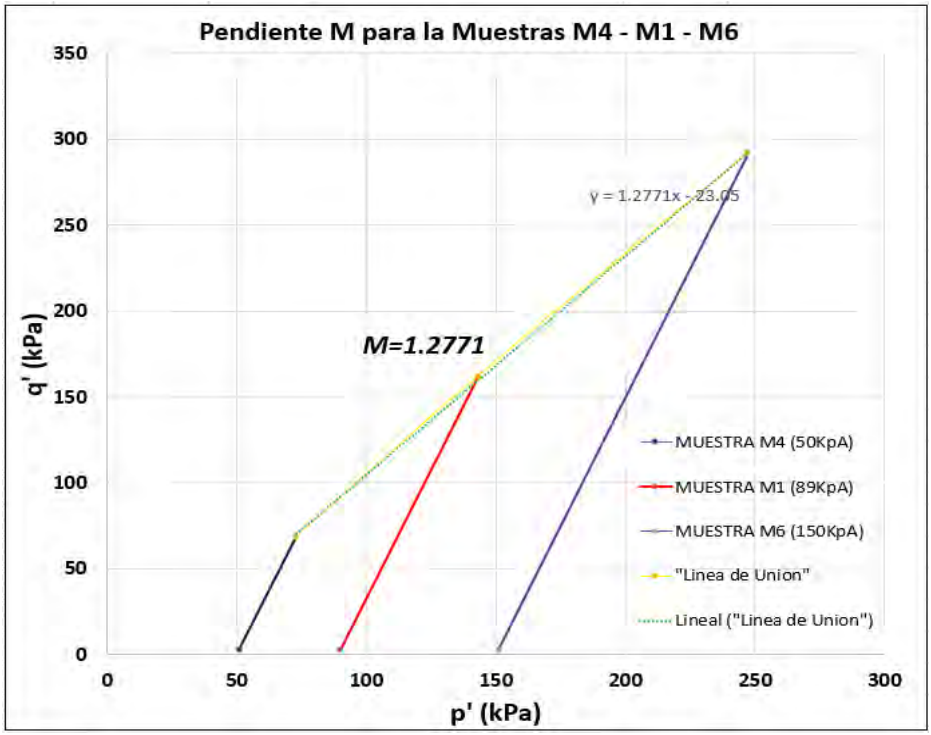


Figura 74

Pendiente M para el ensayo CON carga - descarga



5.3.2 Parámetro de Relación de Poisson (v).

Este parámetro ya fue hallado en los anteriores modelos constitutivos y la metodología para su obtención es la misma, por lo tanto, para los ensayos SIN carga y descarga como para los ensayos CON carga y descarga se usará nuevamente la tabla 29 (Ver **tabla 29**).

5.3.3 Parámetros de Compresibilidad Cam Clay Modificado para λ y κ.

Estos parámetros ya fueron descritos en las secciones 2.5 y 2.10.3 los cuales pueden hallarse en un plano e vs Ln(σ), o a través de los parámetros de compresibilidad obtenidos de un ensayo de Consolidación Unidimensional, el índice de compresión e índice de Expansión (Cc y Cs).

Los valores de Cc y Cs ya fueron obtenidos en las ecuaciones (4.20) y (4.21) del ensayo de consolidación unidimensional, por lo tanto, los valores de λ y κ, de acuerdo a la sección 2.10.3, serán obtenidas usando las ecuaciones (2.37) y (2.38) y se muestran en la

tabla 41 que serán usados para simular las curvas esfuerzo - deformación tanto para los ensayos SIN carga y descarga como para los ensayos CON carga y descarga.

Tabla 41

Obtención de Parámetros λ y κ

Parámetros λ y κ		
Descripción	Ensayo **SIN** Carga – Descarga M3 - M2 - M5	Ensayo **CON** Carga – Descarga M4 - M1 - M6
Índice de Compresión *Cc*	0.05891	
Índice de Expansión Cs	0.02058	
Índice de compresibilidad Cam Clay λ	0.0256	
Índice de Expansión Cam Clay κ	0.00894	

5.3.4 Parámetro de la Relación de Vacíos Inicial.

Este parámetro fue obtenido en la sección 4.3.5 en el ensayo de consolidación Unidimensional mediante las ecuaciones (4.15) y (4.18), el cual será usado tanto para los ensayos SIN carga y descarga como para los ensayos CON carga y descarga (ver **tabla 42**).

Tabla 42

Parámetro de Relación de Vacíos Inicial

Parámetro de Relación de Vacío Inicial e_{init}		
Parámetro de Cam Clay Modificado	Ensayo **SIN** Carga – Descarga M3 - M2 - M5	Ensayo **CON** Carga – Descarga M4 - M1 - M6
Relación de Vacíos Inicial e_0	**0.7615**	

Por lo tanto, los parámetros del Modelo Cam Clay Modificado a usar para su ingreso al Plaxis serán los mostrados en la **tabla 43**.

Tabla 43

Parámetros de Cam Clay Modificado para subir a Plaxis

Parámetros de Cam Clay Modificado para subir a PLAXIS		
Parámetros de Cam Clay Modificado	Ensayo **SIN** Carga – Descarga M3 - M2 - M5	Ensayo **CON** Carga – Descarga M4 - M1 - M6
Pendiente de Estado Crítico (M)	1.27897	1.2771
Relación de Poisson (v)	0.1317	0.129
Índice de Compresibilidad Cam Clay (λ)	0.0256	
Índice de Expansión Cam Clay (κ)	0.00894	
Relación de Vacíos Inicial (e_{init})	0.7615	

5.4 Obtención de Parámetros para el modelo de Hipoplasticidad.

De acuerdo a lo mencionado en la sección 2.10.4 este modelo no necesita de una superficie de fluencia y puede simular tanto suelos granulares como suelos arcillosos (con sus respetivos parámetros), y usaremos los parámetros del modelo básico para arcillas dado en la tabla 6, el cual lo volvemos a reiterar en la **tabla 44** para un mejor entendimiento.

Antes de aplicar lo mencionado anteriormente se debe aclarar que dentro de esta sección del modelo de la hipoplasticidad hay parámetros con un valor fijo ya obtenido por ejemplo mediante ensayos de laboratorio, sin embargo también hay parámetros que tienen que ser hallados por medio de un estudio paramétrico, calibración o por valores estándar dependiendo de la naturaleza de las curvas esfuerzo – deformación, tal como se menciona en la tercera columna de la **tabla 44**, esto último se verá con mucho mas detalla en la sección 5.5 donde se tendrá que usar la herramienta Soil Test de Plaxis para la obtención de estos parámetros faltantes.

Tabla 44

Parámetros a obtener para la aplicación del Modelo de la Hipoplasticidad

Parámetros del Modelo de la Hipoplasticidad	**Descripción**	**Método de Obtención**
φ_c	Ángulo de Fricción Crítico	Por ensayo de Laboratorio
λ^*	Índice de compresibilidad Hipoplasticidad	Por ensayo de Laboratorio
κ^*	Índice de expansión Hipoplasticidad	Por ensayo de Laboratorio
N	Origen de la Línea de Consolidación Normal	Por ensayo de Laboratorio
r	Relación del módulo de Corte y Bulk	Obtenido por estudio paramétrico o calibración
R	Margen de Deformación Elástica Intergranular	Obtenido por estudio paramétrico o calibración
m_R , m_T	Determinan el módulo de corte al cambio de ruta de carga meridial	Obtenido por calibración o estudio paramétrico
β_r , X	Determinan la tasa de rigidez en tensión cortante	Obtenido por estudio paramétrico o calibración
e_{init}	Relación de vacíos inicial	Por ensayo de Laboratorio

Nota. fine (s.f.)

Por lo tanto, a continuación, describiremos la obtención de los parámetros fijos obtenidos de laboratorio los cuales son:

5.4.1 Parámetros de Angulo de Fricción Critico (φ_c) y Desplazamiento del esfuerzo medio por la cohesión (p_t) .

Según Hernández (2018) y Ayala (2013) el ángulo de fricción critico a usar en este modelo es el ángulo de resistencia residual que es obtenido de los ensayos de corte triaxiales, esto tiene sentido porque se simulará toda la curva esfuerzo – deformación experimental.

Según Masín (2017) para el valor de el desplazamiento del esfuerzo medio por la cohesión p_t, este valor es dado por defecto y es de 1kPa.

Por lo tanto, para nuestra investigación se usaron los valores de ángulo de fricción residual obtenidos en las tablas 19 y 22 para los ensayos de corte triaxiales SIN carga – descarga y CON carga – descarga, respectivamente,

En las **figuras 75** y **figura 76** se puede observar la envolvente de falla para la obtención de los parámetros de corte residuales.

Figura 75

Envolvente de Falla para la Obtención de los Parámetros de Corte residuales para las Muestras M3, M2 y M5 (SIN carga – descarga).

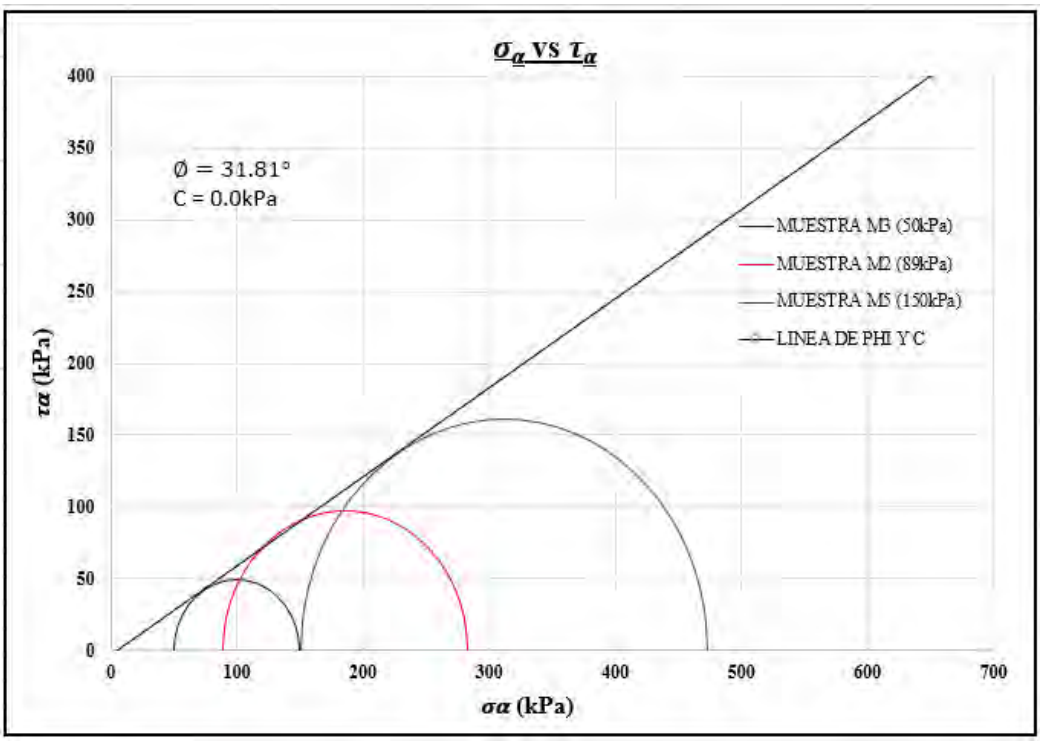
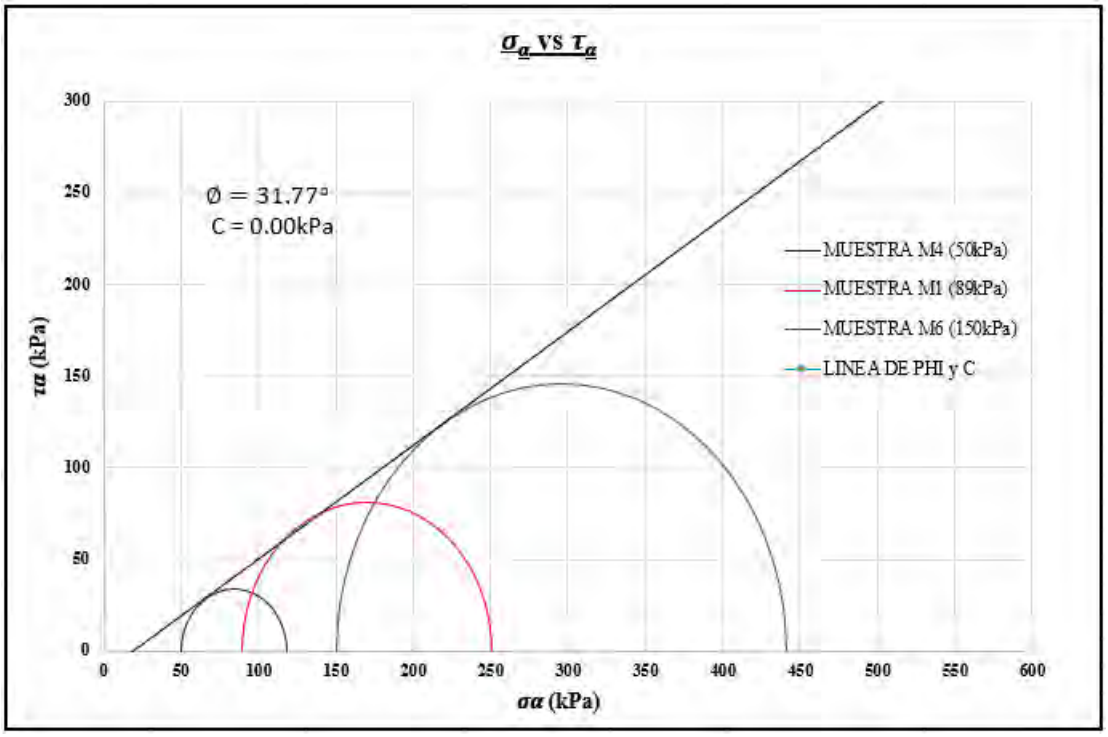


Figura 76

Envolvente de Falla para la Obtención de los Parámetros de Corte residuales para las Muestras M4, M1 y M6 (CON carga – descarga).



Ya obtenidos los valores anteriormente descritos tendremos la **tabla 45** para el parámetro de ángulo de fricción crítico y para el valor de p_t=1kPa.

Tabla 45

Angulo de Fricción Critico y Pt

Parámetro	Ensayo **SIN** Carga – Descarga M3 - M2 - M5	Ensayo **CON** Carga – Descarga M4 - M1 - M6
Angulo de Fricción Crítico φ_c	31.81°	31.77°
Valor de p_t	*1 kPa*	

5.4.2 Parámetros de Índice de compresibilidad (λ^*) y Expansión (κ^*) de la Hipoplasticidad y Origen de la Línea de Consolidación Normal (N).

Como se comentó en la sección 2.10.4 estos parámetros son obtenidos primeramente haciendo un ensayo de consolidación unidimensional, una vez así se cambian los valores de log (σ) vs *e* a los ejes de coordenadas a Ln (σ) vs Ln (1+e), respectivamente, tal como se muestra en la figura 37.

Por lo tanto, transformando los valores de la tabla 16 a Ln (σ) vs Ln (1+e), se obtiene la **tabla 46**, donde se debe tener en cuenta que no existen logaritmos naturales de cero (simbolizado con un "- ").

Tabla 46

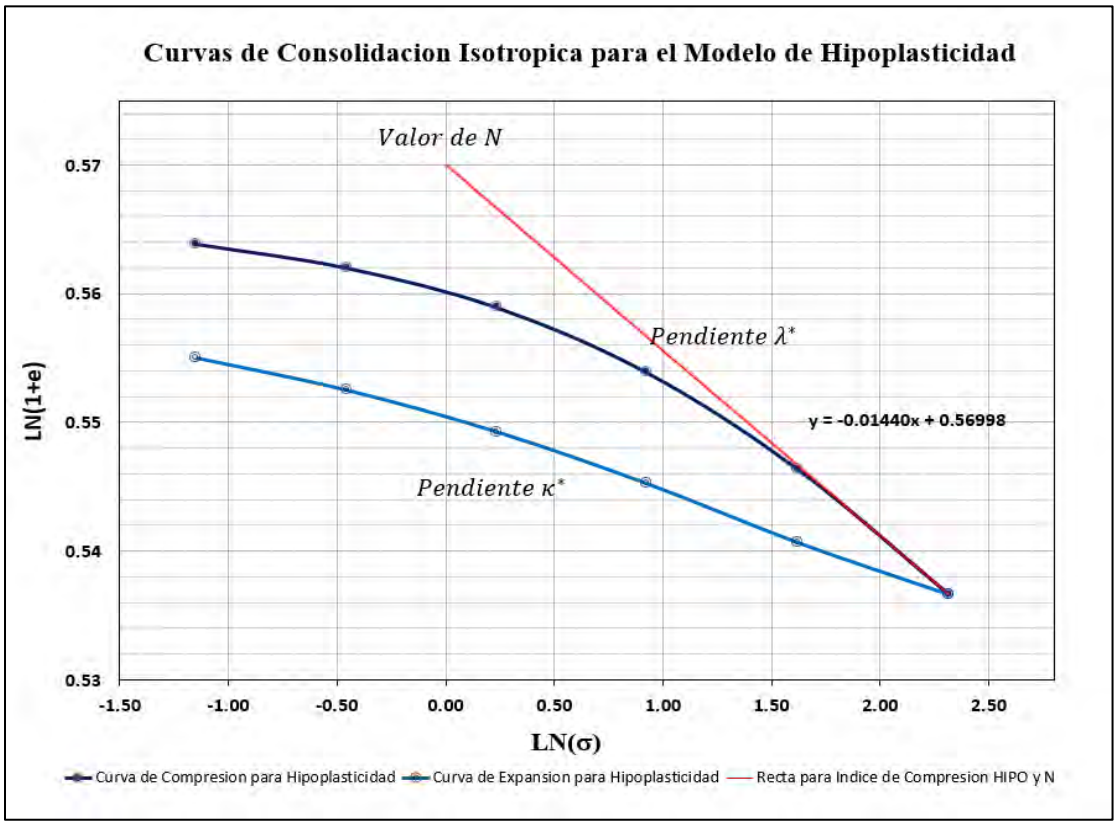
Valores de Ln (σ) vs Ln (1+e)

Ln (P)	Ln (1+e)
-	0.566
-1.151	0.564
-0.456	0.562
0.234	0.559
0.927	0.554
1.6199	0.546
2.314	0.537
1.6199	0.541
0.927	0.545
0.234	0.549
-0.456	0.5525
-1.151	0.555
-	0.55997

Así con los valores de la tabla 46 se obtiene la **figura 77**, dentro del cual para obtener los parámetros de (λ^*) y (κ^*) se deben hallar las pendientes de las curvas de compresión y de Expansión de hipoplasticidad.

Figura 77

Curvas de Compresibilidad y Expansión para Hipoplasticidad



Nota. Para más detalle para la obtención de los parámetros ver el Anexo B4.

Se hace uso de la ecuación (5.13) donde se muestra también el valor de *N*:

$$Ln(1+e) = N - \lambda^* * Ln(\sigma) \tag{5.13}$$

Entonces para hallar (λ^*) y *N* se debe hacer una regresión lineal que pase por la parte recta de la línea de Compresión de Hipoplasticidad (Línea Azul, figura 77), así obtenemos la ecuación (5.14) de la línea de regresión lineal (Línea Roja):

$$y = -0.01440x + 0.56998 \tag{5.14}$$

Así, al comparar las ecuaciones (5.13) y (5.14) obtenemos los valores de (λ^*) y *N*:

$$\lambda^* = 0.0144 \tag{5.15}$$

$$N = 0.56998 \tag{5.16}$$

Para el valor de (κ^*) se usa los valores de la tabla 46 para la pendiente de línea de Expansión de Hipoplasticidad (Línea Celeste, figura 77), (Ver Anexo B4), obteniendo su valor dado en la ecuación (5.17):

$$\kappa^* = 0.005168 \tag{5.17}$$

Por lo tanto, tendremos la tabla 47 para los parámetros de (λ^*), (κ^*) y N para ambos tipos de ensayos triaxiales:

Tabla 47

Parámetros de (λ^*), (κ^*) y N

Parámetros	Ensayo **SIN** Carga – Descarga M3 - M2 - M5	Ensayo **CON** Carga – Descarga M4 - M1 - M6
Índice de Compresibilidad de Hipoplasticidad (λ^*)	0.0144	
Índice de Expansión de Hipoplasticidad (κ^*)	0.005168	
Parámetro *N*	0.56998	

5.4.3 Parámetro de Relación de Vacíos Inicial (e_{init})

De acuerdo a Masín (2017) se puede usar el (e_{init}) o el OCR para el Modelo de la Hipoplasticidad, para este caso se escogió (e_{init}) para el modelo básico. Por lo tanto, para ambos ensayos de corte triaxial SIN carga – descarga y CON carga – descarga se usará el valor de $\mathbf{e_{init} = 0.7615}$ el cual fue ya obtenido en la ecuación (4.18) de la sección 4.3.5.

Los anteriores parámetros hallados fueron fijos, sin embargo, el modelo de la Hipoplasticidad tiene otros seis parámetros que pueden usar valores estándar o ser hallados por calibración o por estudio paramétrico:

5.4.4 Parámetros r, R, m_R , m_T, β_r , X.

Para los valores estándar se tienen , por ejemplo, valores como: $R = 10^{-4}$, $\beta_r = 0.2$, $X = 6$, m_R y m_T iguales, o con proporción de hasta 2:1, con valores de hasta 20, y de *r* puede ser obtenido por un estudio paramétrico para calibración, sin embargo debido a la naturaleza del comportamiento del suelo se menciona que para la obtención de valores precisos de estos parámetros se pueden hacer un estudio paramétrico, calibración o hacer distintas iteraciones entre ellas para que las curvas del modelo de la Hipoplasticidad se ajusten a las curvas esfuerzo – deformación experimentales de laboratorio , ya que a veces los valores estándar no entregan curvas del modelo de hipoplasticidad acorde a las curvas esfuerzo - deformación de laboratorio (fine, s.f.; Masín, 2004; Hernández, 2018; Ayala, 2013; Plaxis, 2023b).

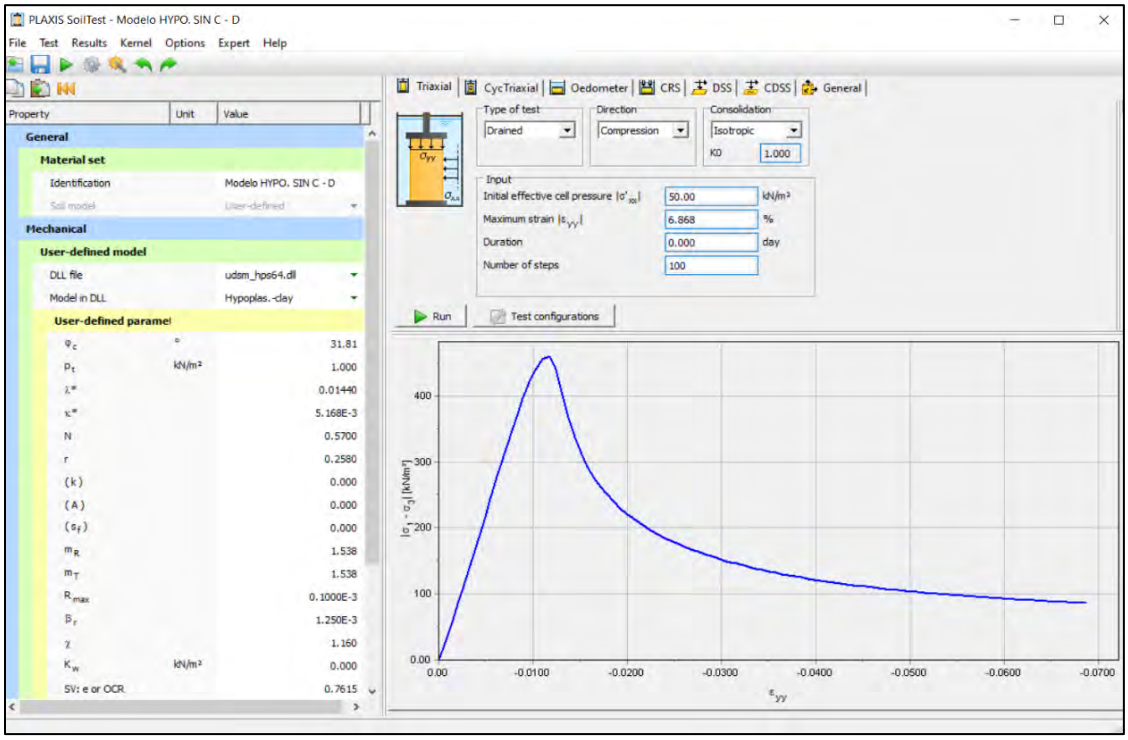
Los valores estándar anteriormente mencionados pueden ser usados como datos iniciales, sin embargo, durante nuestra investigación (como se verá en la sección 5.5) se vio que algunos de estos valores entregaban curvas del Modelo de la Hipoplasticidad muy lejanas de las curvas esfuerzo – deformaciones experimentales, por lo tanto, se tuvo que hacer varias iteraciones o calibraciones para un mejor ajuste entre curvas del modelo y de laboratorio.

Ayala (2013) nos presenta una metodología breve para obtener valores precisos de *r, R,* m_R , m_T, β_r , X. en caso se tengan que calibrar o iterar: ***1.*** Ingresamos los valores fijos, hallados anteriormente, en la pestaña de la herramienta Soil Test mostrado en la **figura 78**, **2.** Se ingresa las características iniciales y tipo de ensayo, por ejemplo, que debe ser triaxial en condición drenada, esfuerzo de confinamiento, etc. **3.** Se ingresan los valores de *r, R,* m_R , m_T, β_r , X y se realiza la simulación de la curva esfuerzo – deformación, esta se compara con los obtenidos de laboratorio, **4.** Si los resultados del modelo están lejos de las curvas de laboratorio, se realiza otra iteración o combinación de parámetros hasta que se tengan curvas de modelo ajustes a las curvas esfuerzo – deformación de laboratorio.

Para el modo de uso de la herramienta Soil test lo veremos con más detalle n la sección 5.5. En la **figura 78** se puede ver una imagen de como luce la herramienta para el modelo de la Hipoplasticidad.

Figura 78

Pestaña de Herramienta Soil Test para el Modelo de la Hipoplasticidad



Nota. Note en la imagen el tipo de ensayo a simular y el esfuerzo de confinamiento a ingresar. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis.

De esta manera podemos nosotros obtener los parámetros faltantes *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *,* X*,* para las curvas esfuerzo – deformación a través de la calibración ya mencionada, recordemos que se debe hallar un set de parámetros para simular las curvas en toda condición de carga establecida en la investigación.

Todo lo mencionado anteriormente del modelo de la hipoplasticidad se resumen en la **tabla 48** para el ingreso de los parámetros que se necesita para simular las curvas esfuerzo – deformación de laboratorio.

Tabla 48

Parámetros del Modelo de la Hipoplasticidad para subir a Plaxis

Parámetros de Hipoplasticidad para subir a PLAXIS		
Parámetros de Hipoplasticidad	Ensayo **SIN** Carga – Descarga M3 - M2 - M5	Ensayo **CON** Carga – Descarga M4 - M1 - M6
Ángulo de Fricción Critico (φ_c)	31.81°	31.77°
Valor de p_t	1 kPa	
Índice de Compresibilidad Hipoplasticidad (λ^*)	0.0144	
Índice de Expansión Hipoplasticidad (κ^*)	0.005168	
Origen de la Línea de Consolidación Normal (*N)*	0.56998	
Relación del módulo de Corte y Bulk *(r)*	Obtenido por estudio paramétrico o por calibración	
Margen de Deformación Elástica Intergranular (*R)*	Obtenido valor estándar, por estudio paramétrico o por calibración	
Módulo de corte al cambio de ruta de carga meridial (m_R , m_T)	Obtenido valor estándar, por estudio paramétrico o por calibración	
Determinan la tasa de rigidez en tensión cortante (β_r , X)	Obtenido valor estándar, por estudio paramétrico o por calibración	
Relación de vacíos inicial (e_{init})	0.7615	

5.5 Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación.

Como se mencionó en la sección 2.12 el programa a utilizar para la simulación de las curvas esfuerzo – deformación de laboratorio será el Software Plaxis 2D, el cual contiene una herramienta muy importante llamada Soil Test, que es el que usaremos principalmente para nuestra investigación, esta herramienta se complementará con el modelado axisimétrico en el plaxis 2D y con el modelado 3D en ABAQUS,

Sin embargo, aparte del Soil Test, también se pueden hacer investigaciones con modelos axisimétricos en Plaxis 2D creando un modelo de elementos finitos, esto puede hacerse por ejemplo para analizar los factores que afectan las mediciones en los ensayos triaxiales, o para los efectos de compactación en los suelos y su modelamiento, o para el análisis de suelos tratados (Du et al., 2025; Hernández et al., 2021; Lankaran et al., 2022).

En la sección 5.5.3 veremos el uso de la Herramienta Soil Test parala simulación de las curvas esfuerzo – deformaciones experimentales (principalmente también para la calibración de los parámetros).

Luego en la sección 5.5.4 haremos uso de los modelos axisimetricos para complementar a los resultados dados de la herramienta Soil Test.

Y por último, en la sección 5.5.5 haremos modelamiento 3D en el software ABAQUS para modelar de forma más precisa en tres dimensiones el comportamiento de las muestras cilíndricas que fueron ensayadas en el equipo de corte triaxial.

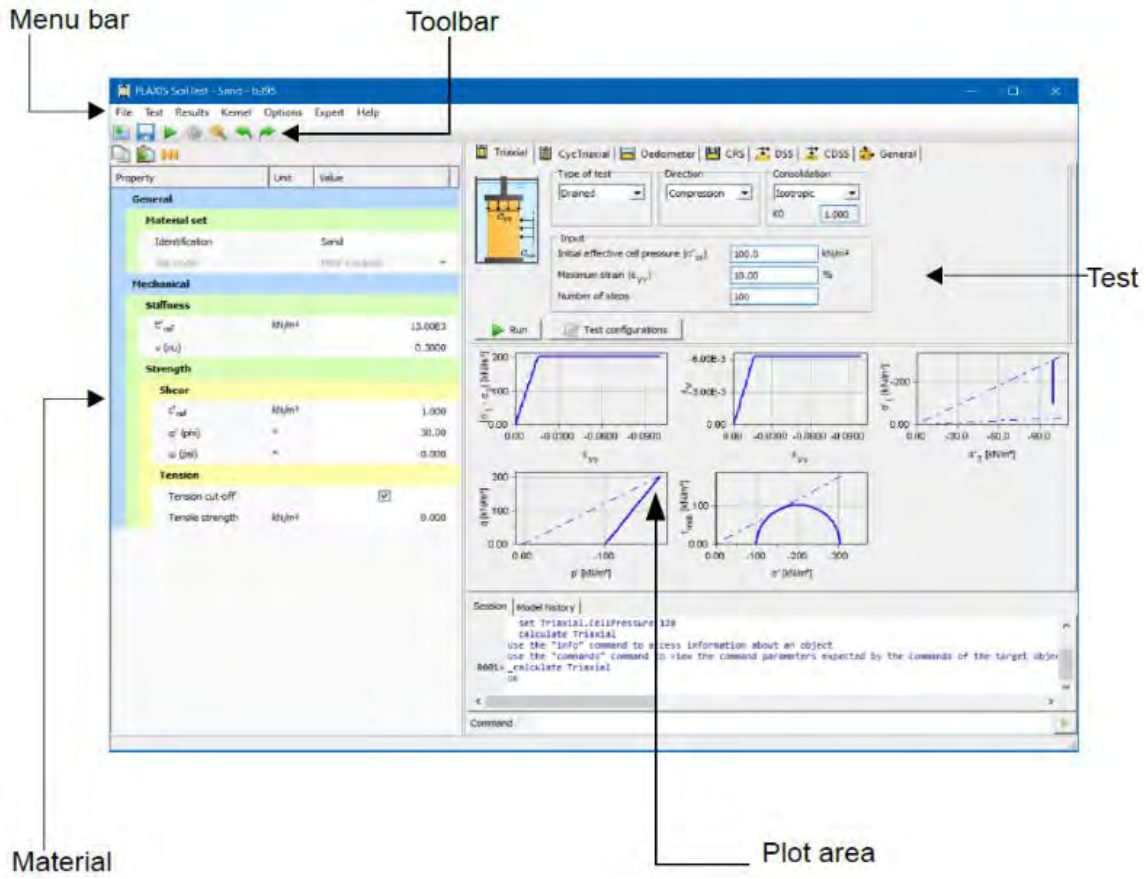
A continuación, se describen los resultados de la simulación esfuerzo – deformación de las curvas experimentales:

5.5.1 Uso de la Herramienta Soil Test de Plaxis 2D.

La Herramienta Soil Test (ver **figura 79**) permite simular varios ensayos de laboratorio a través de un algoritmo de punto único (sin necesidad de crear un modelo de elemento finito de ensayo de prueba) en el cual se calibran y mejoran los parámetros de modelos, Esta herramienta tiene varios ensayos para simular, entre los más conocidos están el Ensayo de Corte Triaxial, Ensayo Edométrico, Ensayo de Corte Directo, etc (Plaxis, 2023b).

Figura 79

Ventana de la Herramienta Soil test para un Respectivo Material



Nota. Adaptado de ***SoilTest*** *window showing drained triaxial test input* (p. 554), por Reference Manual 2D, 2023b, Plaxis.

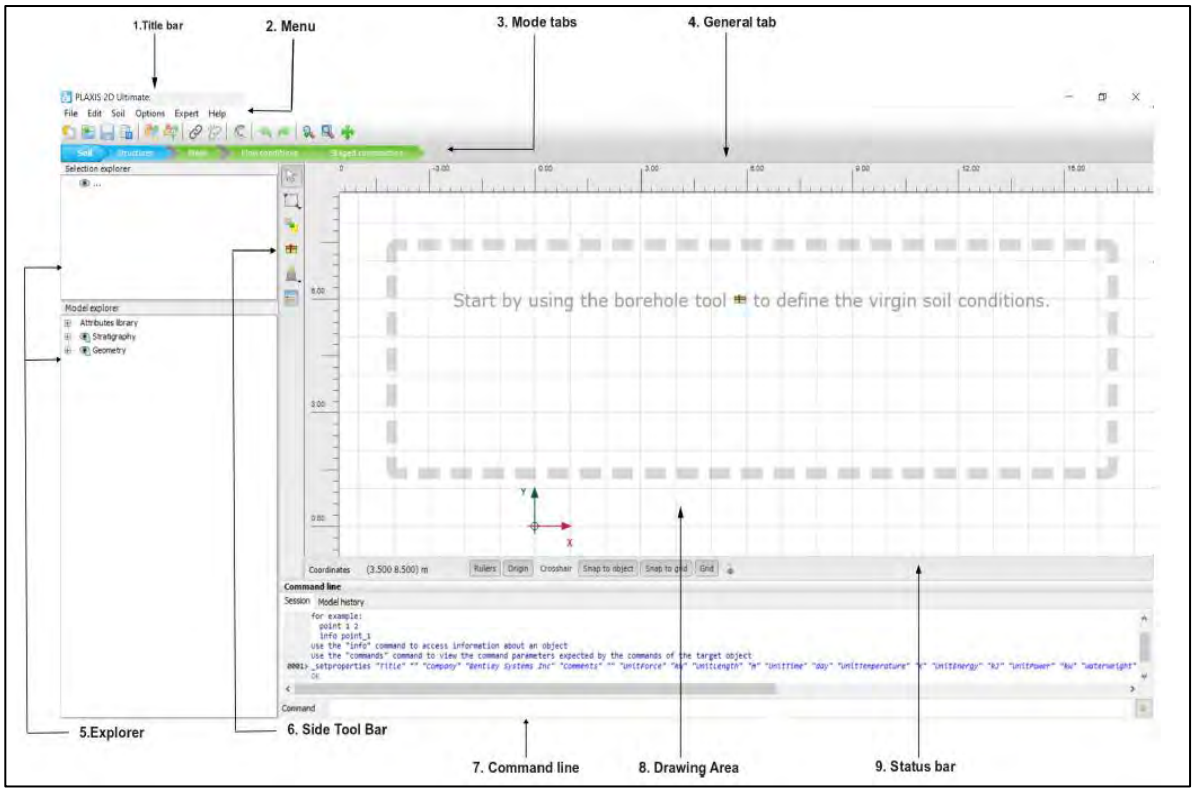
5.5.2 Procedimiento para Simulación de las curvas esfuerzo – deformación del ensayo triaxial drenado por la herramienta Soil Test.

Para simular las curvas esfuerzo – deformación experimentales de laboratorio se mostrará un procedimiento para obtener las curvas esfuerzo - deformación de los modelos constitutivos a tratar.

1. De la ventana principal del programa Plaxis Input nos dirigimos a la barra de herramientas lateral (Side tool bar) mostrado en la **figura 80**.

Figura 80

Ubicación de la barra de Herramientas Lateral (Side tool bar)

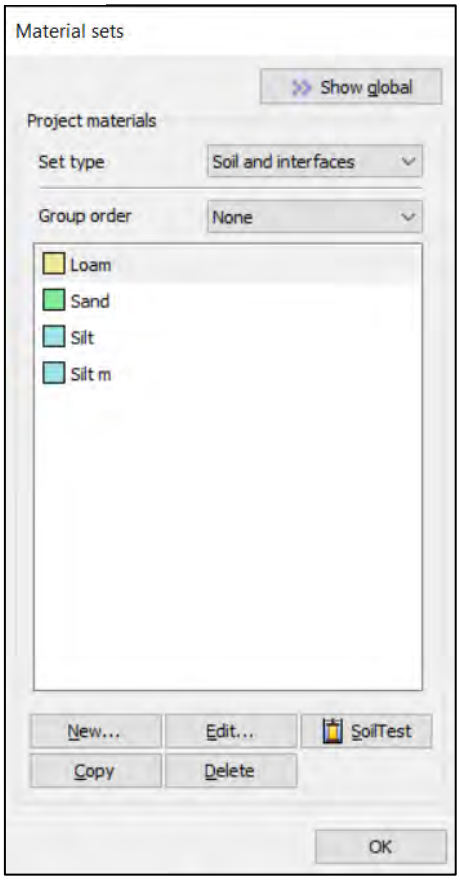


Nota. Adaptado de *Layout of the Input program* (p. 28), por Reference Manual 2D, 2023b, Plaxis.

2. Una vez ubicada la barra de herramientas se selecciona el icono *Show Materiales* mostrándose la ventana *Material Sets* como se muestra en la **figura 81**, dentro del cual se observa los iconos de *New* y *Soil Test*.

Figura 81

Ventana de Material Sets



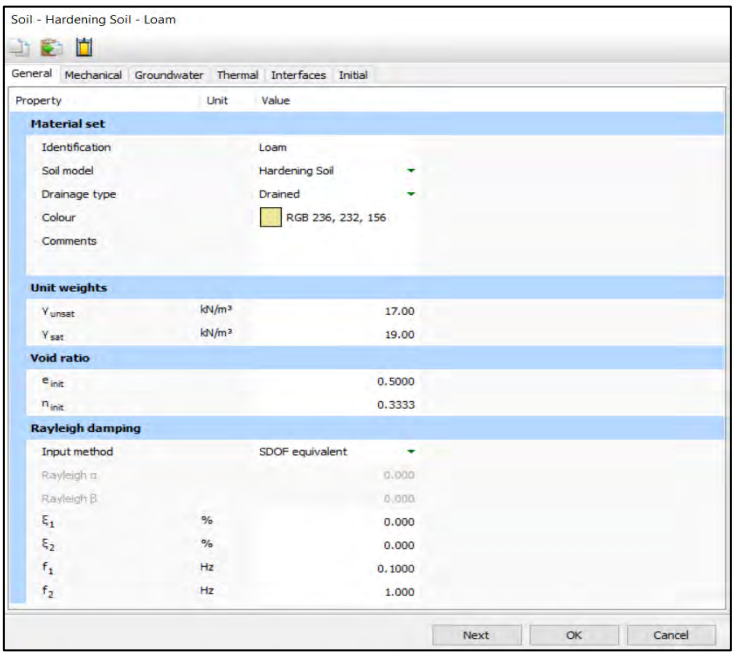
Nota. Ventana de *Material Sets*, note el icono de la herramienta Soil Test en parte inferior derecha de la figura. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis.

3. Luego ponemos click en el botón *New* y se creará una ventana mostrada en la **figura 82** para crear un material ya sea con un nombre de Loam, Sand, Silt o u otro que sea apropiado junto con su respectivo modelo constitutivo en la opción *Soil Model* y el tipo de drenaje en la opción *Drainage Type*.

4. Seleccionamos la pestaña *Mechanical* que es en el cual ingresaremos los parámetros del modelo constitutivo seleccionado (por ejemplo, los parámetros hallados en las secciones 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4), mostrado en la **figura 83**. Es importante mencionar que los demás valores a ingresar en las demás pestañas de la figura 83 son los hallados en la sección 4.3 obtenidos de los ensayos de laboratorio y algunos hallados en las secciones 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4.

Figura 82

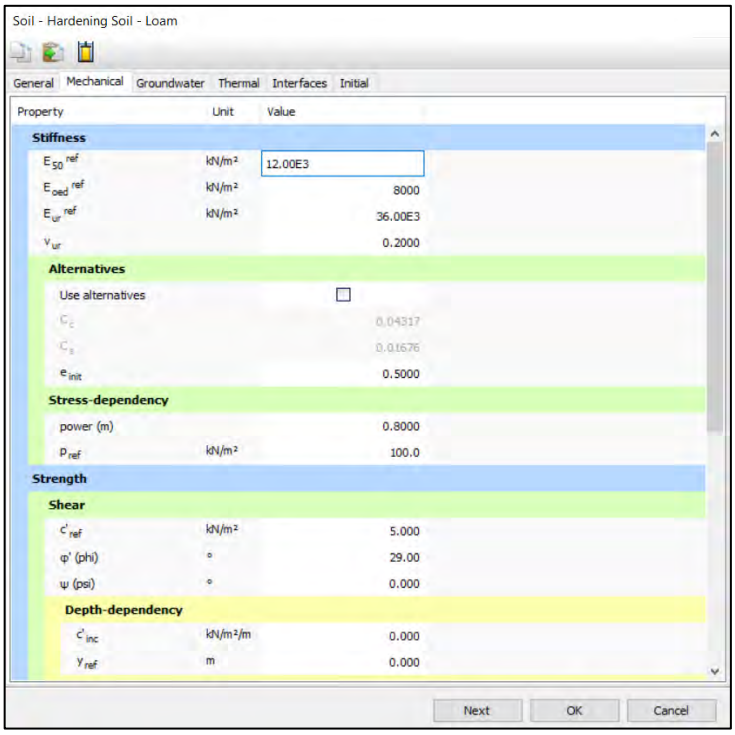
Ventana de - Soil – para el ingreso del modelo a usar y propiedades del material a tratar.



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis.

Figura 83

Ingreso de parámetros de Modelo Constitutivo a tratar.

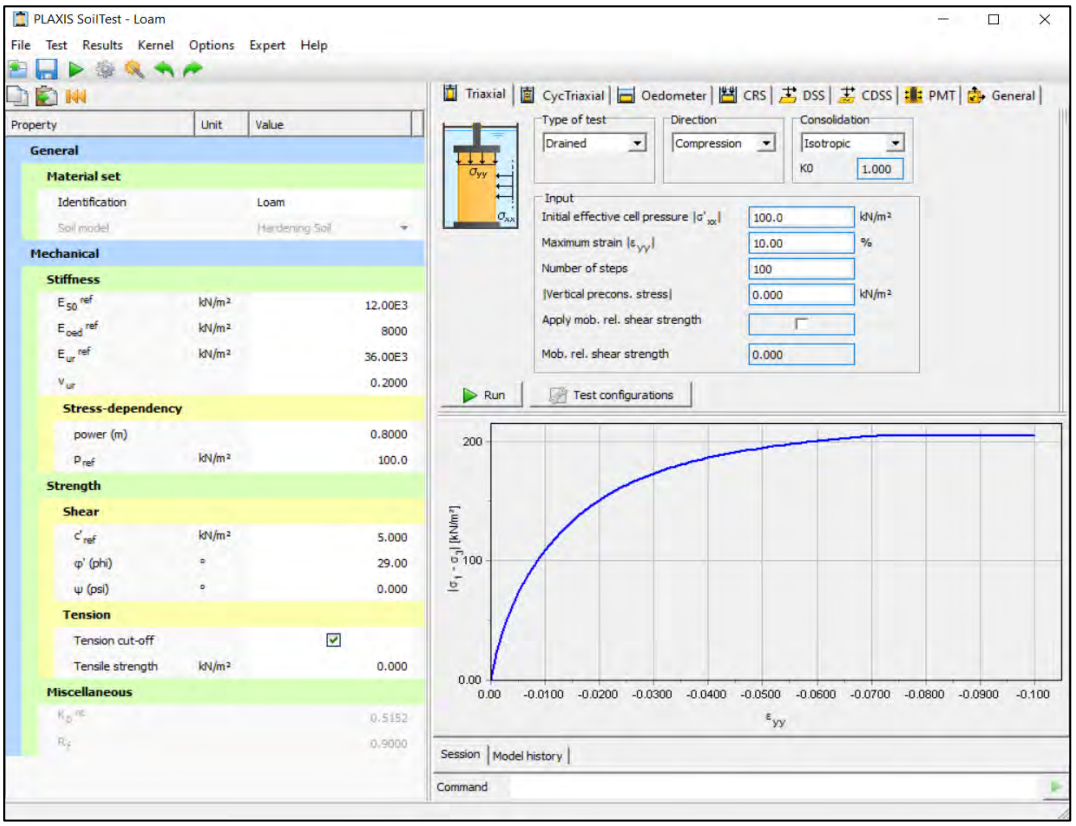


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis

5. Al ingresar todos los datos necesarios, la opción o icono de la herramienta Soil Test será activada, y para su ingreso se hará click en el icono ubicado en la parte inferior derecha de la figura 81 o en la parte superior izquierda de la figura 83, simbolizado con una pequeña cámara triaxial con una muestra. Se mostrará una ventana representada por la **figura 84**.

Figura 84

Ventana de Herramienta Soil Test de Plaxis para un Material Seleccionado.



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis

6. Una vez abierta la ventana de *Plaxis Soil Test* seleccionamos el tipo de ensayo a realizar, que en nuestro caso es el *Ensayo de Corte Triaxial Drenado de condición Isotrópica*, e ingresaremos los datos necesarios de la curva esfuerzo – deformación a simular, como la presión celda, strain, etc. Note que en la figura 84 también están los parámetros del modelo.

7. Una vez ingresado todos los datos damos click en el botón *Run*, asi obtendremos la curva que nos entrega el modelo seleccionado (Línea Azul en la figura 84), el cual nos simulara la curva esfuerzo – deformación experimental seleccionada.

8. Extraemos los datos y lo comparamos con la curva esfuerzo – deformación experimental obtenida de laboratorio.

9. Realizar el mismo procedimiento 6, 7 y 8 para cada curva esfuerzo – deformación experimental, y luego calibrar los parámetros para un mejor ajuste.

10. Si se va a usar otro modelo constitutivo se debe repetir todo el procedimiento dictado en esta sección 5.5.2.

Como se mencionó, la herramienta Soil Test nos permite calibrar modelos constitutivos, esto es posible mediante la optimización de valores de sus parámetros en la pestaña *Mechanical* (ver figura 84) para ajustar las curvas del modelo a las curvas experimentales.

5.5.3 Resultados de Simulación de las curvas esfuerzo – deformación (SOIL TEST)

Con los parámetros obtenidos de cada modelo constitutivo en las secciones 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4, están serán ingresadas en la herramienta Soil Test para la simulación de las curvas esfuerzo – deformación, de acuerdo a la metodología descrita de la sección anterior 5.5.2 y con los datos generales a ingresar en la herramienta para todos los modelos (ver la **tabla 49**).

Tabla 49

Datos Generales a ingresar en la Herramienta Soil Test para todos los modelos.

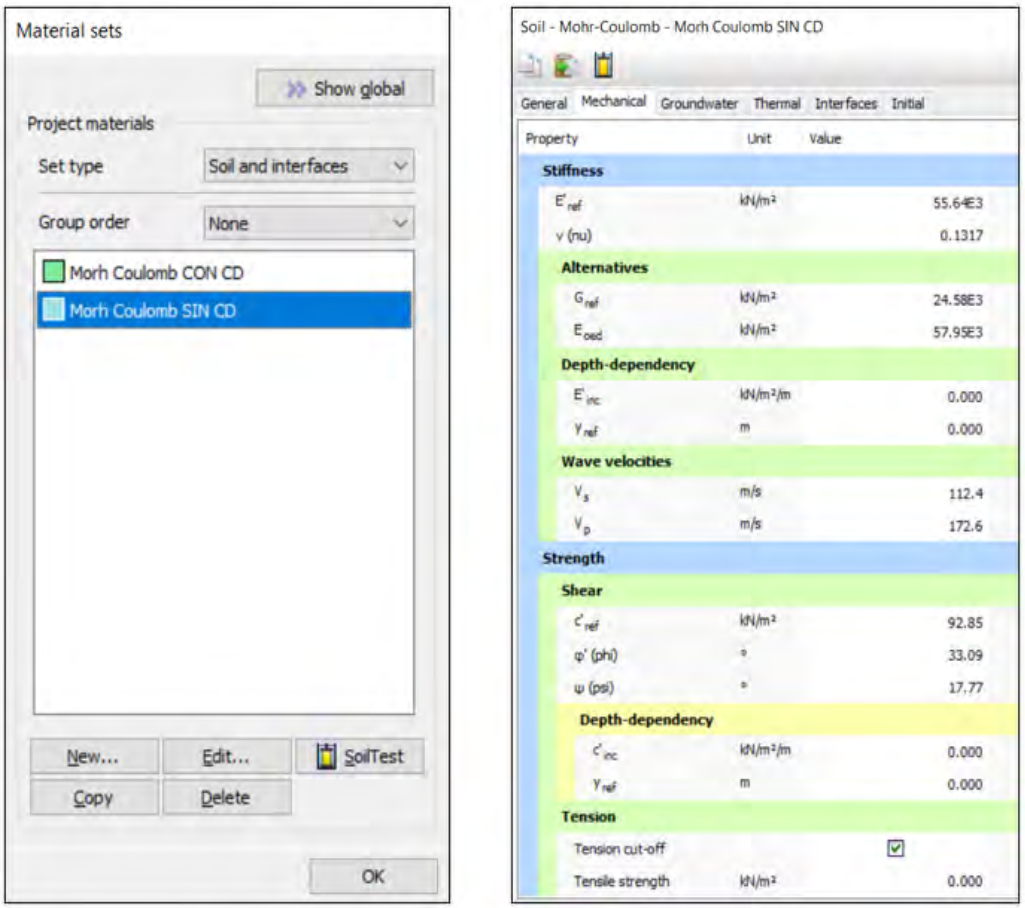
Tipo de Ensayo	Muestra	Presión de Celda Inicial Efectiva (σ')	Deformación Máxima Unitaria (%)	Presión de Preconsolidacion (P'_c)
Ensayo **SIN** carga - Descarga	M3	50 kPa	6.868%	2.51 kg/cm2 (246.2 kPa)
	M2	89 kPa	6.897%	
	M5	150 kPa	6.873%	
Ensayo **CON** carga - Descarga	M4	50 kPa	6.920%	
	M1	89 kPa	6.887%	
	M6	150 kPa	6.849%	

- **Resultados de Simulación Usando el Modelo de Mohr Coulomb.**

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (MC). Tal como se explicó en la sección 5.5.2 debemos crear un material para definir sus propiedades y características. La **figura 85 (a)** nos muestra la creación del material para el caso de Ensayo SIN carga – descarga nombrada como "Mohr Coulomb SIN C-D", y para la **figura 85 (b)** se elige el Modelo Constitutivo de Mohr Coulomb y se ingresa sus parámetros (obtenidos en la tabla 30) en la pestaña *Mechanical*. Los demás datos que ingresaremos en la ventana de la **figura 85 (b)** son obtenidos en la sección 4.3 y algunos de la obtención de parámetros.

Figura 85

(a) Creación de Material para el Ensayo SIN carga - descarga, (b) Ingreso de parametros y propiedades mecanicas para el Modelo de Mohr Coulomb seleccionado.

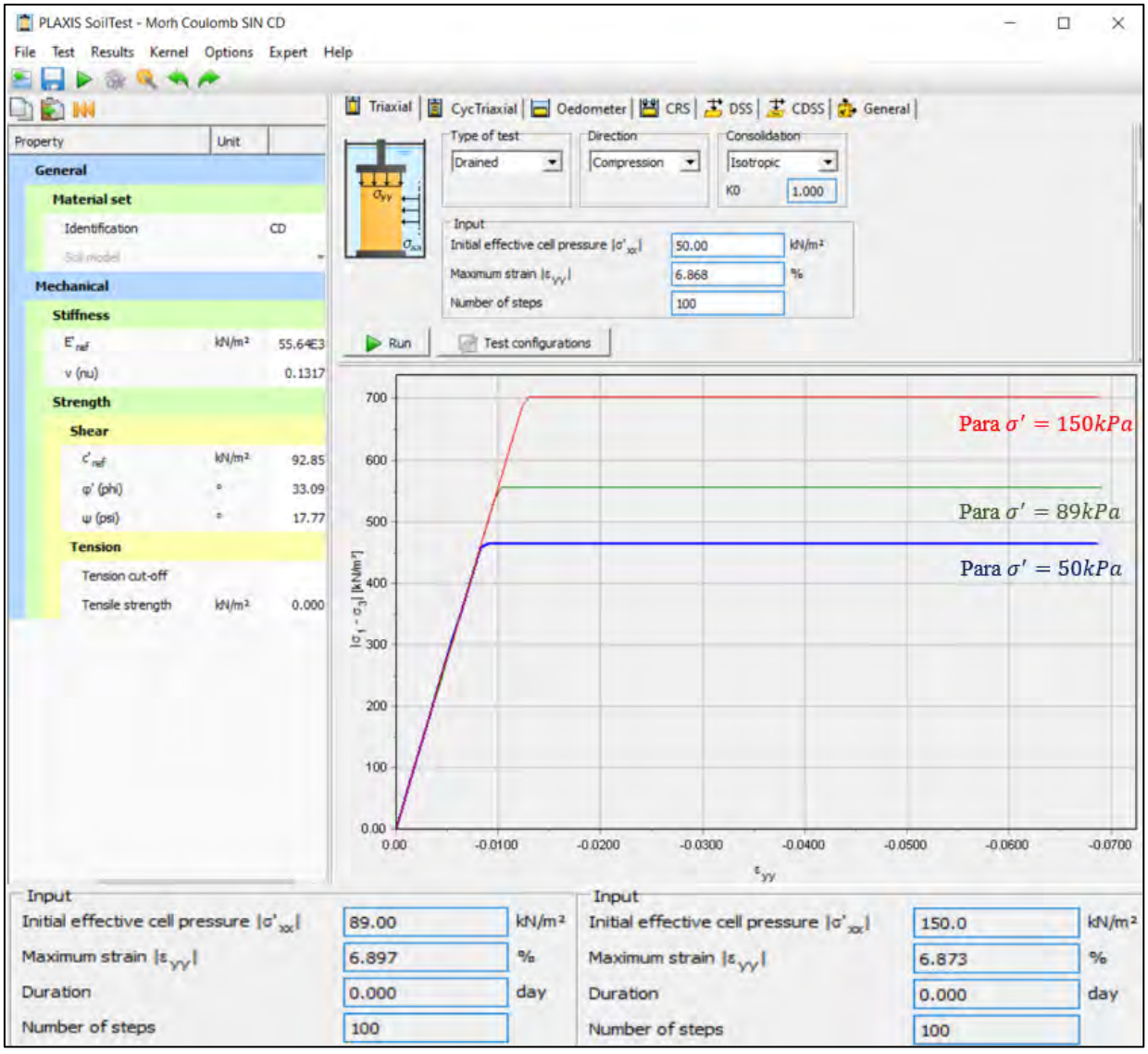


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis

Una vez ingresados todos los datos necesarios procedemos al uso de la Herramienta Soil Test, donde en la **figura 86** se eligió el *Ensayo Triaxial Drenada Isotrópico* donde los datos a ingresar serán el *Initial Effective Cell Pressure* (Esfuerzo de Confinamiento), *Maximun Strain* (Deformación Máxima) y *Number of Steps* (que será de 100 pasos), para las tres muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) de acuerdo a la tabla 49.

Figura 86

Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) (SIN carga - descarga)

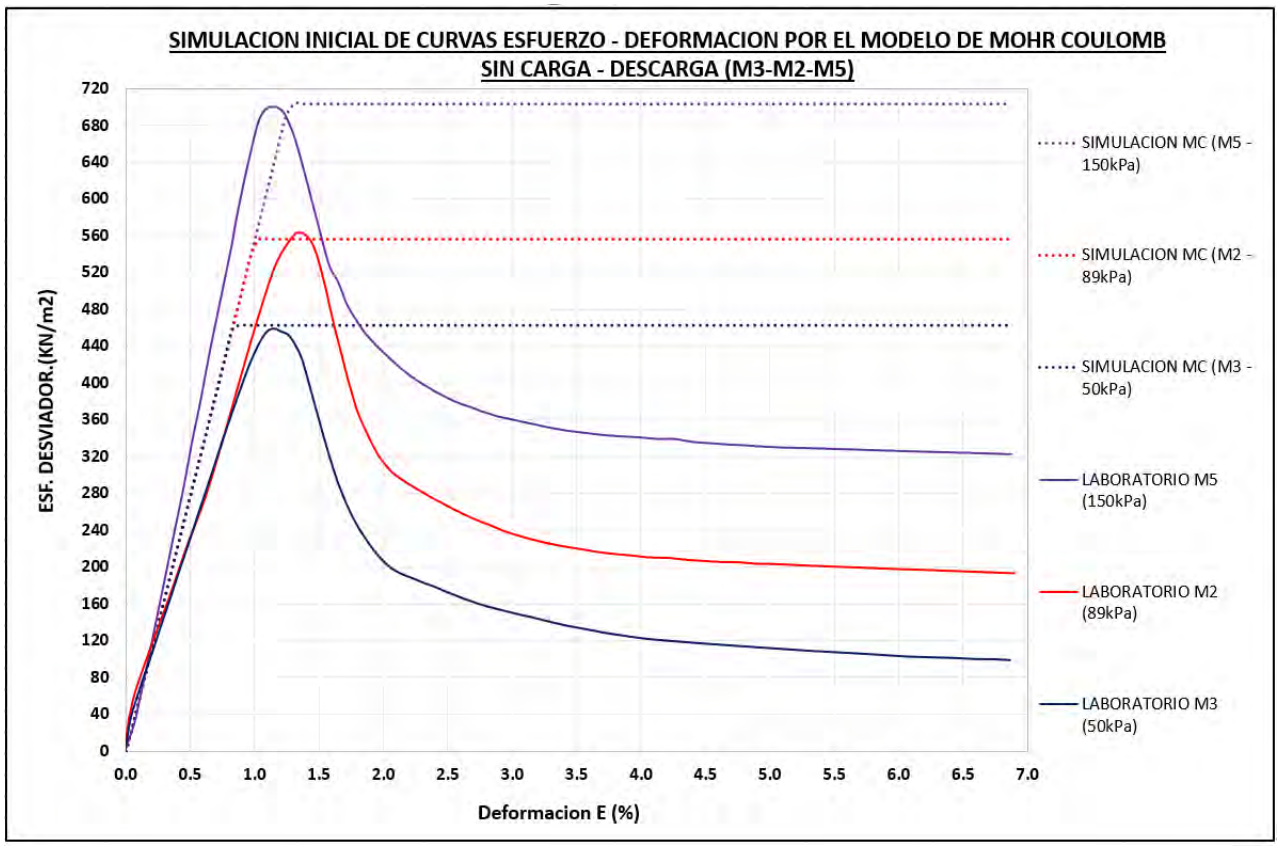


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Así, las curvas obtenidas de la figura 86 pueden ser extrapolarlas a una Hoja Excel y compararlo con las curvas esfuerzo - deformación obtenidas de laboratorio, dándonos como resultado la **figura 87**.

Figura 87

Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M3, M2 y M5 (SIN carga - descarga) por el Modelo de Mohr Coulomb



Todos los datos obtenidos anteriormente pueden verse con detalle en el Anexo B1, donde se muestra el procesamiento de los datos obtenidos, la extrapolación de datos del Soil Test, etc.

Con estos datos obtenidos procedemos a la calibración de los parámetros para un mejor ajuste a las curvas esfuerzo – deformación SIN carga - descarga, recordemos que la calibración se hace para un set de parámetros.

Calibración de los parámetros del Modelo de Mohr Coulomb Usando la Herramienta Soil Test (Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (M3 - M2 - M5)).

Para este caso se calibrarán los parámetros de la relación de Poisson (*v*), ángulo de dilatancia (ψ), y el módulo de Elasticidad E_{50}.

En la **tabla 50** se puede ver todas las iteraciones principales que se hicieron para un mejor ajuste a las curvas esfuerzo – deformación experimentales SIN carga – descarga.

Tabla 50

Calibración de Parámetros de Mohr Coulomb (SIN carga – descarga)

Valores de Parámetros Calibrados Mohr Coulomb para las curvas SIN carga – descarga					
Nro. de Iteraciones	C (kN/m2)	φ (°)	*E50 (kN/m2)*	*v*	ψ
Datos Iniciales	92.85	33.09°	55637.46	0.1317	17.767°
Iteración 1	92.85	33.09°	46200.00	0.15	20.00°
Iteración 2	92.85	33.09°	48500.00	0.10	22.00°
Iteración 3	92.85	33.09°	63750.00	0.11	23.00°
Iteración 4	92.85	33.09°	58400.00	0.20	10.00°
Iteración 5	92.85	33.09°	52500.00	0.1317	17.767°

Con las iteraciones de la tabla 50 se obtuvieron las curvas del modelo Mohr Coulomb para las curvas experimentales SIN carga – descarga mostradas en la **figura 88,** y como se puede ver, al hacer la calibración podemos obtener un mejor ajuste para que el modelo simule de mejor manera las tres curvas esfuerzo - deformación SIN carga – descarga, en este caso la curva que más se ajusta es la curva de 5ta Iteración (**figura 88 y 89**), donde el módulo de Elasticidad E_{50} influye significativamente y debido a que los parámetros de relación de Poisson (*v*) y ángulo de dilatancia (ψ) no tuvieron relevante influencia, se puede usar sus datos iniciales para la calibración final.

Todos estos datos obtenidos pueden verse con detalle en el Anexo B1.

El análisis y discusión de estos resultados se verá en detalle en el Capítulo VI.

Figura 88

Calibración de los parámetros de Mohr Coulomb para las curvas SIN carga - descarga (M3, M2 y M5)

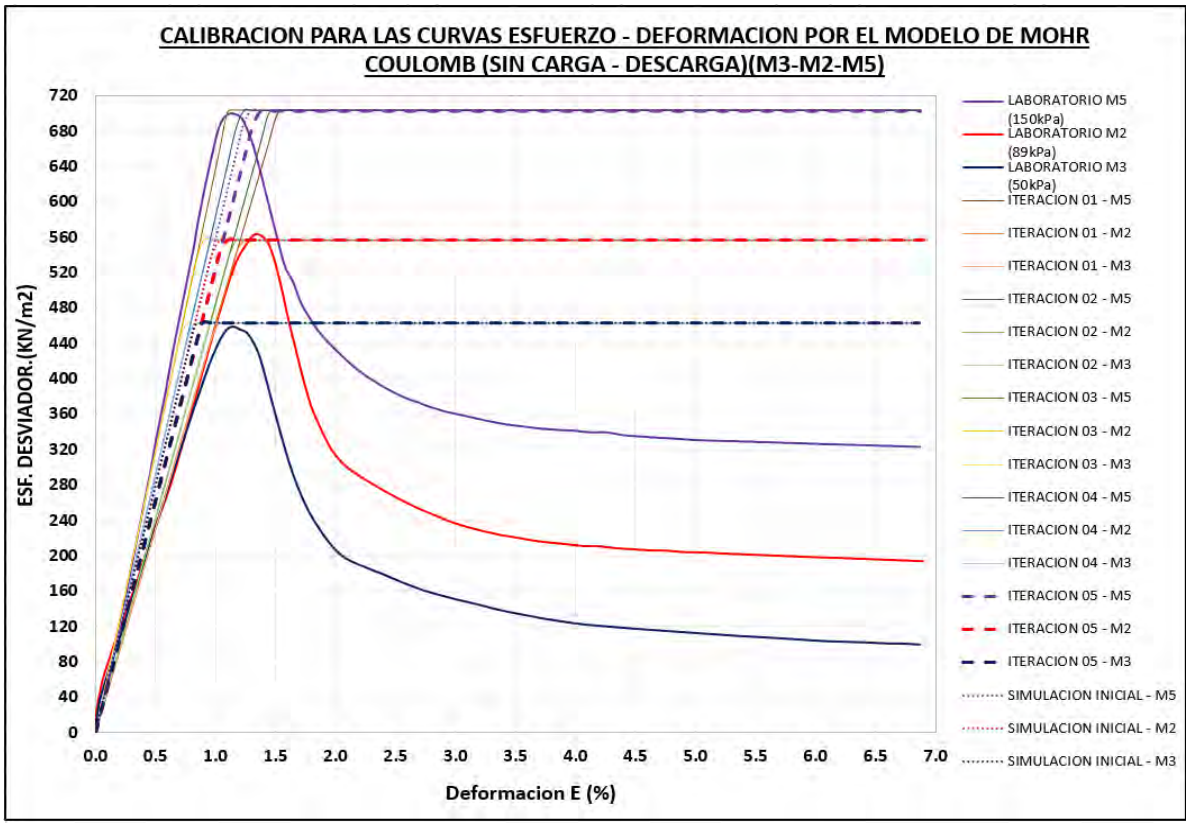
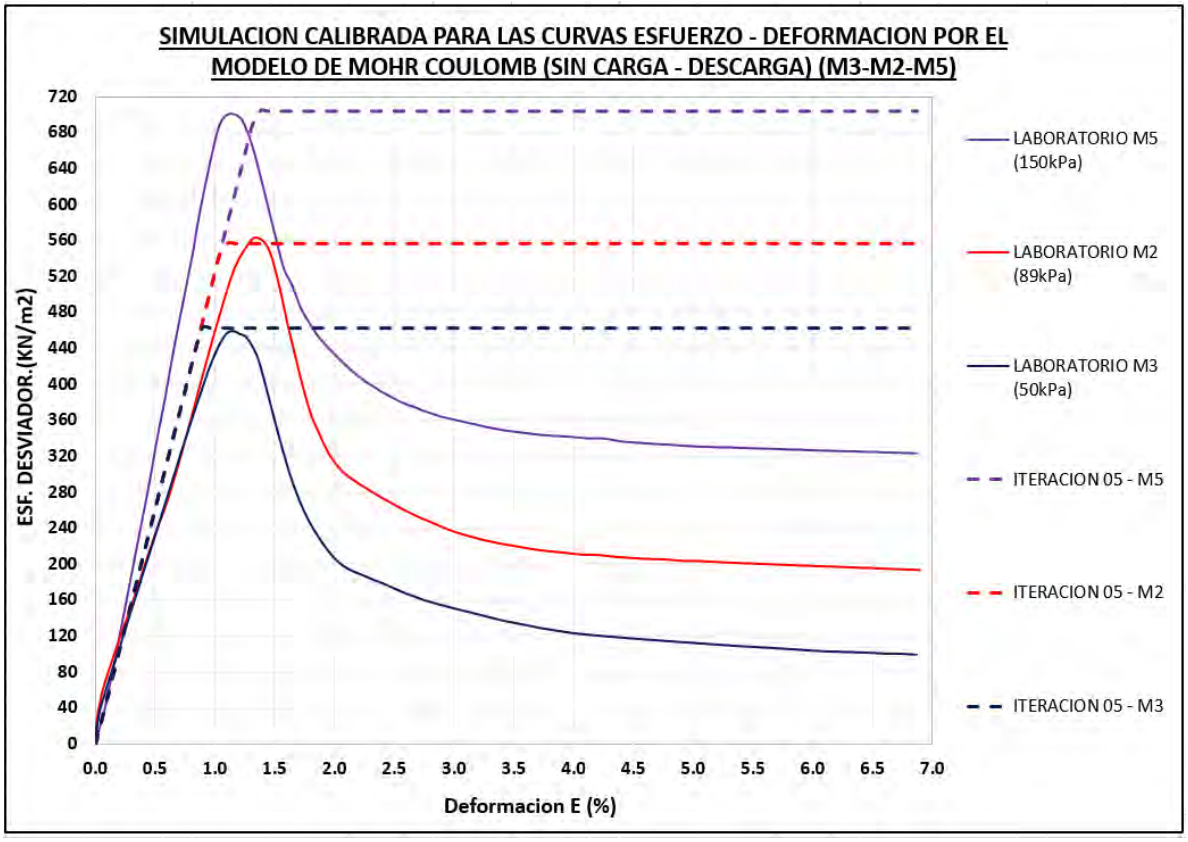


Figura 89

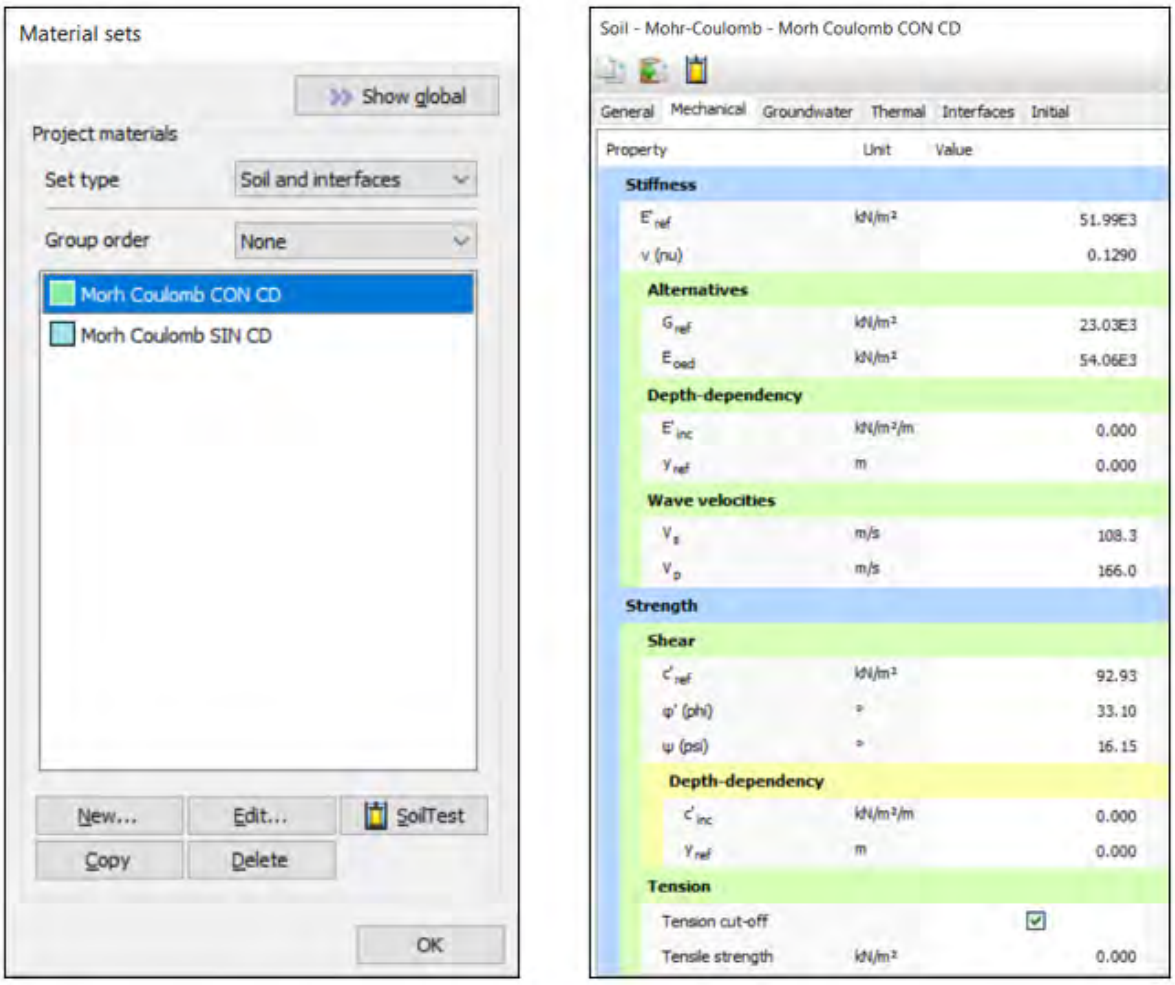
Simulación Calibrada Mohr Coulomb de las curvas experimentales M3, M2 y M5.



Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (MC). Como se explicó en la sección 5.5.2 crearemos un material para definir sus propiedades y características. La **figura 90 (a)** nos muestra la creación del material para el caso de Ensayo CON carga – descarga nombrada como "Mohr Coulomb CON C-D", y para la **figura 90 (b)** se elige el Modelo Constitutivo de Mohr Coulomb y se ingresa sus parámetros (obtenidos en la tabla 30) en la pestaña *Mechanical*. Los demás datos que ingresaremos en la ventana de la **figura 90 (b)** son obtenidos en la sección 4.3 y algunos de la obtención de parámetros.

Figura 90

(a) Creación de Material para el Ensayo CON carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de Mohr Coulomb seleccionado.



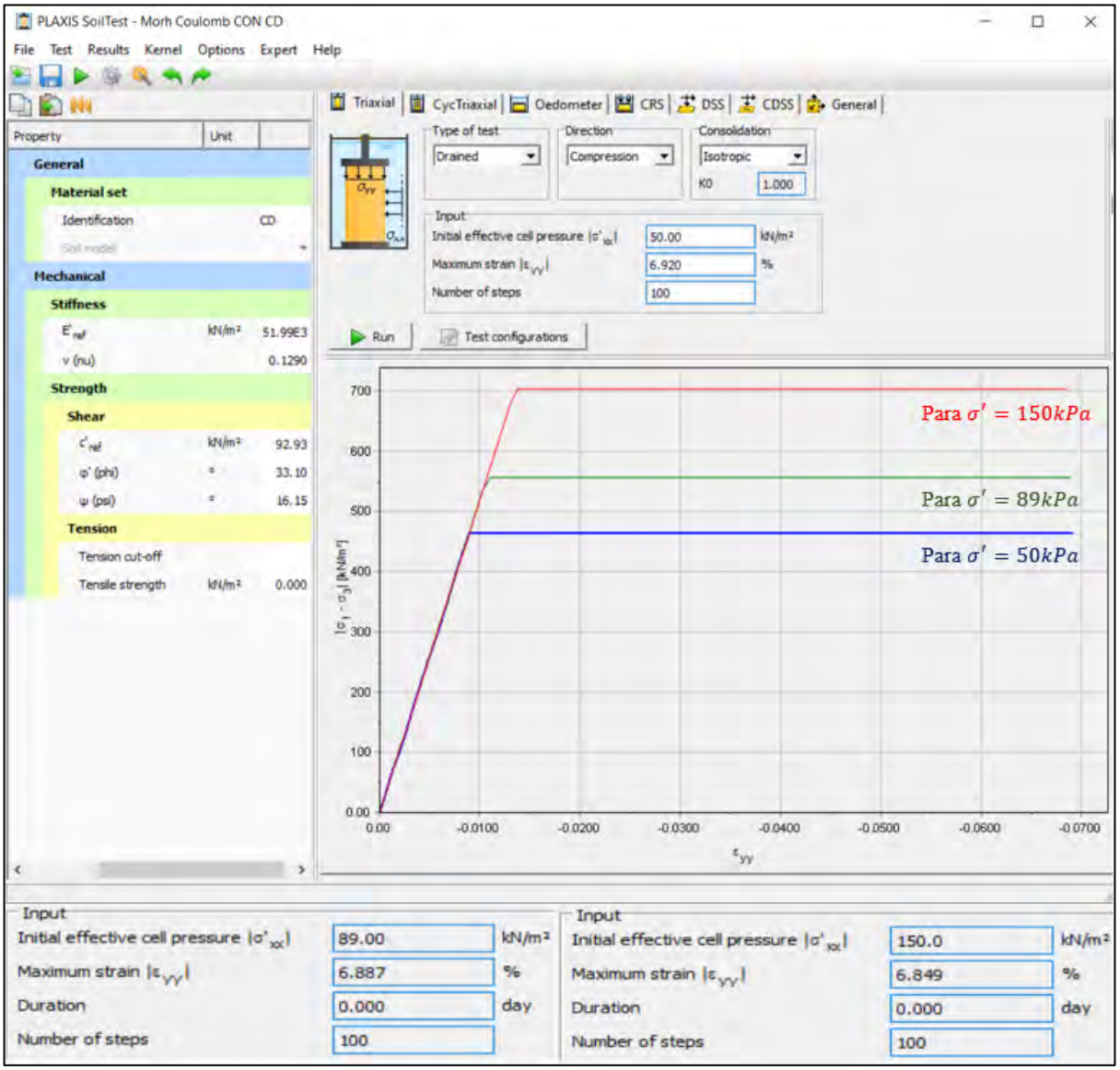
(a) (b)

Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis

Ingresados todos los datos necesarios procedemos al uso de la Herramienta Soil Test, donde en la **figura 91** se elige el *Ensayo Triaxial Drenada Isotrópico* donde los datos a ingresar serán el *Initial Effective Cell Pressure* (Esfuerzo de Confinamiento), *Maximun Strain* (Deformación Máxima) y *Number of Steps* (que será de 100 pasos), para las tres muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) de acuerdo a la tabla 49.

Figura 91

Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) (CON carga - descarga)

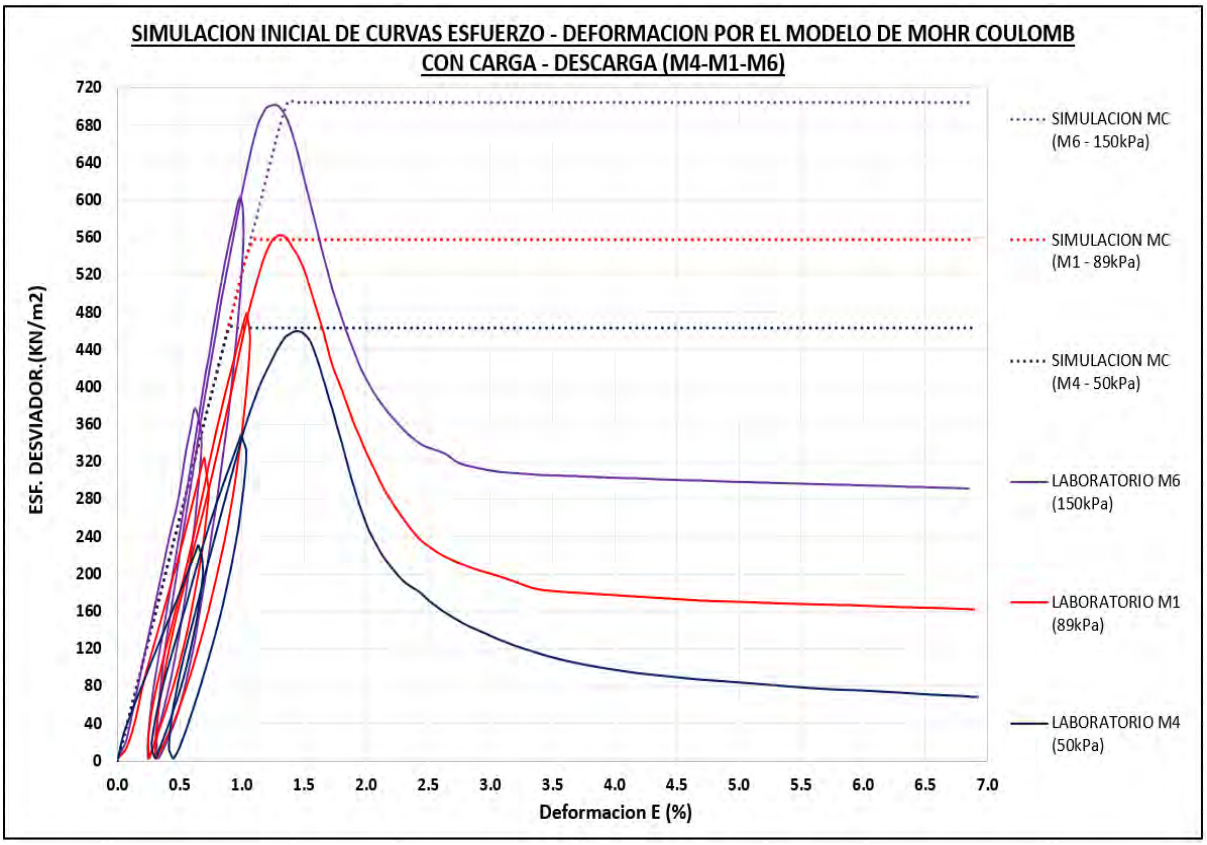


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Por lo tanto, las curvas obtenidas de la figura 91 pueden ser extrapolarlas a una Hoja Excel y compararlo con las curvas esfuerzo - deformación obtenidas de laboratorio, dándonos como resultado la **figura 92.**

Figura 92

Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M4, M1 y M6 (CON carga - descarga) por el Modelo de Mohr Coulomb



Todos los datos obtenidos anteriormente pueden verse con detalle en el Anexo B1, donde se muestra el procesamiento de los datos obtenidos, la extrapolación de datos del Soil Test, etc.

Con estos datos obtenidos procedemos a la calibración de los parámetros para un mejor ajuste a las curvas esfuerzo – deformación CON carga - descarga, recordemos que la calibración se hace para un set de parámetros.

Calibración de los parámetros del Modelo de Mohr Coulomb Usando la Herramienta Soil Test (Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (M4 – M1 – M6)).

Para este caso también se calibrarán los parámetros de la relación de Poisson (*v*), ángulo de dilatancia (ψ), y el módulo de Elasticidad E_{50}.

En la **tabla 51** se puede ver todas las iteraciones principales que se hicieron para un mejor ajuste a las curvas esfuerzo – deformación experimentales CON carga – descarga.

Tabla 51

Calibración de Parámetros de Mohr Coulomb (CON carga – descarga)

Valores de Parámetros Calibrados Mohr Coulomb para las curvas CON carga – descarga					
Nro. de Iteraciones	C (kN/m2)	φ (°)	*E50 (kN/m2)*	*v*	ψ
Datos Iniciales	92.93	33.10°	51993.35	0.129	16.153°
Iteración 1	92.93	33.10°	38300.00	0.11	11°
Iteración 2	92.93	33.10°	41400.00	0.22	10°
Iteración 3	92.93	33.10°	55820.00	0.18	12°
Iteración 4	92.93	33.10°	49080.00	0.14	16.5°
Iteración 5	92.93	33.10°	46500.00	0.129	16.153°

Con las iteraciones de la tabla 51 se obtuvieron las curvas del modelo Mohr Coulomb para las curvas experimentales CON carga – descarga mostradas en la **figura 93 ,** y como se puede ver, al hacer la calibración podemos obtener un mejor ajuste para que el modelo simule de mejor manera las tres curvas esfuerzo - deformación CON carga – descarga, en este caso la curva que más se ajusta es la curva de 5ta Iteración (**figura 93 y 94**), donde el módulo de Elasticidad E_{50} influye significativamente y debido a que los parámetros de relación de Poisson (*v*) y ángulo de dilatancia (ψ) no tuvieron relevante influencia, se puede usar sus datos iniciales para la calibración final.

Todos estos datos obtenidos pueden verse con detalle en el Anexo B1.

El análisis y discusión de estos resultados se verá en detalle en el Capítulo VI.

Figura 93

Calibración de los parámetros de Mohr Coulomb para las curvas CON carga - descarga (M4, M1 y M6)

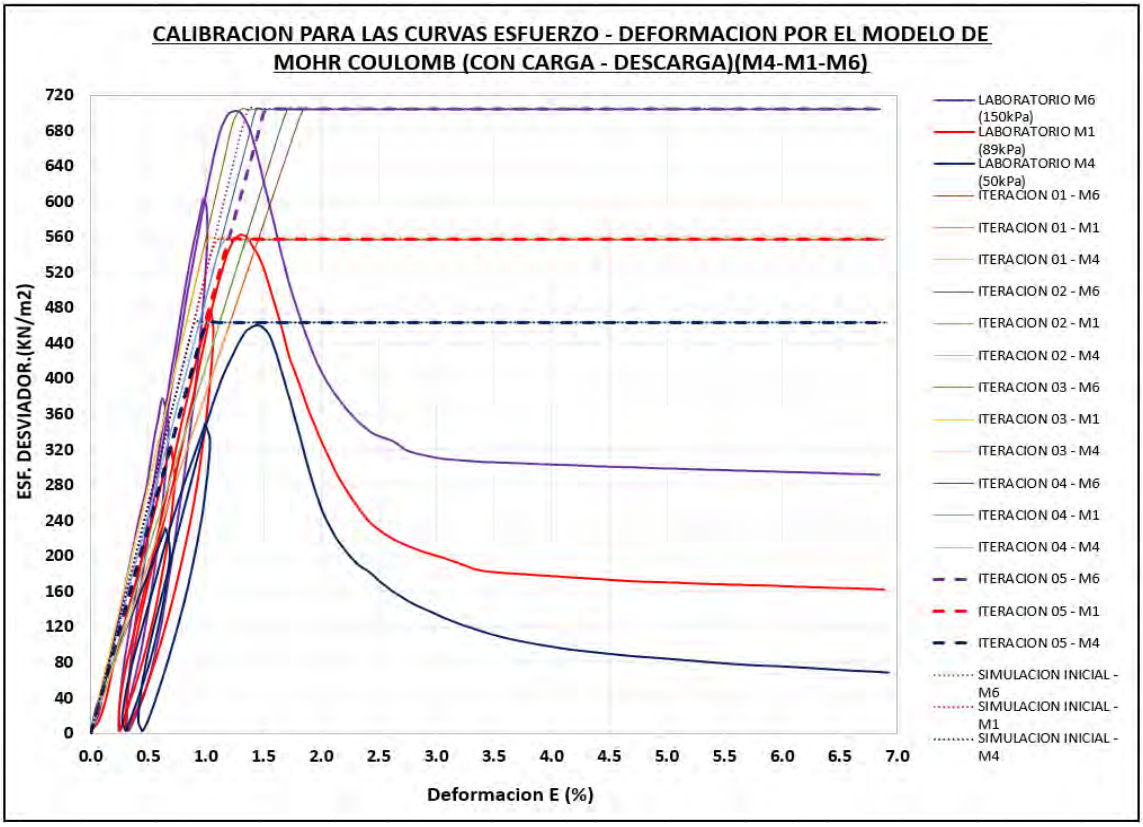
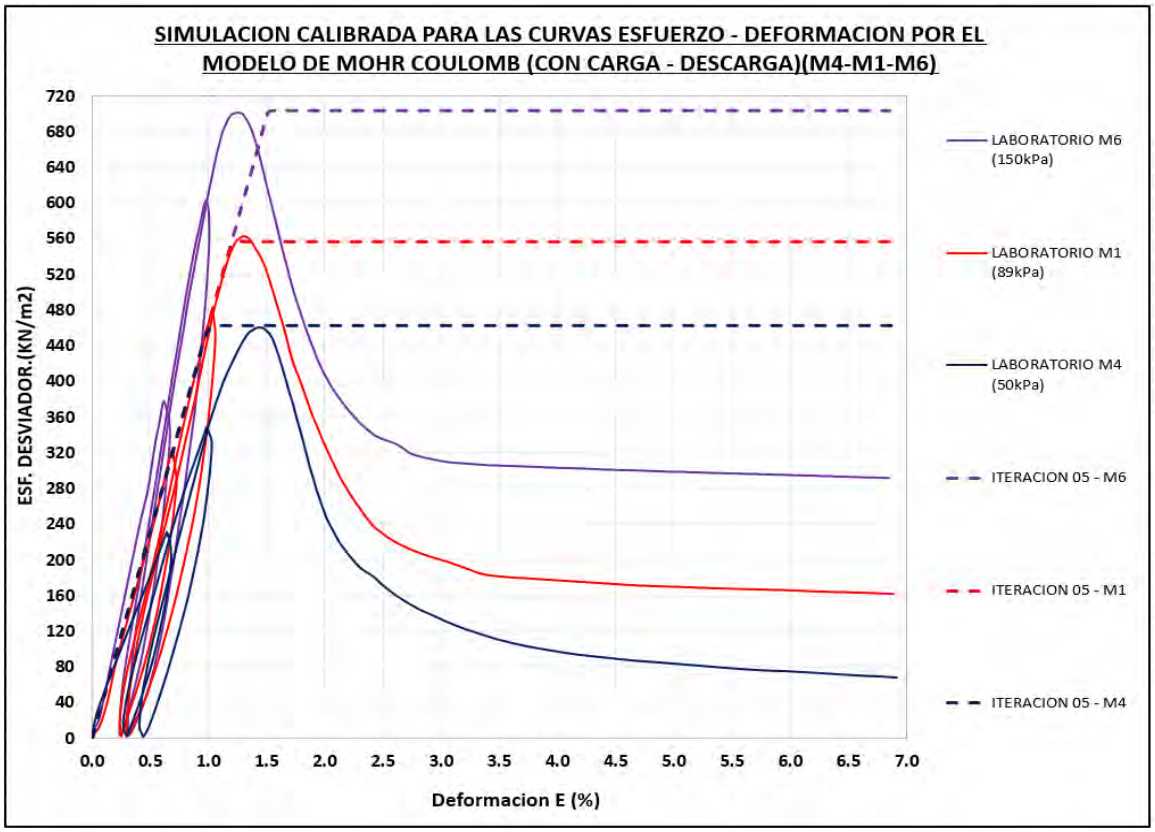


Figura 94

Simulación Calibrada Mohr Coulomb de las curvas experimentales M4, M1 y M6.

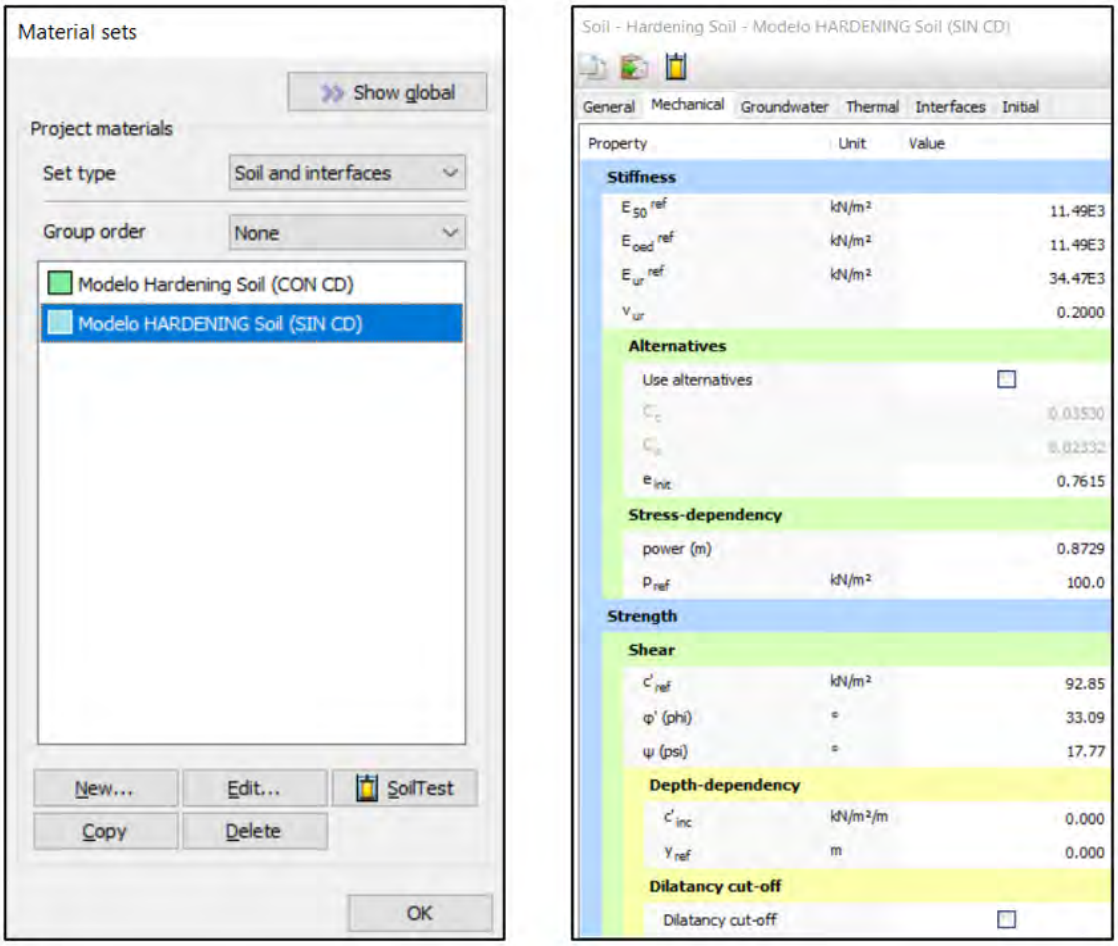


- **Resultados de Simulación Usando el Modelo de Hardening Soil**

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (HS). Tal como se explicó en la sección 5.5.2 se crea un material para definir sus propiedades y características. La **figura 95 (a)** nos muestra la creación del material para el caso de Ensayo SIN carga – descarga nombrada como "Modelo Hardening Soil SIN C-D", y para la **figura 95 (b)** se elige el Modelo Constitutivo de Hardening Soil y se ingresa sus parámetros (obtenidos en la tabla 38) en la pestaña *Mechanical*. Los demás datos que ingresaremos en la ventana de la **figura 95 (b)** son obtenidos en la sección 4.3 y algunos de la obtención de parámetros.

Figura 95

(a) Creación de Material para el Ensayo SIN carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de Hardening Soil seleccionado.



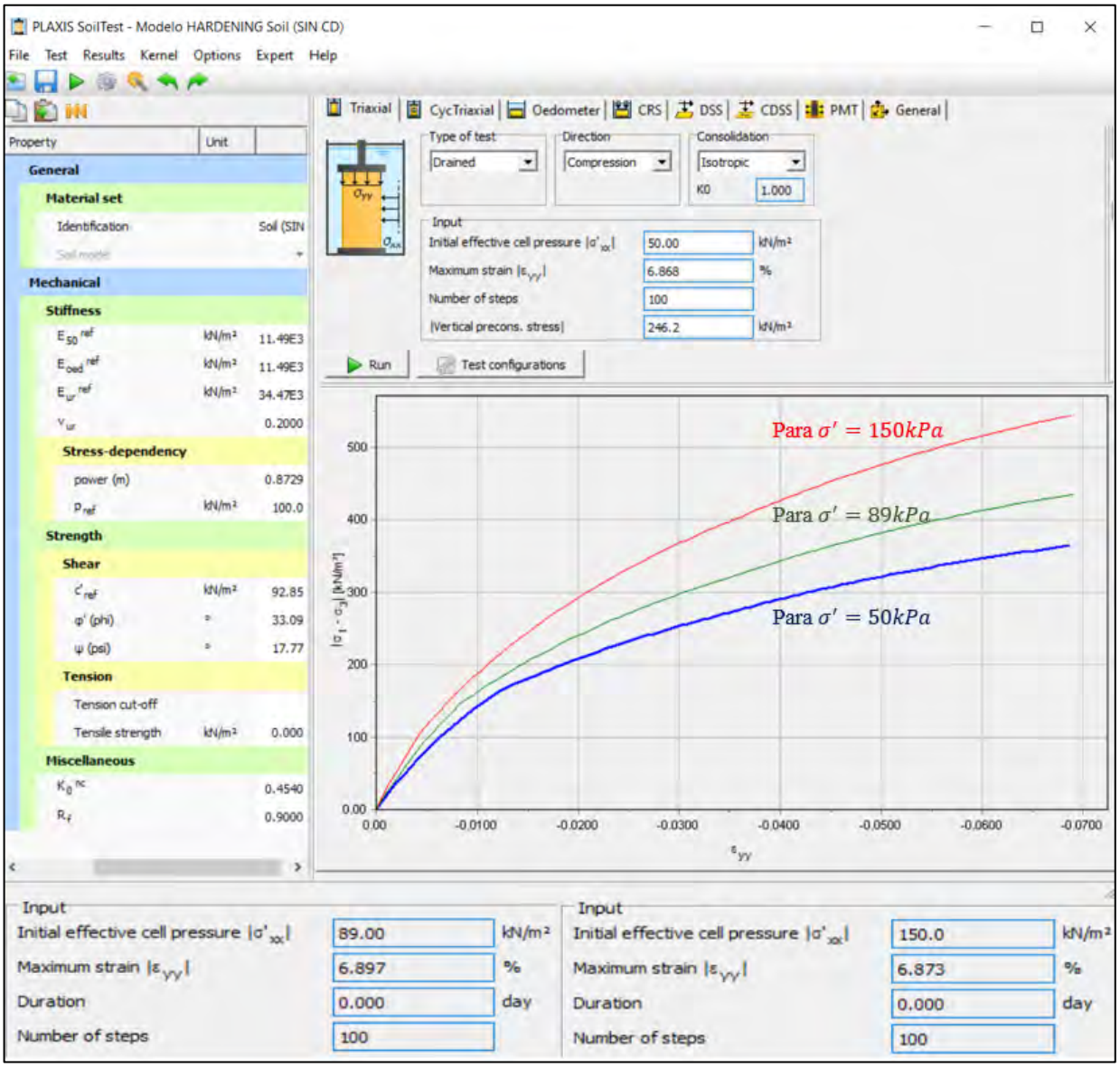
(a) (b)

Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis

Ingresados todos los datos necesarios procedemos al uso de la Herramienta Soil Test, donde en la **figura 96** se elige el *Ensayo Triaxial Drenada Isotrópico* donde los datos a ingresar serán el *Initial Effective Cell Pressure* (Esfuerzo de Confinamiento), *Maximun Strain* (Deformación Máxima), *Number of Steps* y *Vertica Precon. Stress* ($P'_c = 246.2kPa$) para las tres muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) de acuerdo a la tabla 49.

Figura 96

Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) (SIN carga - descarga)

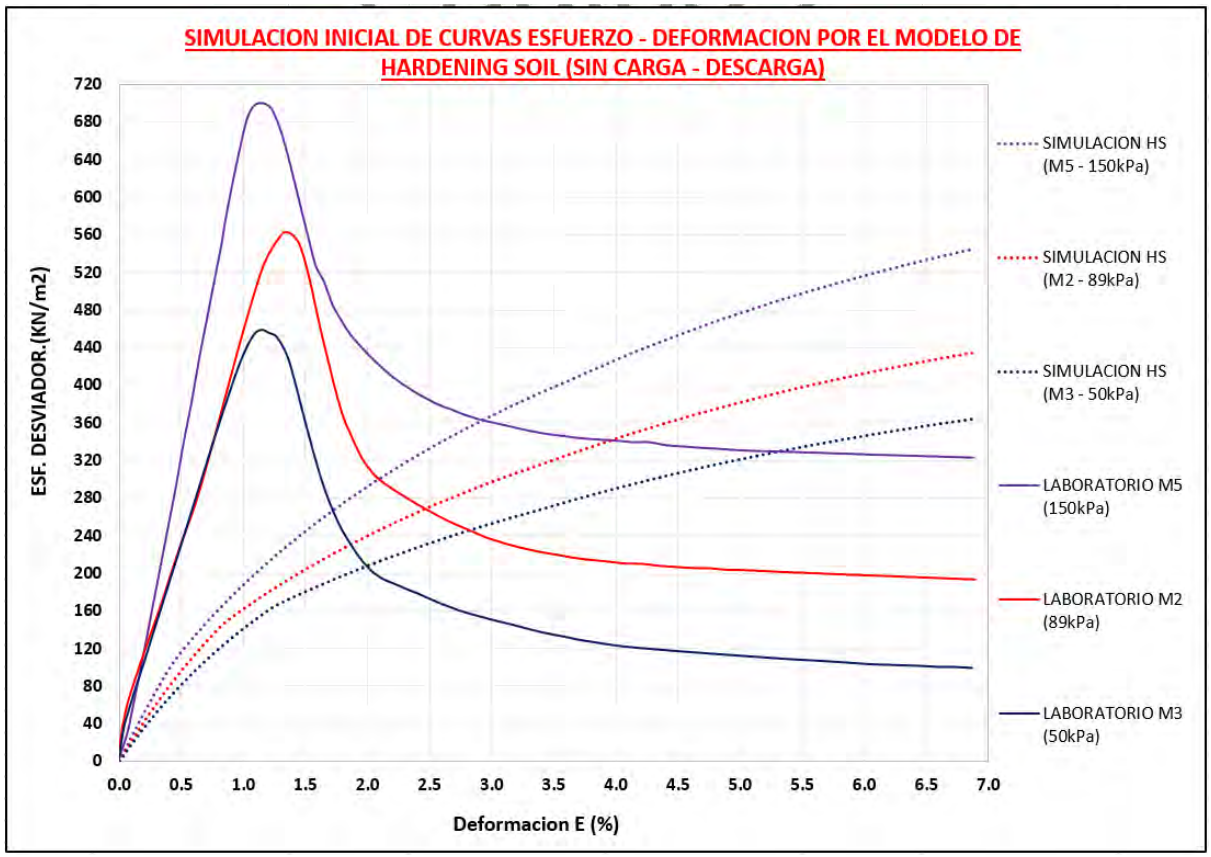


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Por lo tanto, las curvas obtenidas de la figura 96 pueden ser extrapolarlas a una Hoja Excel y compararlo con las curvas esfuerzo - deformación obtenidas de laboratorio, dándonos como resultado la **figura 97**.

Figura 97

Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M3, M2 y M5 (SIN carga - descarga) por el Modelo de Hardening Soil.



Todos los datos obtenidos anteriormente pueden verse con detalle en el Anexo B2, donde se muestra el procesamiento de los datos obtenidos, la extrapolación de datos del Soil Test, etc.

Con estos datos obtenidos procedemos a la calibración de los parámetros para un mejor ajuste a las curvas esfuerzo – deformación SIN carga - descarga, recordemos que la calibración se hace para un set de parámetros.

Calibración de los parámetros del Modelo de Hardening Soil Usando la Herramienta Soil Test (Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (M3 – M2 – M5)).

Para este caso se calibrarán los parámetros E_{50}^{Ref}, E_{oed}^{Ref}, E_{ur}^{Ref}, el parámetro "m", la relación de Poisson carga – descarga (Vur) y ángulo de dilatancia (ψ).

En la **tabla 52** se puede ver todas las iteraciones principales que se hicieron para la calibración a las curvas esfuerzo – deformación experimentales SIN carga – descarga.

Tabla 52

Calibración de Parámetros de Hardening Soil (SIN carga – descarga)

Valor de Parámetros Calibrados Hardening Soil para las curvas SIN carga – descarga						
Parámetros de Hardening Soil	**Datos Iniciales**	**Iteración 01**	**Iteración 02**	**Iteración 03**	**Iteración 04**	**Iteración 05**
C	92.85	92.85	92.85	92.85	92.85	92.85
ϕ	33.09°	33.09°	33.09°	33.09°	33.09°	33.09°
ψ	17.767°	10°	22°	22°	22°	17.767°
E_{50}^{Ref}	11489.84	11489.84	11489.84	13000.00	13000.00	11489.84
E_{oed}^{Ref}	11489.84	11489.84	11489.84	13000.00	13000.00	11489.84
E_{ur}^{Ref}	34469.53	34469.53	34469.53	39000.00	39000.00	34469.53
m	0.8729	0.8729	0.8729	0.8729	0.70	0.8729
Vur	0.2	0.22	0.13	0.13	0.13	0.22
$Pref$	100	100	100	100	100	100
K_0^{nc}	0.4540	0.4540	0.4540	0.4540	0.4540	0.4540
Rf	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Con las iteraciones de la tabla 52 se obtuvieron las curvas del modelo Hardening Soil para las curvas experimentales SIN carga – descarga mostradas en la **figura 98 ,** y como se puede ver, el modelo desde un principio y como se vio en la figura 97 no simula las curvas

experimentales de laboratorio debido a la naturaleza hiperbólica del modelo, por lo tanto, por más que se hagan varias combinaciones de parámetros, no se lograra de forma precisa la calibración, donde para la 5ta iteración se vuelve a los valores iniciales. Sin embargo, se pudo ver que durante el proceso de calibración los módulos de rigidez E_{50}^{Ref}, E_{oed}^{Ref}, E_{ur}^{Ref} y el parámetro de dependencia de rigidez "m" tienen mucha relevancia en el modelado y calibración, a diferencia de los parámetros de Poisson carga – descarga (Vur) y ángulo de dilatancia (ψ) que afectaron en muy poco el cambio de curvas durante el calibrado.

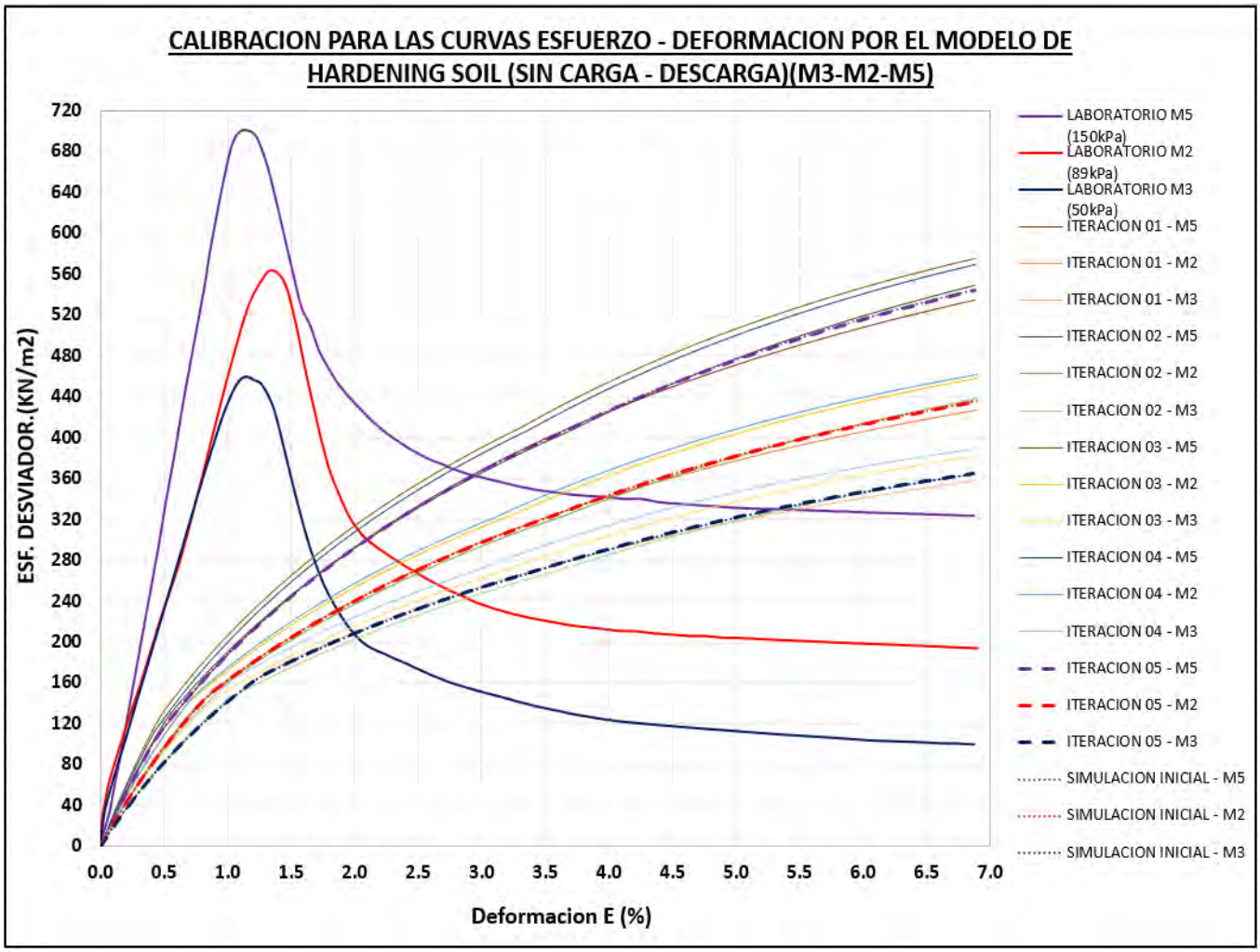
Por lo tanto, se usará la **figura 97** como simulación final para este caso.

Todos estos datos obtenidos pueden verse con detalle en el Anexo B2.

El análisis y discusión de estos resultados se verá en detalle en el Capítulo VI

Figura 98

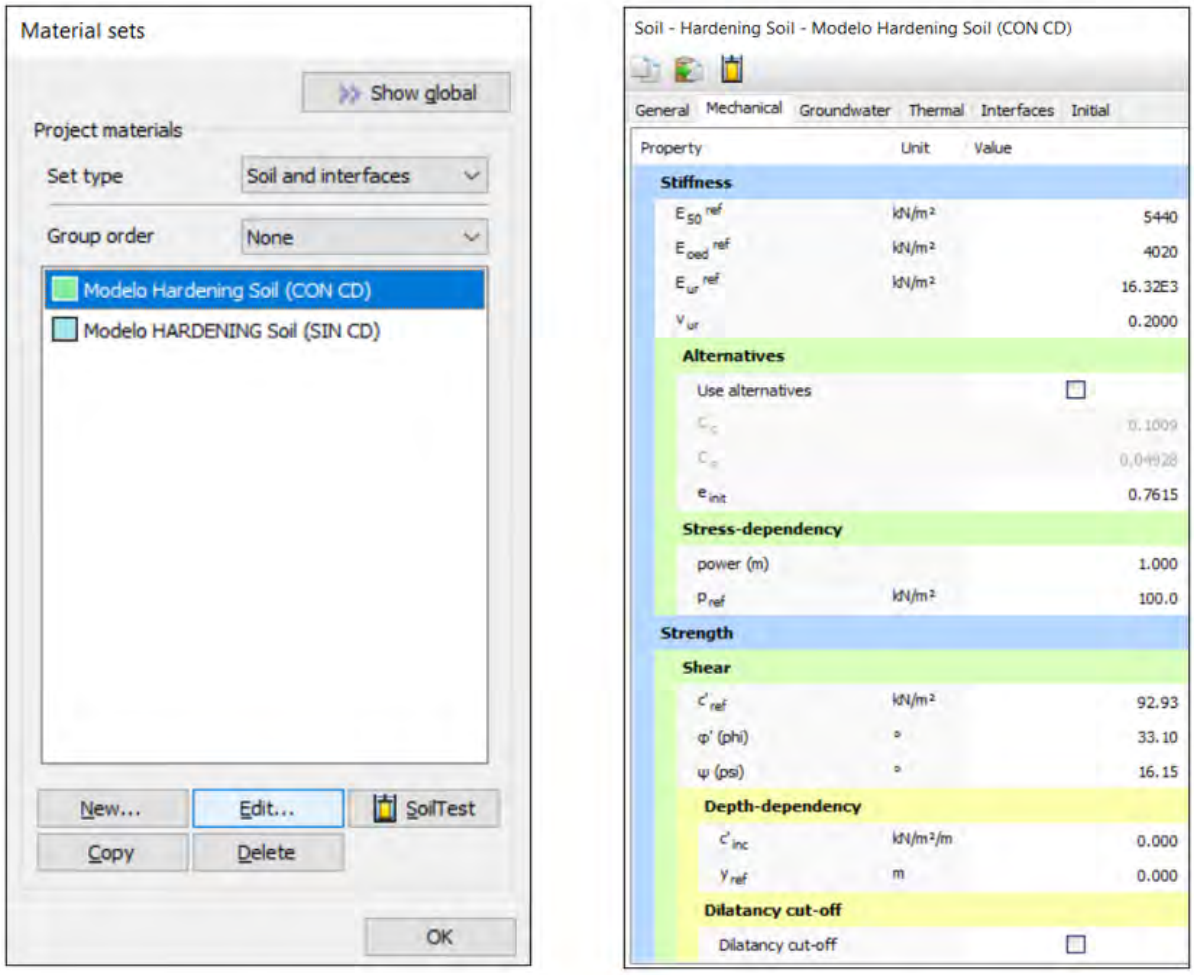
Calibración de los parámetros de Hardening Soil para las curvas SIN carga - descarga (M3, M2 y M5)



Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (HS). Así como se explicó en la sección 5.5.2 crearemos un material para definir sus propiedades y características. La **figura 99 (a)** nos muestra la creación del material para el caso de Ensayo CON carga – descarga nombrada como "Modelo de Hardening Soil CON C-D", y para la **figura 99 (b)** se elige el Modelo Constitutivo de Hardening Soil y se ingresa sus parámetros (obtenidos en la tabla 38) en la pestaña *Mechanical*. Los demás datos que ingresaremos en la ventana de la **figura 99 (b)** son obtenidos en la sección 4.3 y algunos de la obtención de parámetros.

Figura 99

(a) Creación de Material para el Ensayo CON carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de Hardening Soil seleccionado.



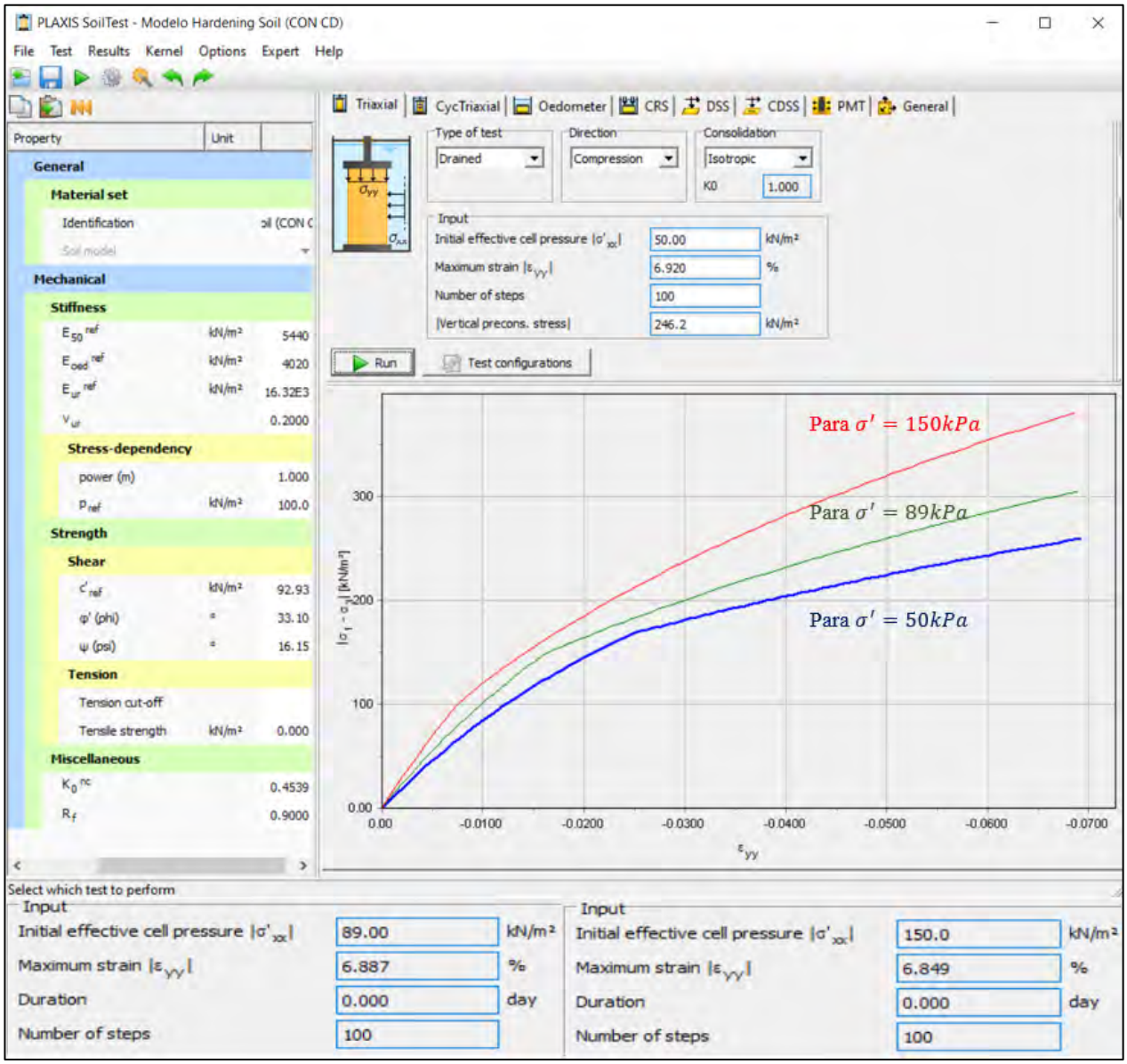
(a) (b)

Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis.

Ingresados todos los datos necesarios procedemos al uso de la Herramienta Soil Test, donde en la **figura 100** se elige el *Ensayo Triaxial Drenada Isotrópico* donde los datos a ingresar serán el *Initial Effective Cell Pressure* (Esfuerzo de Confinamiento), *Maximun Strain* (Deformación Máxima), *Number of Steps* y *Vertica Precon. Stress* (P'_c=246.2kPa) para las tres muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) de acuerdo a la tabla 49.

Figura 100

Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) (CON carga - descarga)

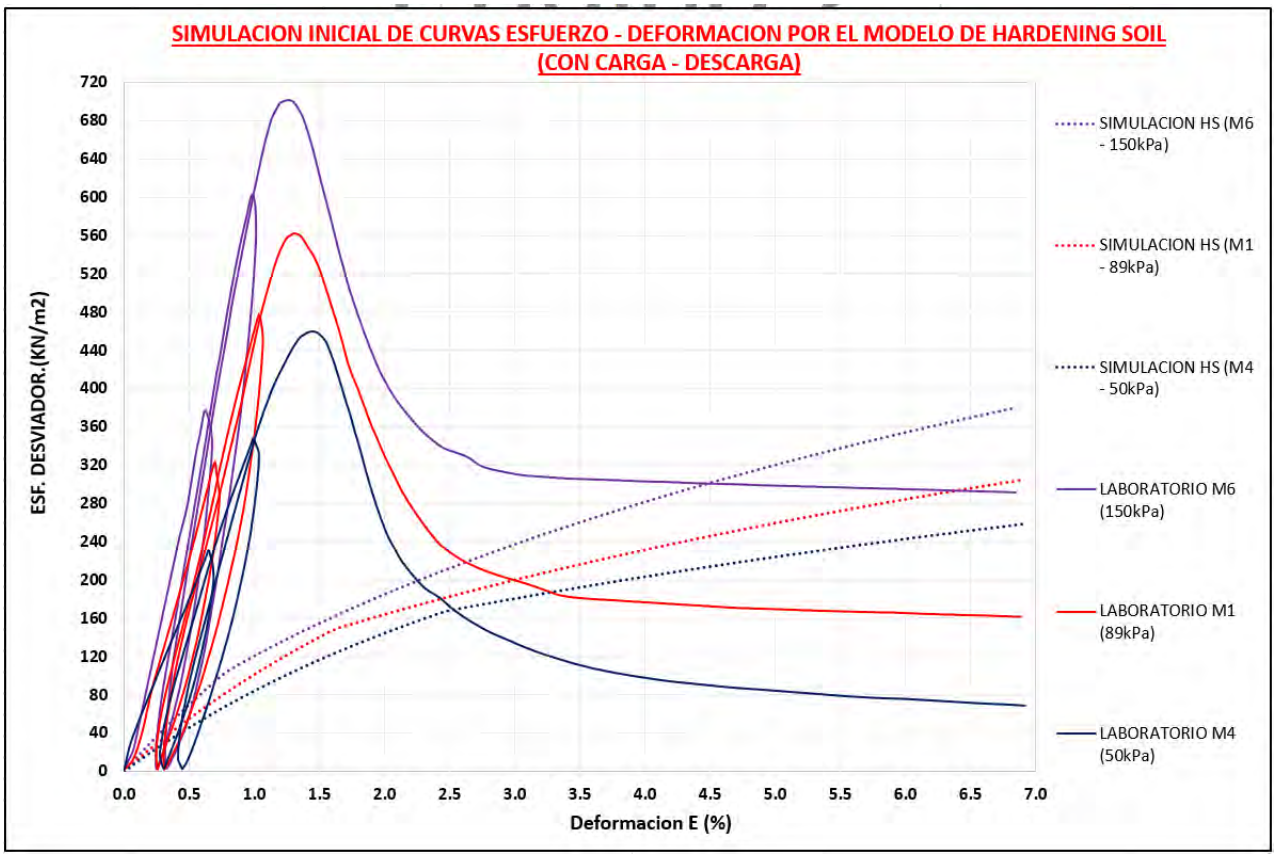


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Por lo tanto, las curvas obtenidas de la figura 100 pueden ser extrapolarlas a una Hoja Excel y compararlo con las curvas esfuerzo - deformación obtenidas de laboratorio, dándonos como resultado la **figura 101**.

Figura 101

Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M4, M1 y M6 (CON carga - descarga) por el Modelo de Hardening Soil



Todos los datos obtenidos anteriormente pueden verse con detalle en el Anexo B2, donde se muestra el procesamiento de los datos obtenidos, la extrapolación de datos del Soil Test, etc.

Con estos datos obtenidos procedemos a la calibración de los parámetros para un mejor ajuste a las curvas esfuerzo – deformación CON carga - descarga, recordemos que la calibración se hace para un set de parámetros.

Calibración de los parámetros del Modelo de Hardening Soil Usando la Herramienta Soil Test (Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (M4 – M1 – M6)).

Para este caso se calibrarán también los parámetros E_{50}^{Ref}, E_{oed}^{Ref}, E_{ur}^{Ref}, el parámetro "m", la relación de Poisson carga – descarga (Vur) y ángulo de dilatancia (ψ).

En la **tabla 53** se puede ver todas las iteraciones principales que se hicieron para la calibración a las curvas esfuerzo – deformación experimentales CON carga – descarga.

Tabla 53

Calibración de Parámetros de Hardening Soil (CON carga – descarga)

Valor de Parámetros Calibrados Hardening Soil para las curvas CON carga – descarga						
Parámetros de Hardening Soil	**Datos Iniciales**	**Iteración 01**	**Iteración 02**	**Iteración 03**	**Iteración 04**	**Iteración 05**
C	92.93	92.93	92.93	92.93	92.93	92.93
ϕ	33.10°	33.10°	33.10°	33.10°	33.10°	33.10°
ψ	16.153°	10°	22°	22°	22°	16.153°
E_{50}^{Ref}	5440.35	5440.35	5440.35	4000	4000	5440.35
E_{oed}^{Ref}	4020	4020	4020	4000	4000	4020
E_{ur}^{Ref}	16321.059	16321.059	16321.059	12000	12000	16321.059
m	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0
Vur	0.2	0.22	0.16	0.16	0.16	0.2
$Pref$	100	100	100	100	100	100
K_0^{nc}	0.4539	0.4539	0.4539	0.4539	0.4539	0.4539
Rf	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Con las iteraciones de la tabla 53 se obtuvieron las curvas del modelo Hardening Soil para las curvas experimentales CON carga – descarga mostradas en la **figura 102 ,** y como se puede ver, el modelo desde un principio y como se vio en la figura 101 no simula las curvas

experimentales de laboratorio debido a la naturaleza hiperbólica del modelo, por lo tanto, por más que se hagan varias combinaciones de parámetros, no se lograra de forma precisa la calibración, donde para la 5ta iteración se vuelve a los valores iniciales. Sin embargo, se pudo ver también que, durante el proceso de calibración, los módulos de rigidez E_{50}^{Ref}, E_{oed}^{Ref}, E_{ur}^{Ref} y el parámetro de dependencia de rigidez "m" tienen mucha relevancia en el modelado y calibración, a diferencia de los parámetros de Poisson carga – descarga (Vur) y ángulo de dilatancia (ψ) que afectaron en muy poco el cambio de curvas durante el calibrado.

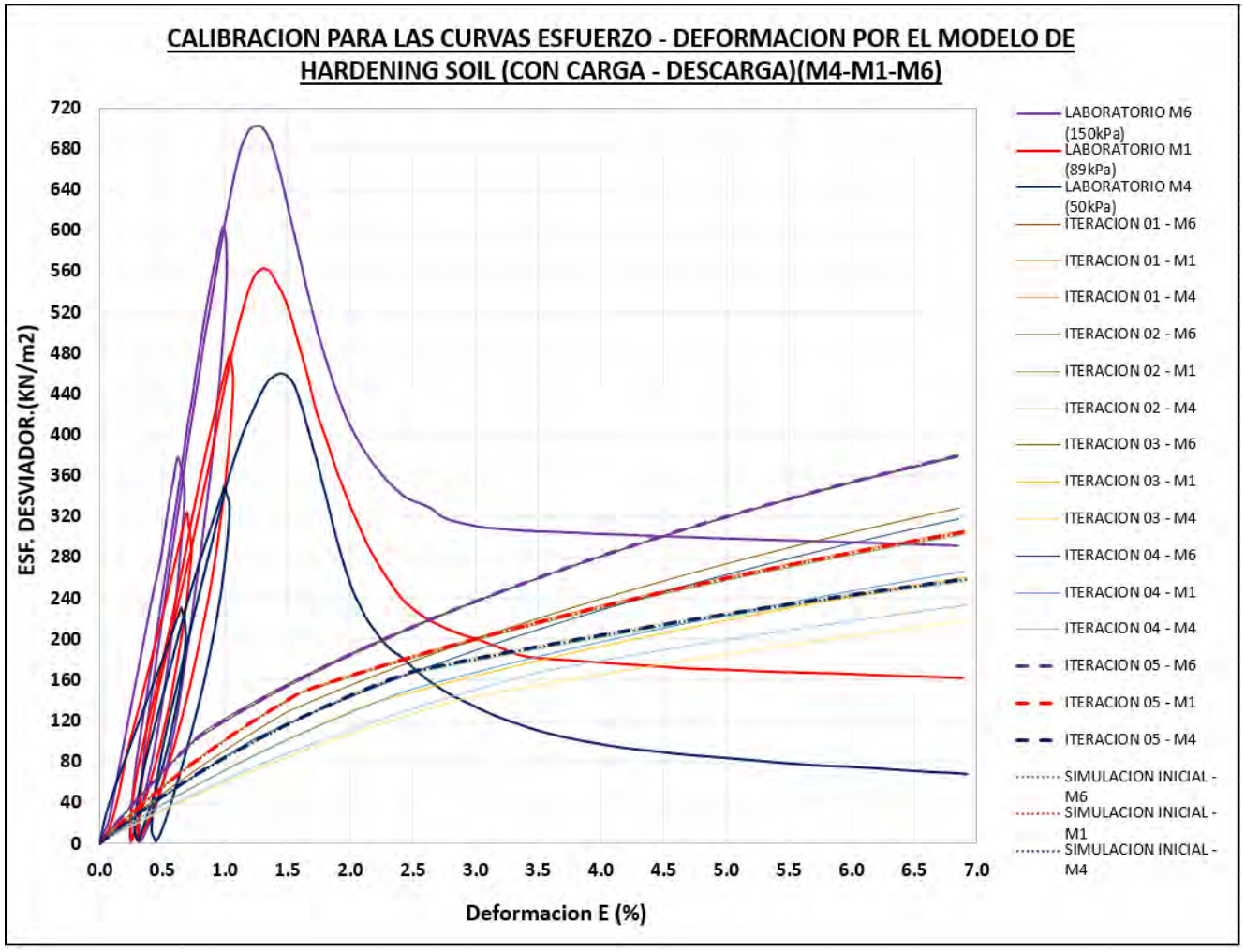
Por lo tanto, se usará la **figura 101** como simulación final para este caso.

Todos estos datos obtenidos pueden verse con detalle en el Anexo B2.

El análisis y discusión de estos resultados se verá en detalle en el Capítulo VI.

Figura 102

Calibración de los parámetros de Hardening Soil para las curvas CON carga - descarga (M4, M1 y M6)

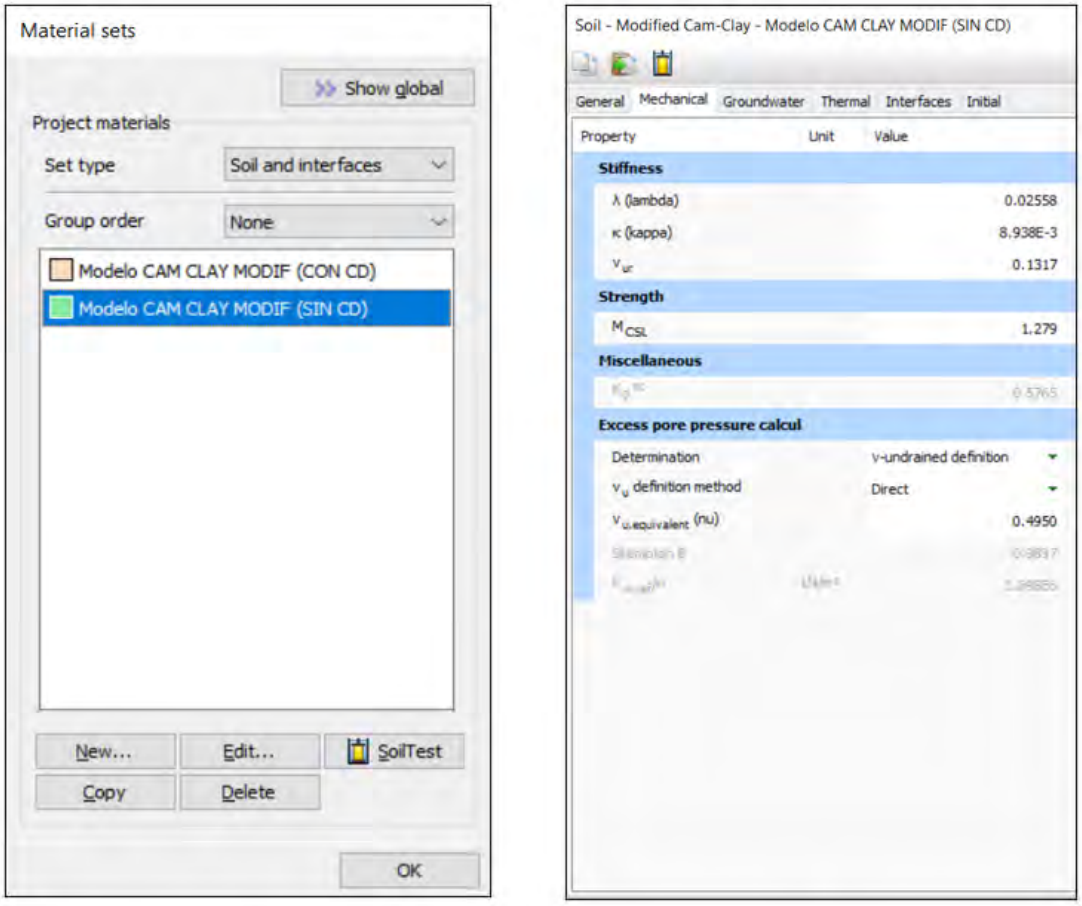


- **Resultados de Simulación Usando el Modelo Cam Clay Modificado**

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (CCM). Tal como se explicó en la sección 5.5.2 se crea un material para definir sus propiedades y características. La **figura 103 (a)** muestra la creación del material para el caso de Ensayo SIN carga – descarga nombrada como "Modelo Cam Clay Modificado SIN C-D", y para la **figura 103 (b)** se elige el Modelo Constitutivo de Cam Clay Modificado y se ingresa sus parámetros (ver la tabla 43) en la pestaña *Mechanical*. Los demás datos que ingresaremos en la ventana de la **figura 103 (b)** son obtenidos en la sección 4.3 y algunos de la obtención de parámetros.

Figura 103

(a) Creación de Material para el Ensayo SIN carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas del Modelo de Cam Clay Modificado.



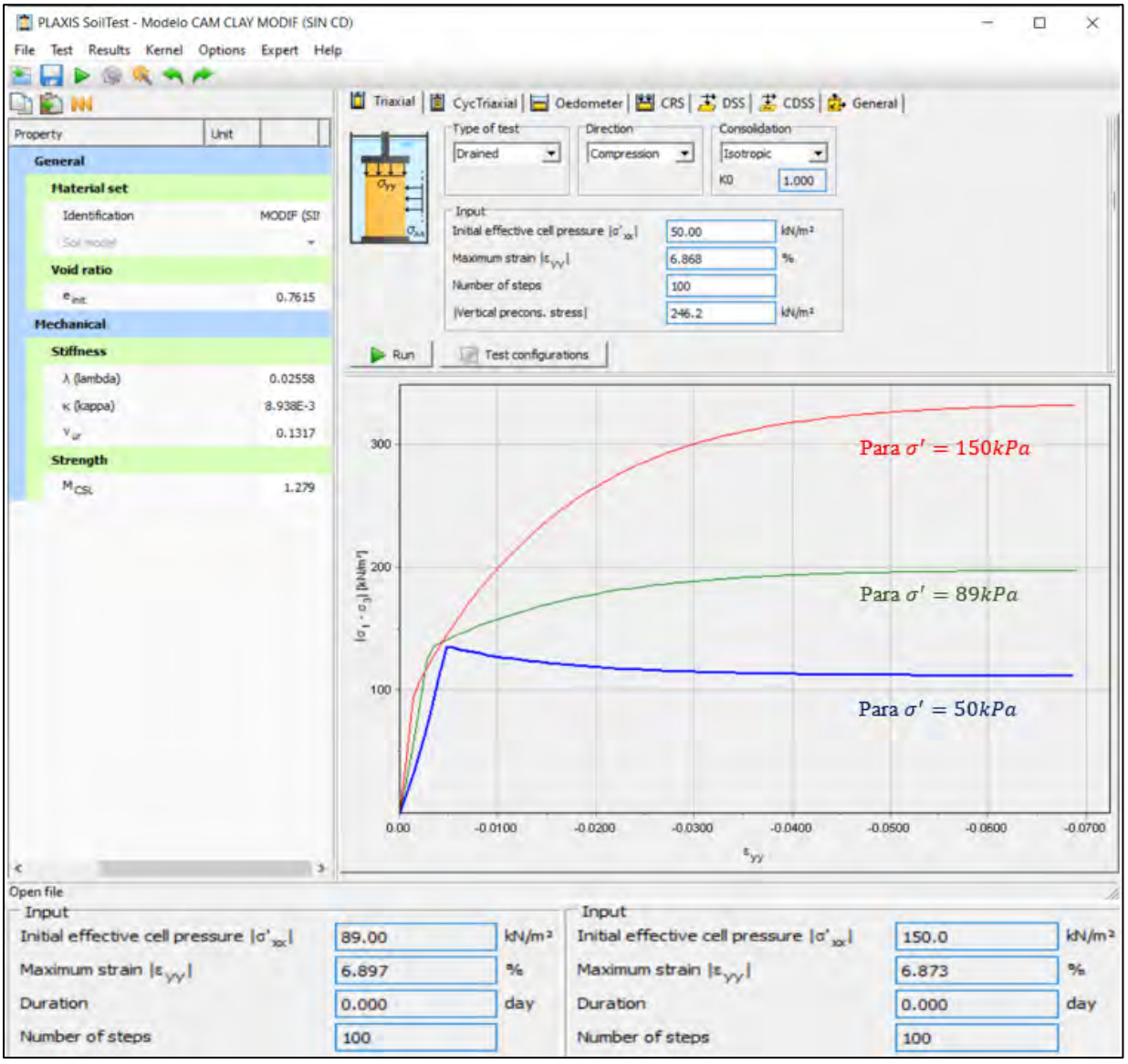
(a) (b)

Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis.

Ingresados todos los datos necesarios procedemos al uso de la Herramienta Soil Test, donde en la **figura 104** se elige el *Ensayo Triaxial Drenada Isotrópico* donde los datos a ingresar serán el *Initial Effective Cell Pressure* (Esfuerzo de Confinamiento), *Maximun Strain* (Deformación Máxima), *Number of Steps* y *Vertica Precon. Stress* ($P'_c = 246.2kPa$) para las tres muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) de acuerdo a la tabla 49.

Figura 104

Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) (SIN carga - descarga)

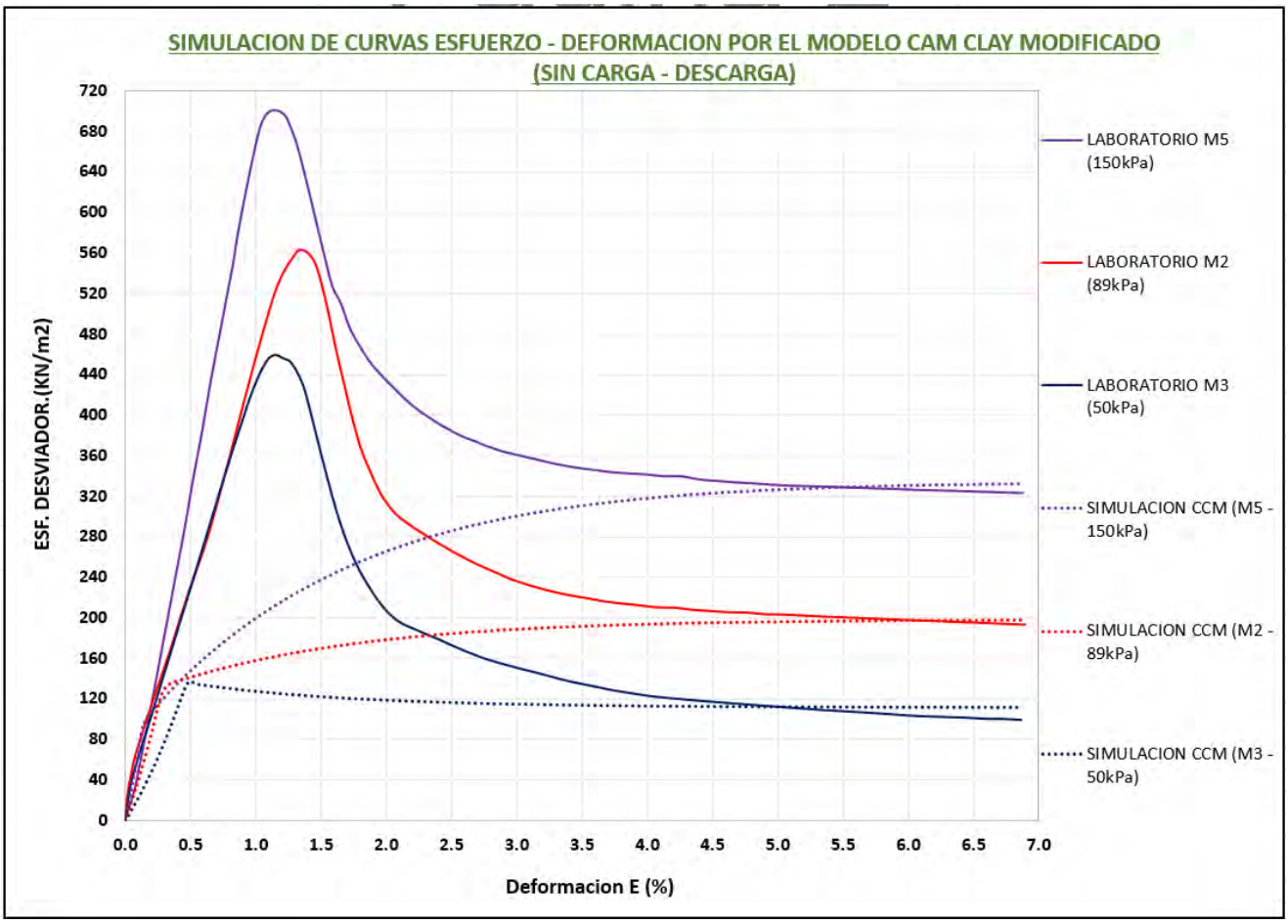


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Por lo tanto, las curvas obtenidas de la figura 104 pueden ser extrapolarlas a una Hoja Excel y compararlo con las curvas esfuerzo - deformación obtenidas de laboratorio, dándonos como resultado la **figura 105**.

Figura 105

Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M3, M2 y M5 (SIN carga - descarga) por el Modelo Cam Clay Modificado.



Todos los datos obtenidos anteriormente pueden verse con detalle en el Anexo B3, donde se muestra el procesamiento de los datos obtenidos, la extrapolación de datos del Soil Test, etc.

Con estos datos obtenidos procedemos a la calibración de los parámetros para un mejor ajuste a las curvas esfuerzo – deformación SIN carga - descarga, recordemos que la calibración se hace para un set de parámetros.

Calibración de los parámetros del Modelo Cam Clay Modificado por la Herramienta Soil Test (Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (M3 – M2 – M5)).

Para este caso solo se calibrará la relación de Poisson (v).

En la **tabla 54** se puede ver todas las iteraciones principales que se hicieron para la calibración a las curvas esfuerzo – deformación experimentales SIN carga – descarga.

Tabla 54

Calibración de Parámetros de Modelo Cam Clay Modificado (SIN carga – descarga)

Valores de Parámetros Cam Clay Modificado para las curvas SIN carga – descarga					
Nro. de Iteraciones	M	v	λ	κ	(e_{init})
Datos Iniciales	1.27897	0.1317	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 1	1.27897	0.10	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 2	1.27897	0.15	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 3	1.27897	0.175	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 4	1.27897	0.20	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 5	1.27897	0.1317	0.0256	0.00894	0.7615

Con las iteraciones de la **tabla 54** se obtuvieron las curvas del modelo Cam Clay Modificado para las curvas experimentales SIN carga – descarga mostradas en la **figura 106 ,** y como se puede ver, al hacer la calibración podemos ver que a medida que la relación de Poisson (v)aumenta, las curvas de modelo entre el 0% y 0.7% de deformación tienden a inclinarse más, alejándose de los valores experimentales, sin embargo la simulación para los esfuerzos residuales (que es lo relevante aquí) no cambian del todo, por lo tanto, podemos mantener los valores iniciales a la 5ta iteración para que los valores de los modelos no se alejen tanto de los experimentales en la parte inicial de la curva esfuerzo deformación.

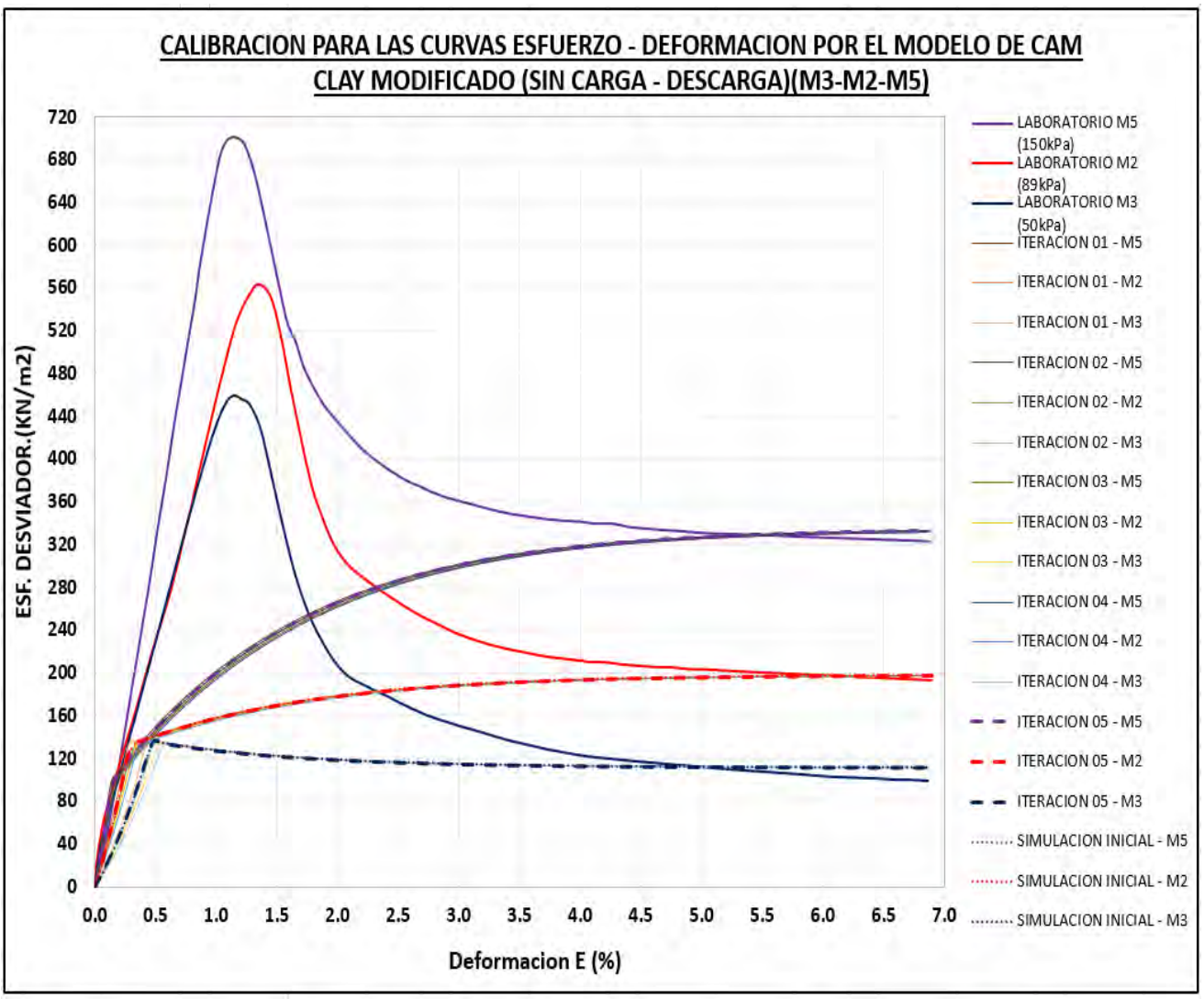
Por lo tanto, se usará la **figura 105** como simulación final para este caso.

Todos estos datos obtenidos pueden verse con detalle en el Anexo B3.

El análisis y discusión de estos resultados se verá en detalle en el Capítulo VI.

Figura 106

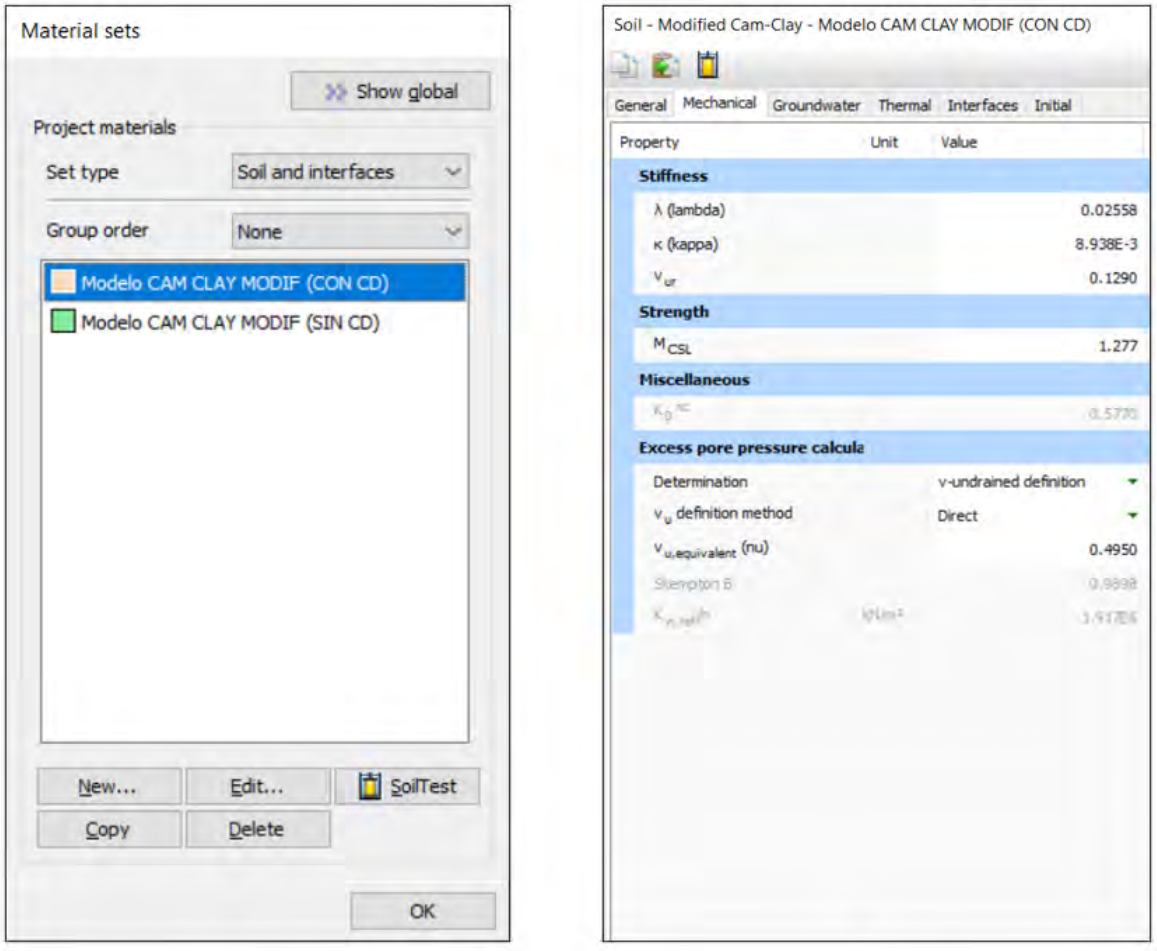
Calibración de los parámetros de Cam Clay Modificado para las curvas SIN carga - descarga (M3, M2 y M5)



Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (CCM). Así como se explicó en la sección 5.5.2 crearemos un material para definir sus propiedades y características. La **figura 107 (a)** muestra la creación del material para el caso de Ensayo CON carga – descarga nombrada como "Modelo de Cam Clay Modificado CON C-D", y para la **figura 107 (b)** se elige el Modelo Constitutivo de Cam Clay Modificado y se ingresa sus parámetros (ver la tabla 43) en la pestaña *Mechanical*. Los demás datos que ingresaremos en la ventana de la **figura 107 (b)** son obtenidos en la sección 4.3 y algunos de la obtención de parámetros.

Figura 107

(a) Creación de Material para el Ensayo CON carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas del Modelo de Cam Clay Modificado.

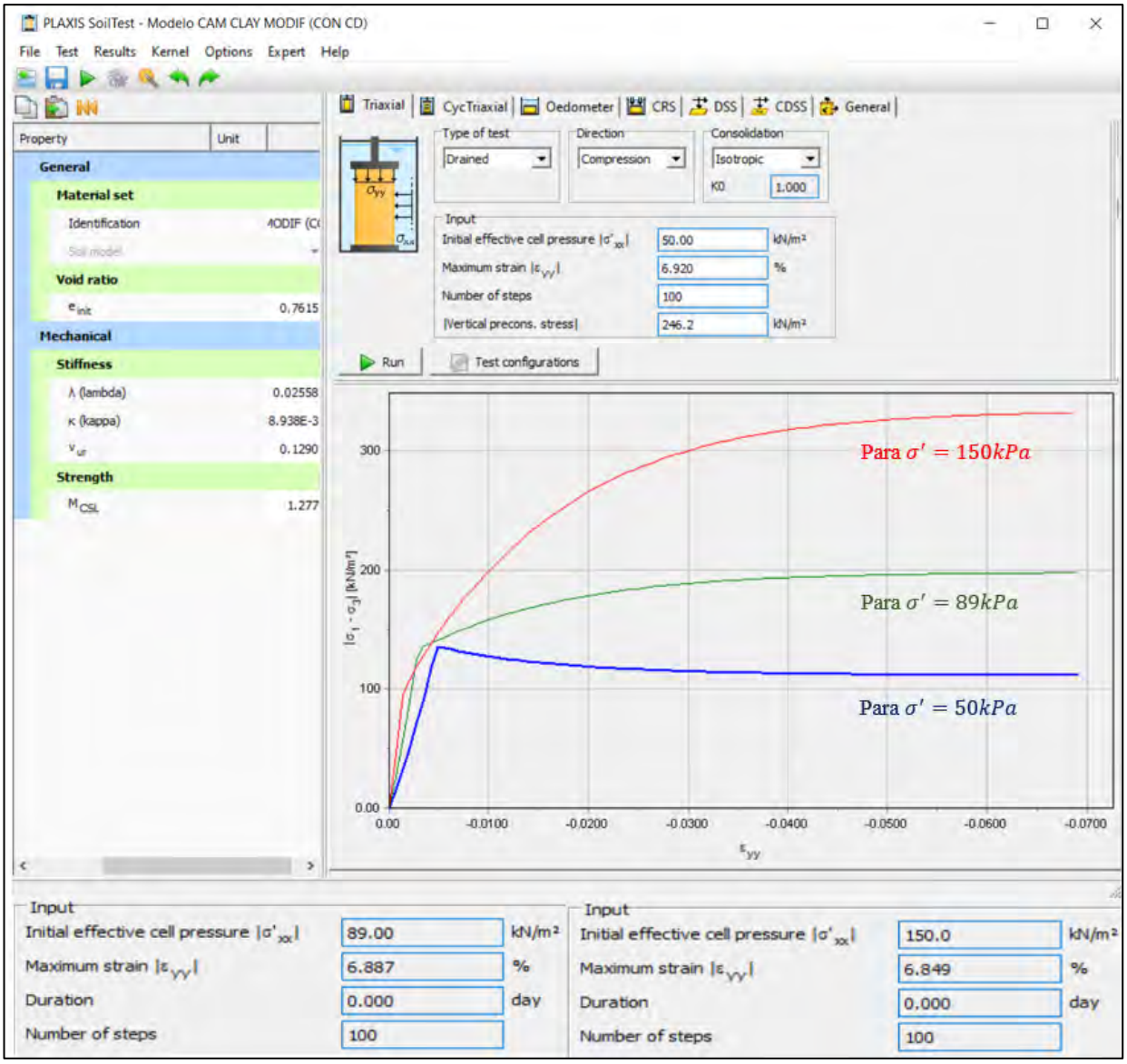


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis.

Ingresados todos los datos necesarios procedemos al uso de la Herramienta Soil Test, donde en la **figura 108** se elige el *Ensayo Triaxial Drenada Isotrópico* donde los datos a ingresar serán el *Initial Effective Cell Pressure* (Esfuerzo de Confinamiento), *Maximun Strain* (Deformación Máxima), *Number of Steps* y *Vertica Precon. Stress* ($P'_c = 246.2kPa$) para las tres muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) de acuerdo a la tabla 49.

Figura 108

Uso de la Herramienta Soil Test para las muestras M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) (CON carga - descarga)

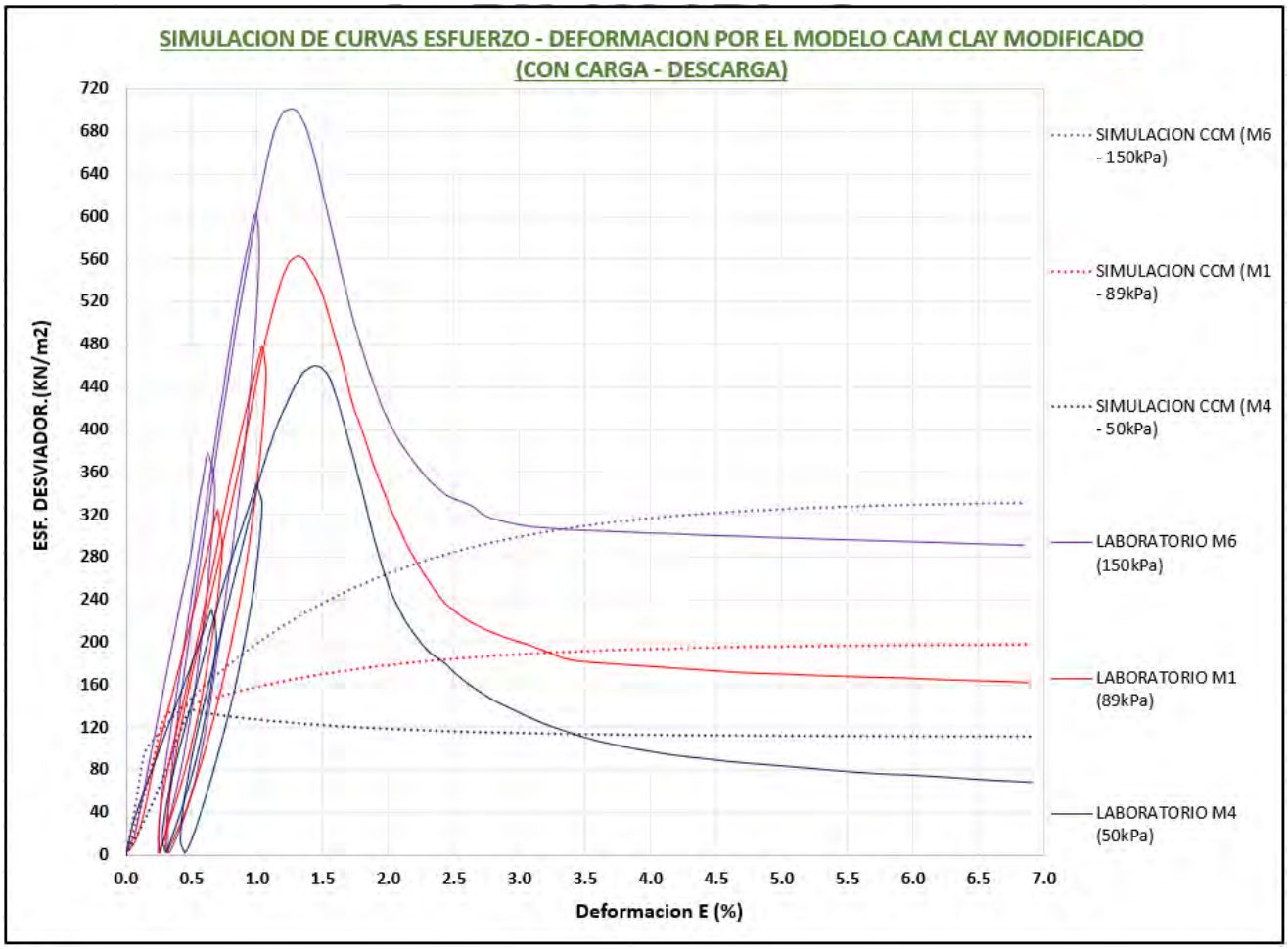


Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Por lo tanto, las curvas obtenidas de la figura 108 pueden ser extrapolarlas a una Hoja Excel y compararlo con las curvas esfuerzo - deformación obtenidas de laboratorio, dándonos como resultado la **figura 109.**

Figura 109

Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación de M4, M1 y M6 (CON carga - descarga) por el Modelo Cam Clay Modificado



Todos los datos obtenidos anteriormente pueden verse con detalle en el Anexo B3, donde se muestra el procesamiento de los datos obtenidos, la extrapolación de datos del Soil Test, etc.

Con estos datos obtenidos procedemos a la calibración de los parámetros para un mejor ajuste a las curvas esfuerzo – deformación CON carga - descarga, recordemos que la calibración se hace para un set de parámetros.

Calibración de los parámetros del Modelo Cam Clay Modificado por la Herramienta Soil Test (Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (M4 – M1 – M6)).

Para este caso también solo se calibrará la relación de Poisson (v).

En la **tabla 55** se puede ver todas las iteraciones principales que se hicieron para la calibración a las curvas esfuerzo – deformación experimentales CON carga – descarga.

Tabla 55

Calibración de Parámetros de Modelo Cam Clay Modificado (CON carga – descarga)

Valores de Parámetros Cam Clay Modificado para las curvas CON carga – descarga					
Nro. de Iteraciones	M	v	λ	κ	(e_{init})
Datos Iniciales	1.2771	0.129	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 1	1.2771	0.11	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 2	1.2771	0.15	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 3	1.2771	0.18	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 4	1.2771	0.22	0.0256	0.00894	0.7615
Iteración 5	1.2771	0.129	0.0256	0.00894	0.7615

Con las iteraciones de la **tabla 55** se obtuvieron las curvas del modelo Cam Clay Modificado para las curvas experimentales CON carga – descarga mostradas en la **figura 110 ,** y como se puede ver, al hacer la calibración podemos ver que a medida que la relación de Poisson (v) aumenta, las curvas de modelo entre el 0% y 0.7% de deformación tienden a inclinarse más, alejándose de los valores experimentales, sin embargo la simulación para los esfuerzos residuales (que es lo relevante aquí) no cambian del todo, por lo tanto, podemos mantener los valores iniciales a la 5ta iteración para que los valores de los modelos no se alejen tanto de los experimentales en la parte inicial de la curva esfuerzo deformación.

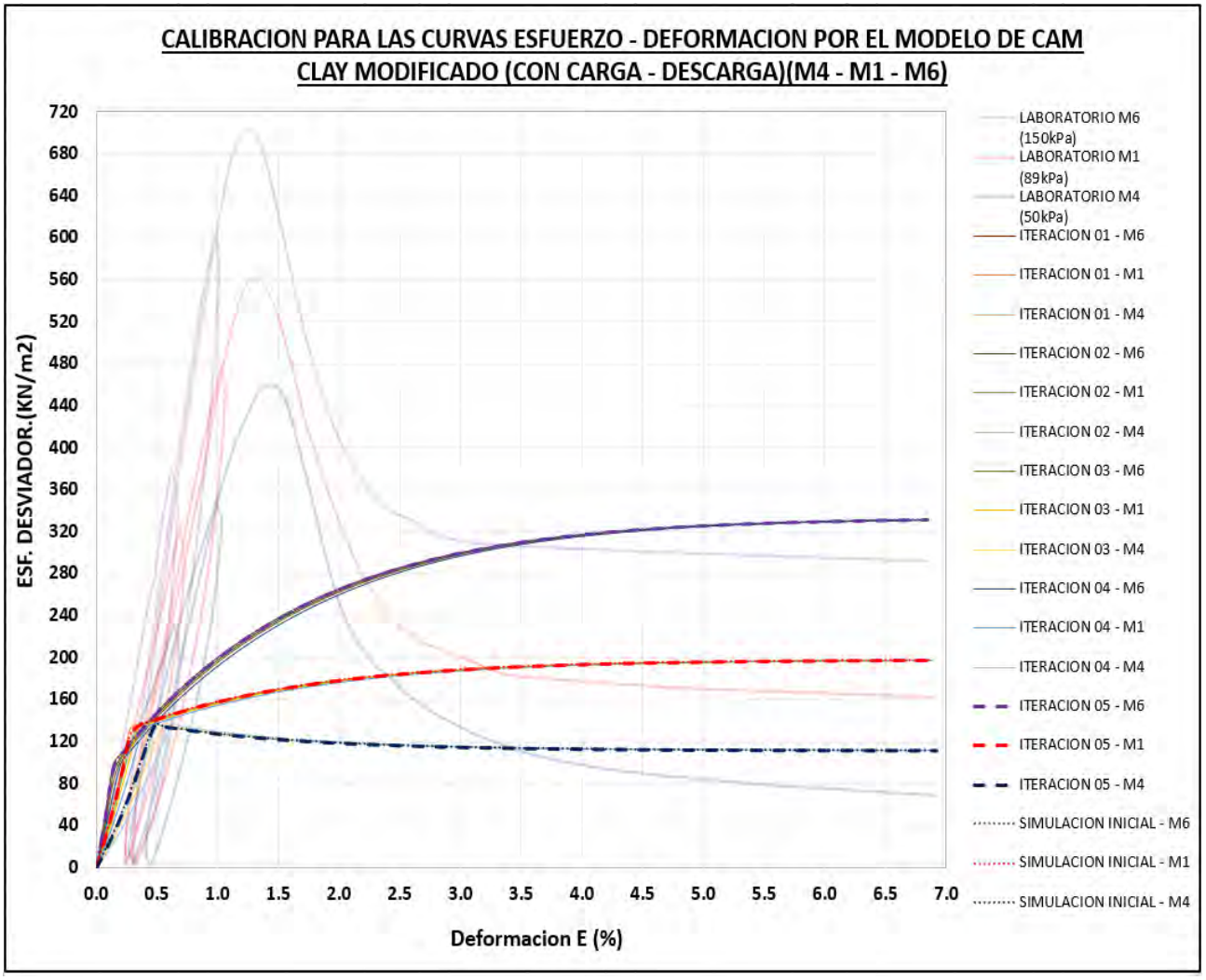
Por lo tanto, se usará la **figura 109** como simulación final para este caso.

Todos estos datos obtenidos pueden verse con detalle en el Anexo B3.

El análisis y discusión de estos resultados se verá en detalle en el Capítulo VI.

Figura 110

Calibración de los parámetros de Cam Clay Modificado para las curvas CON carga - descarga (M4, M1 y M6)



- **Resultados de Simulación Usando el Modelo de la Hipoplasticidad**

Como se indicó en la sección 5.4 para la tabla 48 se necesitan calibrar algunos parámetros para la simulación de las curvas esfuerzo – deformación en toda condición de carga. En la **tabla 56** se muestran los valores estándar para $R, \beta_r \ y \ X$, sin embargo, para los parámetros *r,* m_R *,* m_T*,* podemos usar los valores usados por Masín (2004) solo como dato inicial.

Tabla 56

Parámetros faltantes a calibrar para el Modelo de la Hipoplasticidad.

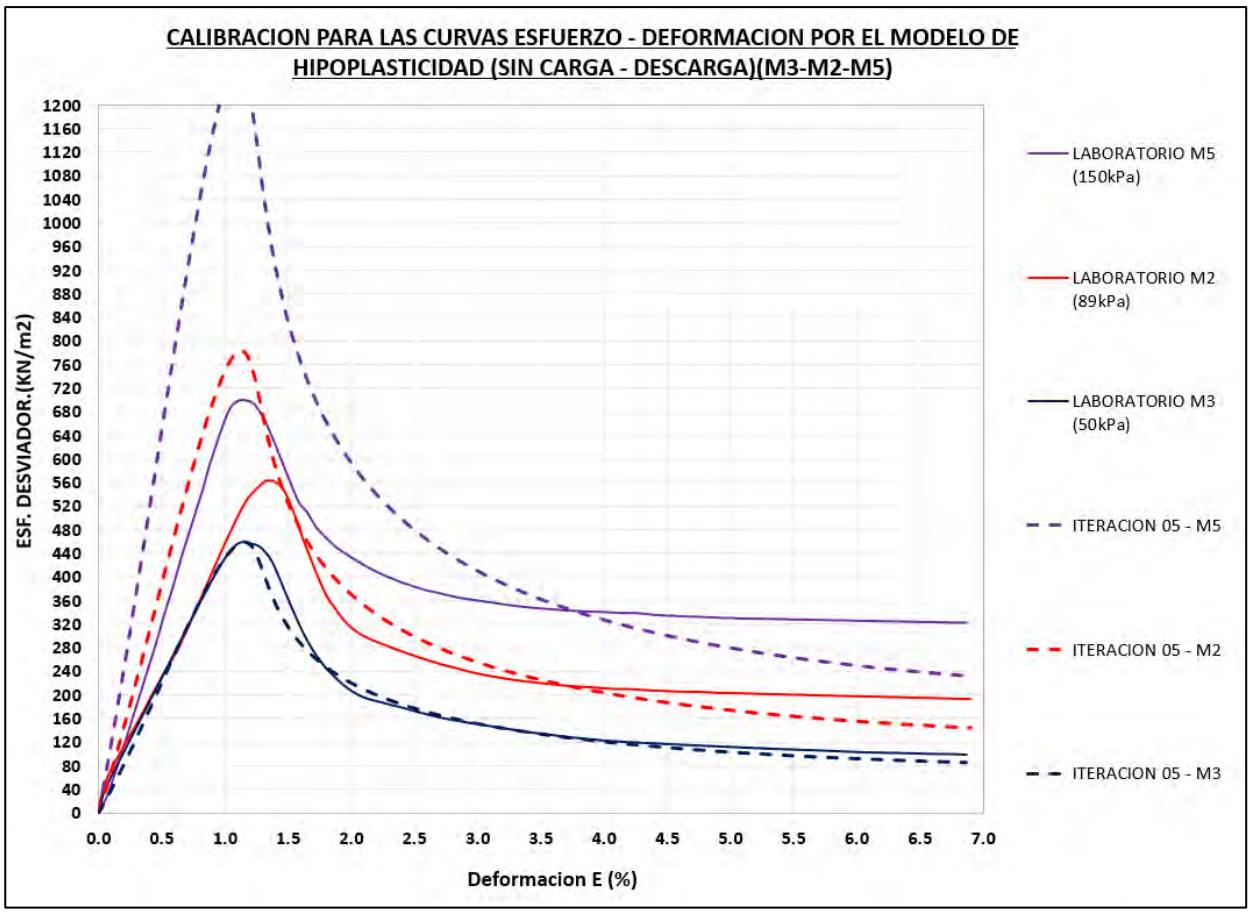
Parámetros faltantes del Modelo de la Hipoplasticidad	Ensayo **SIN** Carga – Descarga M3 - M2 - M5	Ensayo **CON** Carga – Descarga M4 - M1 - M6
Parámetro *(r)*		0.4
Parámetro (*R)*		10^{-4}
Parámetro (m_R)		4.5
Parámetro (m_T)		4.5
Parámetro (β_r)		0.2
Parámetro (X)		6

Nota. Masín (2004, pp. 16 - 17).

Como se mencionó anteriormente se debe usar un set de parámetros para simular las curvas esfuerzo - deformación, sin embargo, durante la investigación se mostro que un set de parámetros no lograba calibrarse o ajustarse a todas las curvas esfuerzo – deformación (como se muestra en la **figura 111**). Cuando sucede este tipo de casos se debe calibrar los parámetros para cada curva esfuerzo -deformación en específico (para esa condición de carga), en este caso es para 50kPa, 89kPa y 150kPa, respectivamente, y cuando se tenga otra condición de carga diferente a las otras, se tendrá que de nuevo calibrar los parámetros.

Figura 111

Intento de Calibración con un set de parámetros para la simulación de las curvas esfuerzo - deformación.



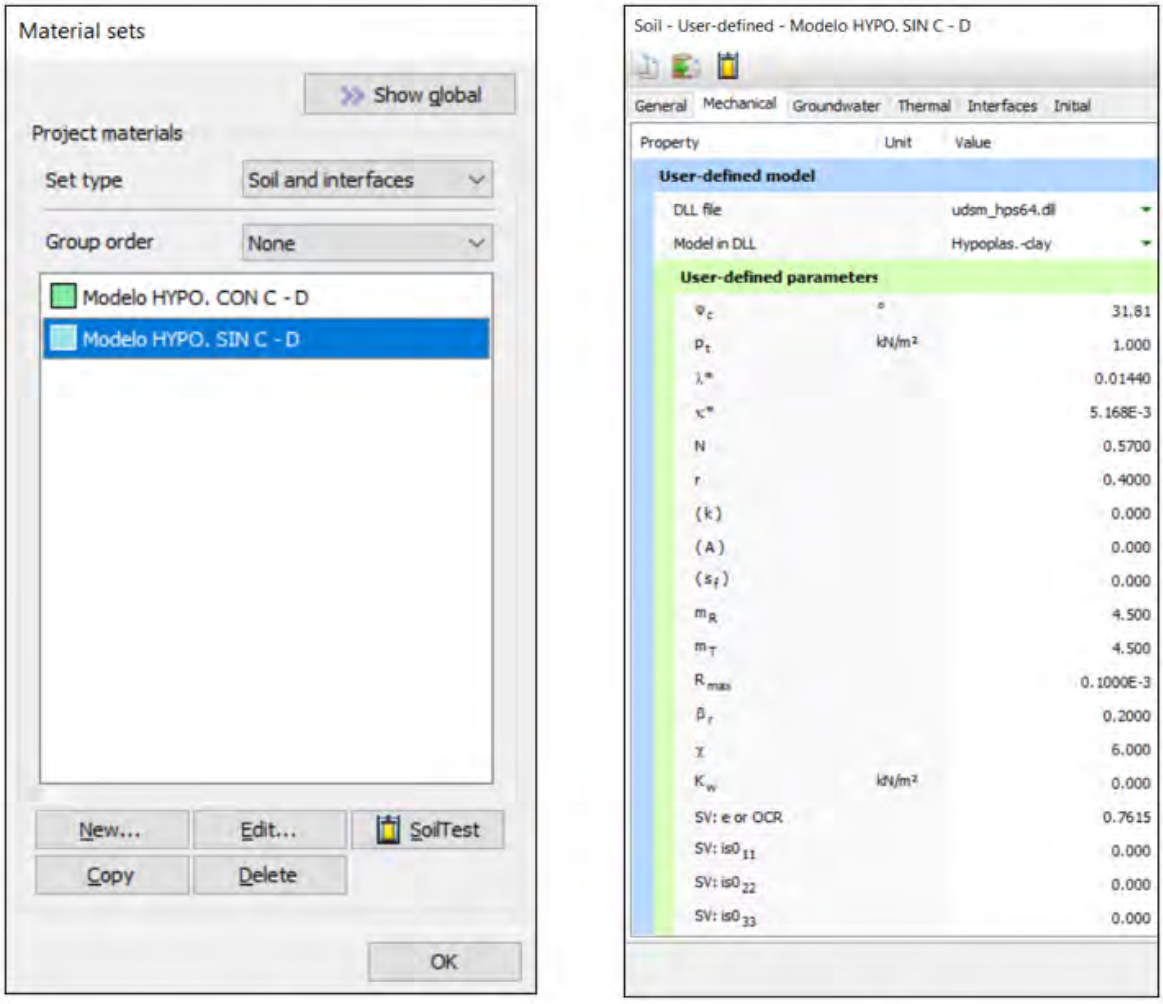
Nota. Note como la curva del modelo calibra bien para un estado de esfuerzo de 50kPa, pero a medida que aumenta el confinamiento las curvas del modelo se alejan considerablemente.

Por lo tanto, con los valores de los parámetros faltantes en la tabla 48 calibraremos para cada curva esfuerzo - deformación de cada ensayo, es decir cada curva esfuerzo – deformación de los ensayos SIN carga – descarga (muestras M3, M2 y M5) y de los ensayos CON carga – descarga (muestras M4, M1 y M6) tendrán sus propios parámetros faltantes *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *, X*. distinto al caso de los anteriores modelos donde se usaba un solo set de parámetros.

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (HP). Se crea un material para definir sus propiedades y características. La **figura 112 (a)** nos muestra la creación del material para el caso de Ensayo SIN carga – descarga nombrada como "Modelo HYPO. SIN C-D", y para la **figura 112 (b)** se elige el Modelo Constitutivo de la Hipoplasticidad para arcillas y se ingresa sus parámetros (obtenidos en la tabla 48 y 56) en la pestaña *Mechanical*. Los demás datos que ingresaremos en la ventana de la **figura 112 (b)** son obtenidos en la sección 4.3 y algunos de la obtención de parámetros.

Figura 112

(a) Creación de Material para el Ensayo SIN carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de la Hipoplasticidad.



(a) (b)

Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis.

Para la Muestra M3 (50kPa). Usando la tabla 48 y la tabla 49 para la muestra M3 se procedió a la calibración de los parámetros faltantes, poniendo como datos iniciales la tabla 56 para *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X.

Se hicieron muchas iteraciones en la herramienta Soil Test para la calibración de los parámetros *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X, y muestran principalmente diez de estas iteraciones en la **tabla 57**. Tenga en cuenta que los demás parámetros fijos están en la tabla 48.

Tabla 57

Parámetros r, R, m_R *,* m_T*,* β_r *y X a calibrar para la Muestra M3 (50kPa).*

Valores de Parámetros a Calibrar para la MUESTRA M3 (50kPa)						
Nro. de Iteraciones	r	R	m_R	m_T	β_r	X
Datos Iniciales	0.4	10^{-4}	4.5	4.5	0.2	6
Iteración 1	0.35	10^{-4}	7.00	7.00	0.019	1.10
Iteración 2	0.34	$9.6 * 10^{-5}$	1.2	1.2	$2.09 * 10^{-3}$	2.05
Iteración 3	0.29	$9.3 * 10^{-5}$	0.95	0.95	$2.05 * 10^{-3}$	2.145
Iteración 4	0.295	$9.5 * 10^{-5}$	1.620	1.620	$1.92 * 10^{-3}$	1.27
Iteración 5	0.31	$8.1 * 10^{-5}$	1.9	1.9	$2.15 * 10^{-3}$	1.2
Iteración 6	0.30	$8.4 * 10^{-5}$	2.55	2.55	$2.45 * 10^{-3}$	1.12
Iteración 7	0.28	$7.2 * 10^{-5}$	2.50	2.50	$2.05 * 10^{-3}$	1.05
Iteración 8	0.265	$7.5 * 10^{-5}$	2.4	2.4	$2.60 * 10^{-3}$	1.00
Iteración 9	0.27	$8.5 * 10^{-5}$	1.4	1.4	$1.38 * 10^{-3}$	1.10
Iteración 10	0.258	10^{-4}	1.538	1.538	$1.25 * 10^{-3}$	1.16

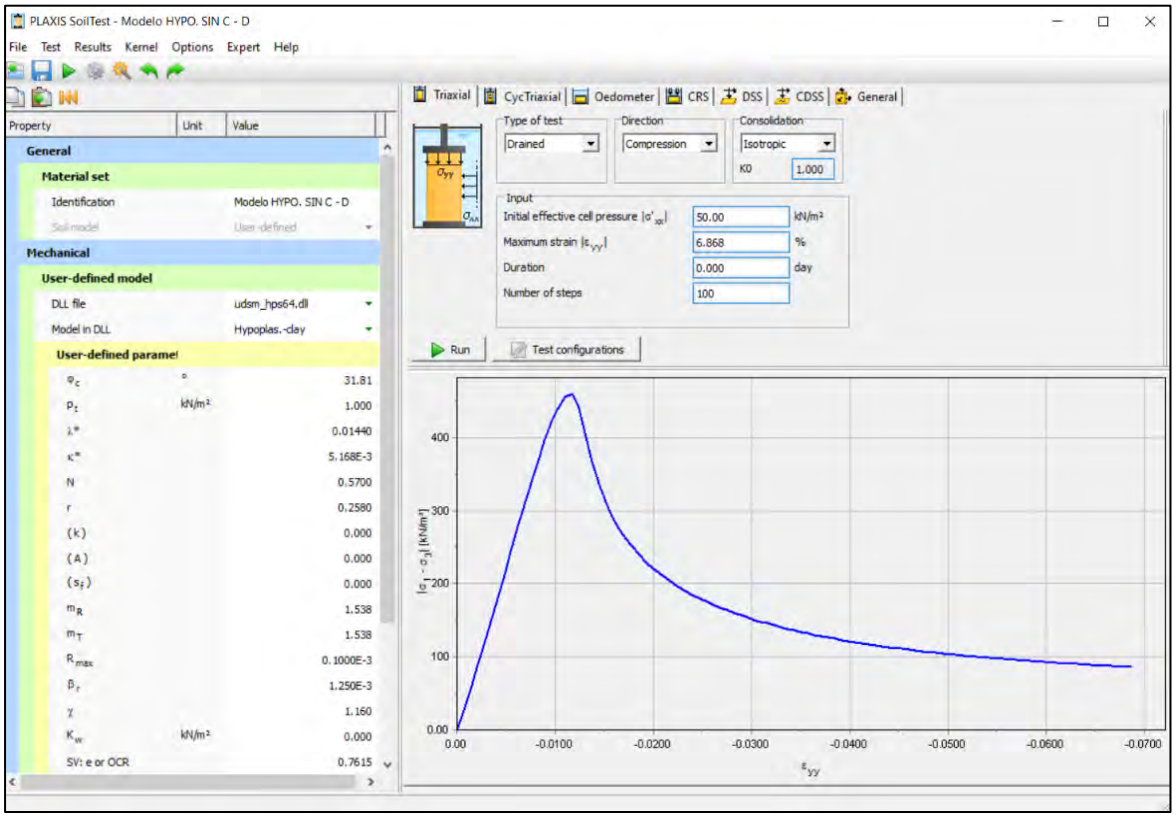
Por lo tanto, la tabla 57 - Iteración 10 nos muestra los parámetros calibrados *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X, más precisos para simular la curva esfuerzo - deformación de M3 (50kPa).

Así, obtendremos la **figura 113** que muestra la curva – esfuerzo deformación para la Iteración 10 en la herramienta Soil Test, y en la **figura 114** todas las curvas esfuerzo – deformación de las iteraciones de la tabla 57, destacando la curva de la Iteración Nro. 10.

Para más detalle del proceso de Calibración para M3 (50kPa) ver el Anexo B5.

Figura 113

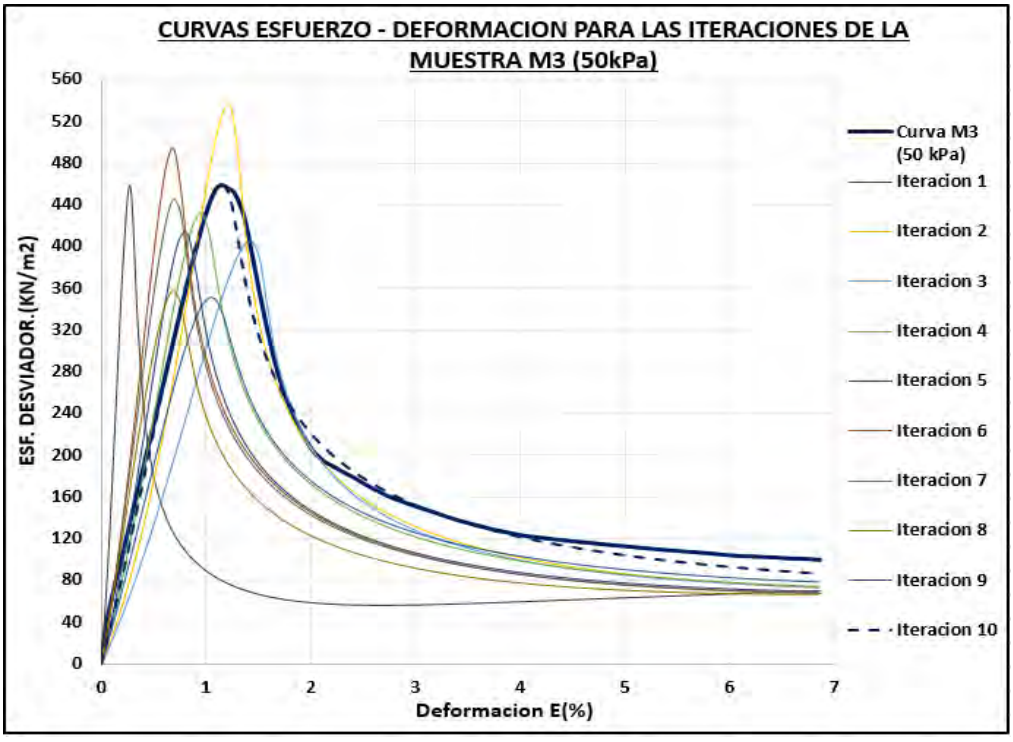
Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M3 (50kPa)



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Figura 114

Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M3 (50kPa)



Para la Muestra M2 (89kPa). De forma similar usando la tabla 48 y la tabla 49 para la muestra M2 se procedió a la calibración de los parámetros faltantes, poniendo como datos iniciales la tabla 56 para *r, R,* m_R *,*m_T*,* β_r *y* X.

Se hicieron muchas iteraciones en la herramienta Soil Test para la calibración de los parámetros *r, R,* m_R *,*m_T*,* β_r *y* X, y muestran también principalmente diez de estas iteraciones en la **tabla 58**. Tenga en cuenta que los demás parámetros fijos están en la tabla 48.

Tabla 58

Parámetros r, R, m_R *,*m_T*,* β_r *y X a calibrar para la Muestra M2 (89kPa).*

Valores de Parámetros a Calibrar para la MUESTRA M2 (89kPa)						
Nro. de Iteraciones	r	R	m_R	m_T	β_r	X
Datos Iniciales	0.4	10^{-4}	4.5	4.5	0.2	6
Iteración 1	0.2	$7.5 * 10^{-5}$	1.95	1.95	$8.5 * 10^{-3}$	1.7
Iteración 2	0.22	$6.5 * 10^{-5}$	1.5	1.5	$9.5 * 10^{-3}$	3.5
Iteración 3	0.33	$9.5 * 10^{-5}$	0.86	0.86	$2.8 * 10^{-3}$	1.96
Iteración 4	0.32	$7.0 * 10^{-5}$	1.09	1.09	$2.5 * 10^{-3}$	1.95
Iteración 5	0.275	$7.0 * 10^{-5}$	0.73	0.73	$1.32 * 10^{-3}$	1.95
Iteración 6	0.28	$6.2 * 10^{-4}$	0.7	0.7	$1.35 * 10^{-3}$	1.88
Iteración 7	0.30	$8.2 * 10^{-4}$	0.75	0.75	$1.45 * 10^{-3}$	2.00
Iteración 8	0.315	$8.5 * 10^{-5}$	1.45	1.45	$1.40 * 10^{-3}$	1.05
Iteración 9	0.35	10^{-4}	1.050	1.050	$1.0 * 10^{-3}$	1.0
Iteración 10	0.30	10^{-4}	0.9375	0.9375	$1.0 * 10^{-3}$	1.16

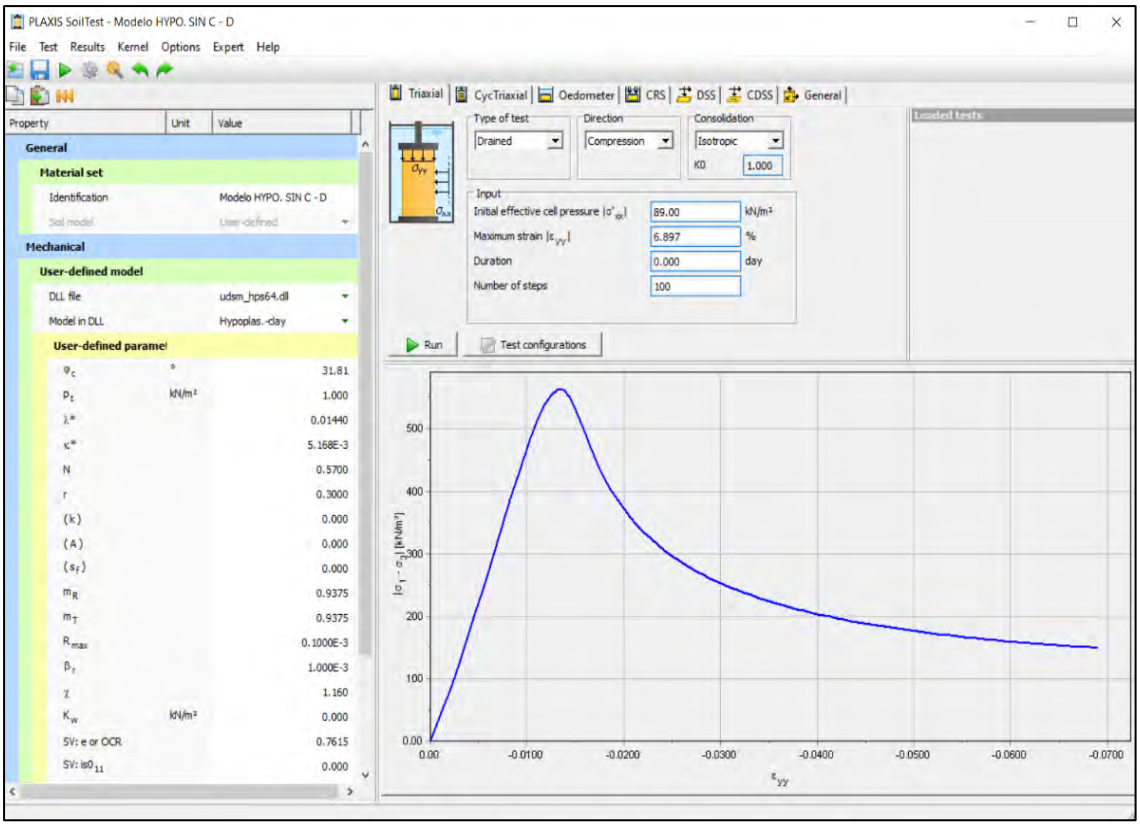
Por lo tanto, la tabla 58 - Iteración 10 nos muestra los parámetros calibrados *r, R,* m_R *,*m_T*,* β_r *y* X, más precisos para simular la curva esfuerzo - deformación de M2 (89kPa).

Así, obtendremos la **figura 115** que muestra la curva – esfuerzo deformación para la Iteración 10 en la herramienta Soil Test, y en la **figura 116** todas las curvas esfuerzo – deformación de las iteraciones de la tabla 58, destacando la curva de la Iteración Nro. 10.

Para más detalle del proceso de Calibración para M2 (89kPa) ver el Anexo B5.

Figura 115

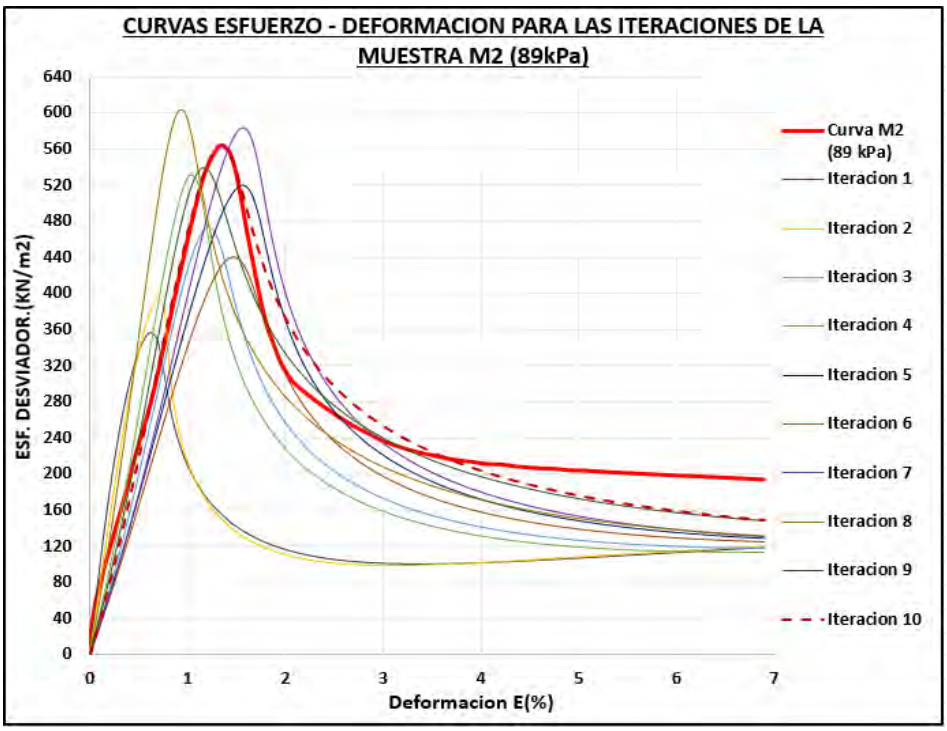
Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M2 (89kPa)



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Figura 116

Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M2 (89kPa)



Para la Muestra M5 (150kPa). De forma similar usando la tabla 48 y la tabla 49 para la muestra M5 se procedió a la calibración de los parámetros faltantes, poniendo como datos iniciales la tabla 56 para *r, R,* m_R *,*m_T*,* β_r *y* X.

Se hicieron muchas iteraciones en la herramienta Soil Test para la calibración de los parámetros *r, R,* m_R *,*m_T*,* β_r *y* X, y muestran también principalmente diez de estas iteraciones en la **tabla 59**. Tenga en cuenta que los demás parámetros fijos están en la tabla 48.

Tabla 59

Parámetros r, R, m_R *,*m_T*,* β_r *y X a calibrar para la Muestra M5 (150kPa).*

Valores de Parámetros a Calibrar para la MUESTRA M5 (150kPa)						
Nro. de Iteraciones	r	R	m_R	m_T	β_r	X
Datos Iniciales	0.4	10^{-4}	4.5	4.5	0.2	6
Iteración 1	0.30	$6 * 10^{-5}$	0.76	0.76	$2.1 * 10^{-3}$	1.8
Iteración 2	0.30	$6.5 * 10^{-5}$	0.65	0.65	$1.30 * 10^{-3}$	1.7
Iteración 3	0.32	$8.8 * 10^{-5}$	0.70	0.70	$1.35 * 10^{-3}$	1.55
Iteración 4	0.31	$8.5 * 10^{-5}$	1.05	1.05	$1.5 * 10^{-3}$	1.15
Iteración 5	0.295	$7.5 * 10^{-5}$	1.24	1.24	$1.9 * 10^{-3}$	1.04
Iteración 6	0.285	$6.44 * 10^{-4}$	1.85	1.85	$3.2 * 10^{-3}$	0.95
Iteración 7	0.29	$6.55 * 10^{-4}$	1.71	1.71	$3.1 * 10^{-3}$	1.108
Iteración 8	0.29	$6.55 * 10^{-5}$	1.75	1.75	$2.1 * 10^{-3}$	0.95
Iteración 9	0.35	$7.8 * 10^{-5}$	0.95	0.95	$1.3 * 10^{-3}$	1.25
Iteración 10	0.36	$9.5 * 10^{-5}$	0.9379	0.9379	$1.22 * 10^{-3}$	1.025

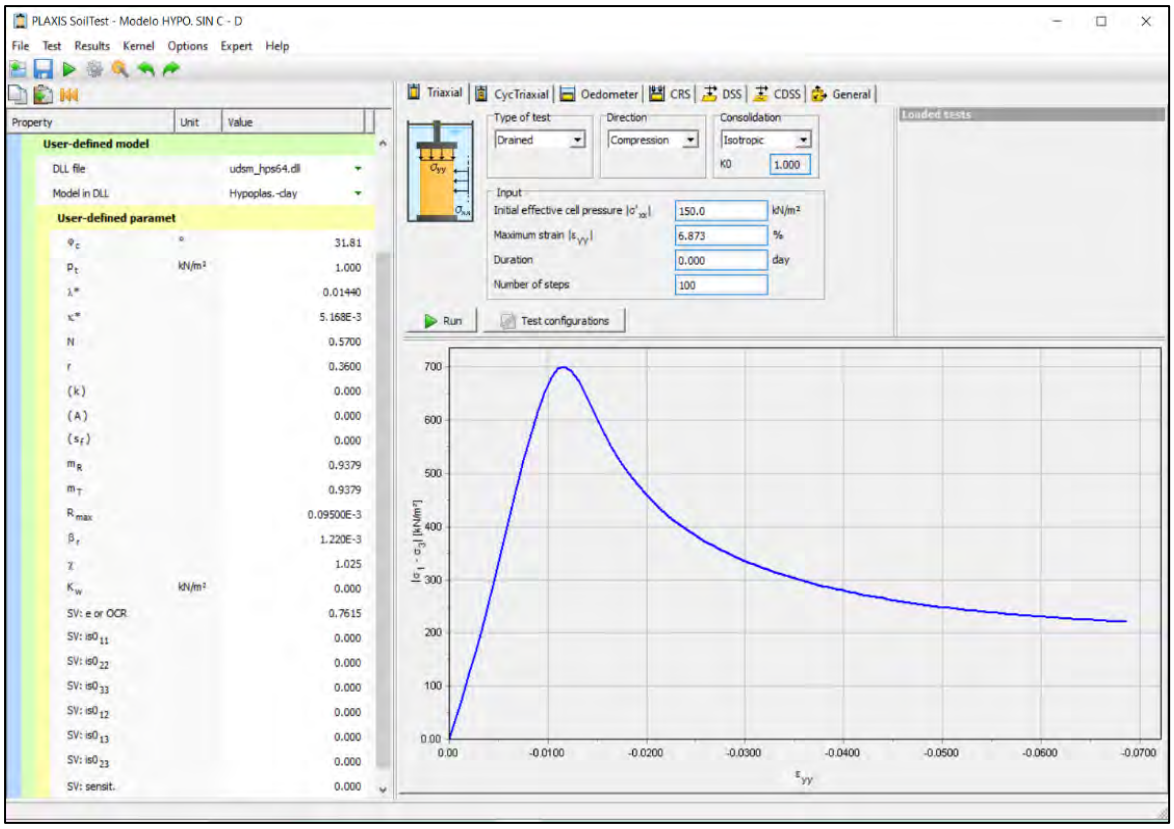
Por lo tanto, la tabla 59 - Iteración 10 nos muestra los parámetros calibrados *r, R,* m_R *,*m_T*,* β_r *y* X, más precisos para simular la curva esfuerzo - deformación de M5 (150kPa).

Así, obtendremos la **figura 117** que muestra la curva – esfuerzo deformación para la Iteración 10 en la herramienta Soil Test, y en la **figura 118** todas las curvas esfuerzo – deformación de las iteraciones de la tabla 59, destacando la curva de la Iteración Nro. 10.

Para más detalle del proceso de Calibración para M5 (150kPa) ver el Anexo B5.

Figura 117

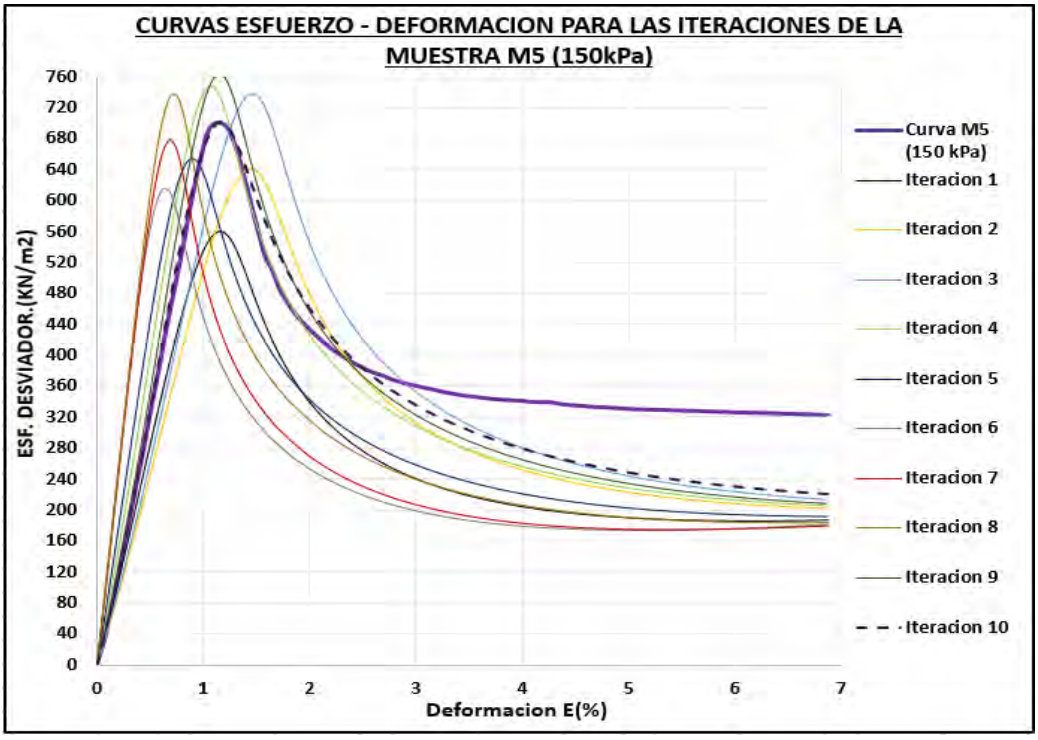
Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M5 (150kPa)



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Figura 118

Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M5 (150kPa)



Por lo tanto, para las muestras M3, M2 y M5 los parámetros *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X junto con los parámetros fijos de la tabla 48 nos dio la **tabla 60**, donde se muestra un resumen de los parámetros obtenidos para el caso de Ensayo SIN carga – descarga.

Tabla 60

Parámetros finales para M3, M2 y M5.

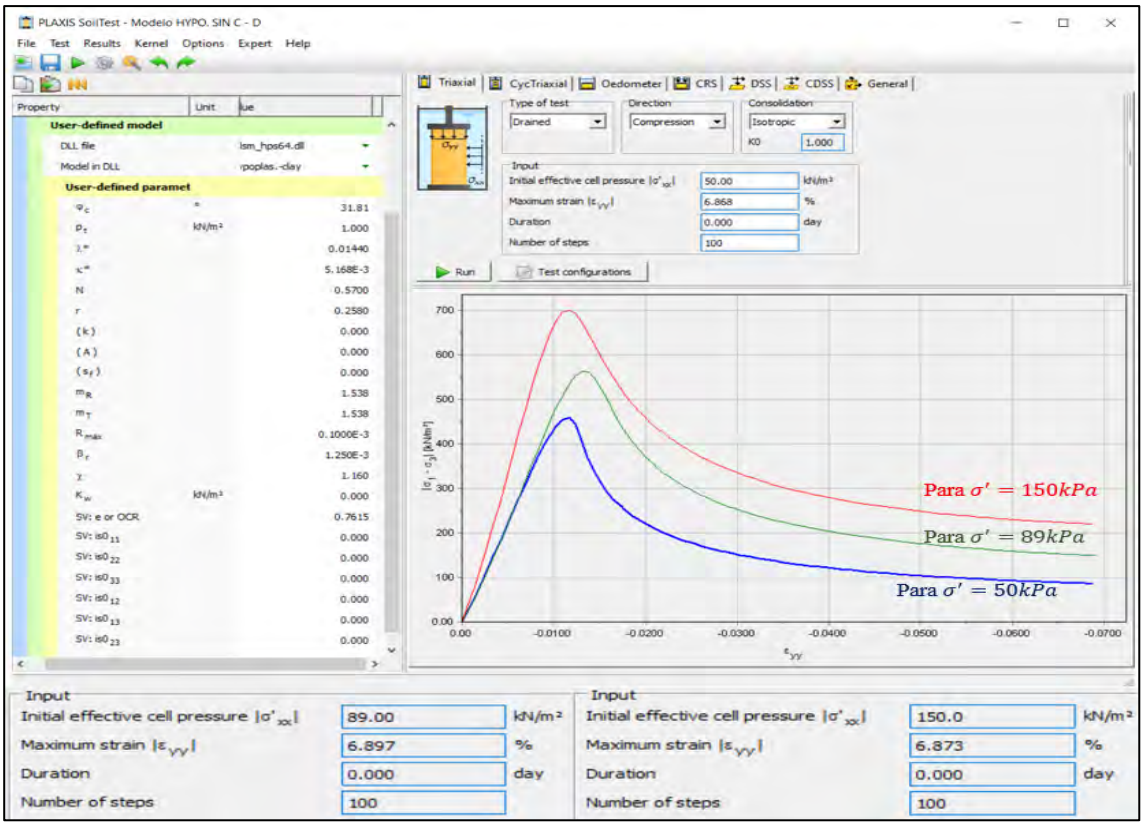
Parámetros Finales para M3, M2 y M5 (Ensayo **SIN** Carga –Descarga**)**

Parámetros de Hipoplasticidad	**M3 (50kPa)**	**M2 (89kPa)**	**M5 (150kPa)**
Angulo de Fricción Critico (φ_c)		31.81°	
Valor de p_t		1 kPa	
(λ^*)		0.0144	
(κ^*)		0.005168	
(N)		0.56998 (Plaxis lo aprox. a 0.57)	
(r)	0.258	0.30	0.36
(R)	10^{-4}	10^{-4}	$9.5 * 10^{-5}$
(m_R)	1.538	0.9375	0.9379
(m_T)	1.538	0.9375	0.9379
(β_r)	$1.25 * 10^{-3}$	$1.0 * 10^{-3}$	$1.22 * 10^{-3}$
(X)	1.16	1.16	1.025
Relación de vacíos inicial (e_{init})		0.7615	

Con los datos obtenidos en la tabla 60 tendremos finalmente la **figura 119** obtenida de la herramienta Soil Test y haciendo una exportación a una hoja Excel se obtiene la **figura 120** para las comparaciones entre las curvas esfuerzo - deformación del modelo y de laboratorio (Ver Anexo B5). El análisis y discusión de estos resultados se verá en el Capítulo VI.

Figura 119

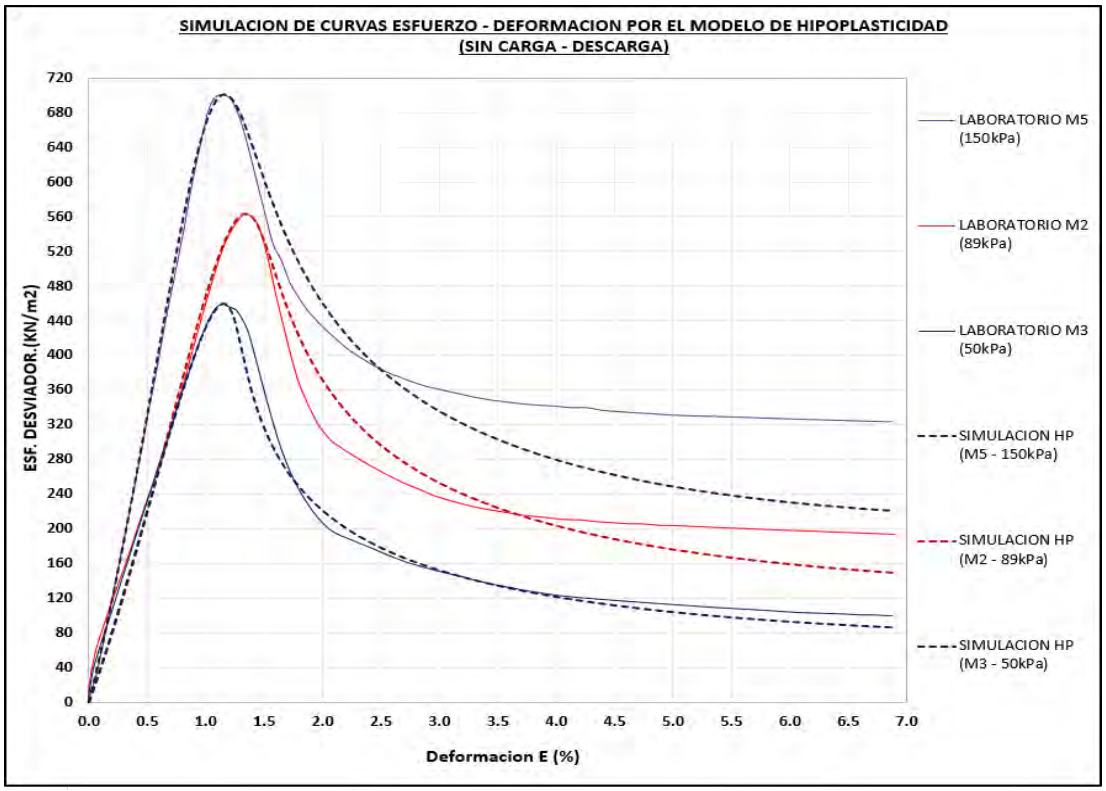
Curvas Esfuerzo - Deformación para M3, M2 y M5 en la herramienta Soil Test.



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Figura 120

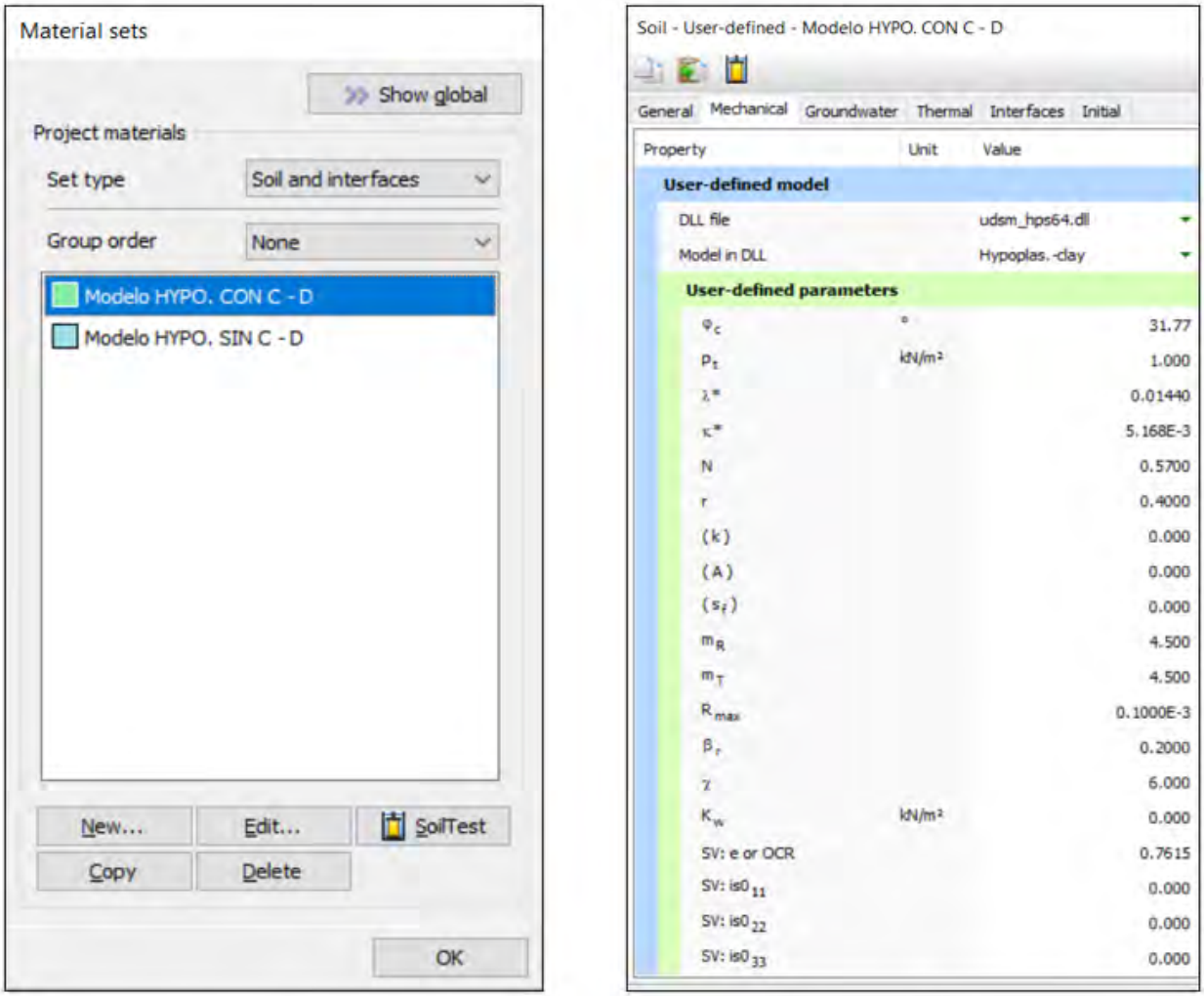
Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación para M3, M2 y M5 (SIN Carga – Descarga)



Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (HP). Se crea un material para definir sus propiedades y características. La **figura 121 (a)** nos muestra la creación del material para el caso de Ensayo CON carga – descarga nombrada como "Modelo HYPO. CON C-D", y para la **figura 121 (b)** se elige el Modelo Constitutivo de la Hipoplasticidad para arcillas y se ingresa sus parámetros (obtenidos en la tabla 48 y 56) en la pestaña *Mechanical*. Los demás datos que ingresaremos en la ventana de la **figura 121 (b)** son obtenidos en la sección 4.3 y algunos de la obtención de parámetros.

Figura 121

(a) Creación de Material para el Ensayo CON carga - descarga, (b) Ingreso de parámetros y propiedades mecánicas para el Modelo de la Hipoplasticidad.



(a) (b)

Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis.

Para la Muestra M4 (50kPa). Usando la tabla 48 y la tabla 49 para la muestra M4 se procedió a la calibración de los parámetros faltantes, poniendo como datos iniciales la tabla 56 para *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X.

Se hicieron muchas iteraciones en la herramienta Soil Test para la calibración de los parámetros *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X, y se muestran principalmente diez de estas iteraciones en la **tabla 61**. Tenga en cuenta que los demás parámetros fijos están en la tabla 48.

Tabla 61

Parámetros r, R, m_R *,* m_T*,* β_r *y X a calibrar para la Muestra M4 (50kPa).*

Valores de Parámetros a Calibrar para la MUESTRA M4 (50kPa)						
Nro. de Iteraciones	r	R	m_R	m_T	β_r	X
Datos Iniciales	0.4	10^{-4}	4.5	4.5	0.2	6
Iteración 1	0.35	$3.5 * 10^{-5}$	2.0	1.7	$2.7 * 10^{-3}$	2.5
Iteración 2	0.35	$3.0 * 10^{-5}$	1.7	1.7	$1.75 * 10^{-3}$	2.2
Iteración 3	0.3	$4.5 * 10^{-5}$	1.55	1.5	$1.5 * 10^{-3}$	1.9
Iteración 4	0.28	$8.5 * 10^{-5}$	1.3	1.3	$1.6 * 10^{-3}$	1.75
Iteración 5	0.27	$7.5 * 10^{-5}$	1.1	1.1	$2.4 * 10^{-3}$	2.45
Iteración 6	0.27	$9.5 * 10^{-5}$	1.1	1.1	$2.25 * 10^{-3}$	2.45
Iteración 7	0.27	$8.5 * 10^{-4}$	0.8	0.8	$2.35 * 10^{-3}$	3.5
Iteración 8	0.27	$9.0 * 10^{-5}$	1.0	1.0	$2.1 * 10^{-3}$	2.25
Iteración 9	0.25	$9.0 * 10^{-5}$	1.0	1.0	$1.3 * 10^{-3}$	1.95
Iteración 10	0.25	$9.5 * 10^{-5}$	1.2	1.2	$1.35 * 10^{-3}$	1.6

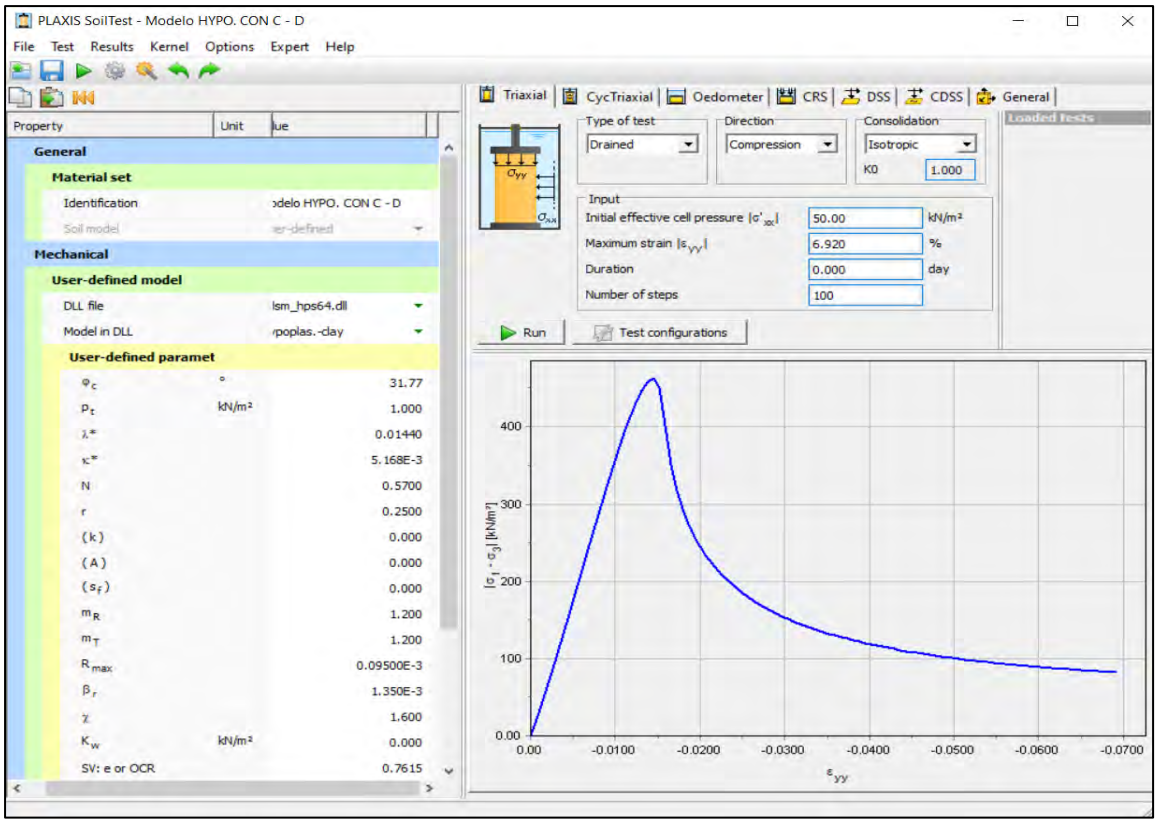
Por lo tanto, la tabla 61 - Iteración 10 nos muestra los parámetros calibrados *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X, más precisos para simular la curva esfuerzo - deformación de M4 (50kPa).

Así, obtendremos la **figura 122** que muestra la curva – esfuerzo deformación para la Iteración 10 en la herramienta Soil Test, y en la **figura 123** todas las curvas esfuerzo – deformación de las iteraciones de la tabla 61, destacando la curva de la Iteración Nro. 10.

Para más detalle del proceso de Calibración para M4 (50kPa) ver el Anexo B6.

Figura 122

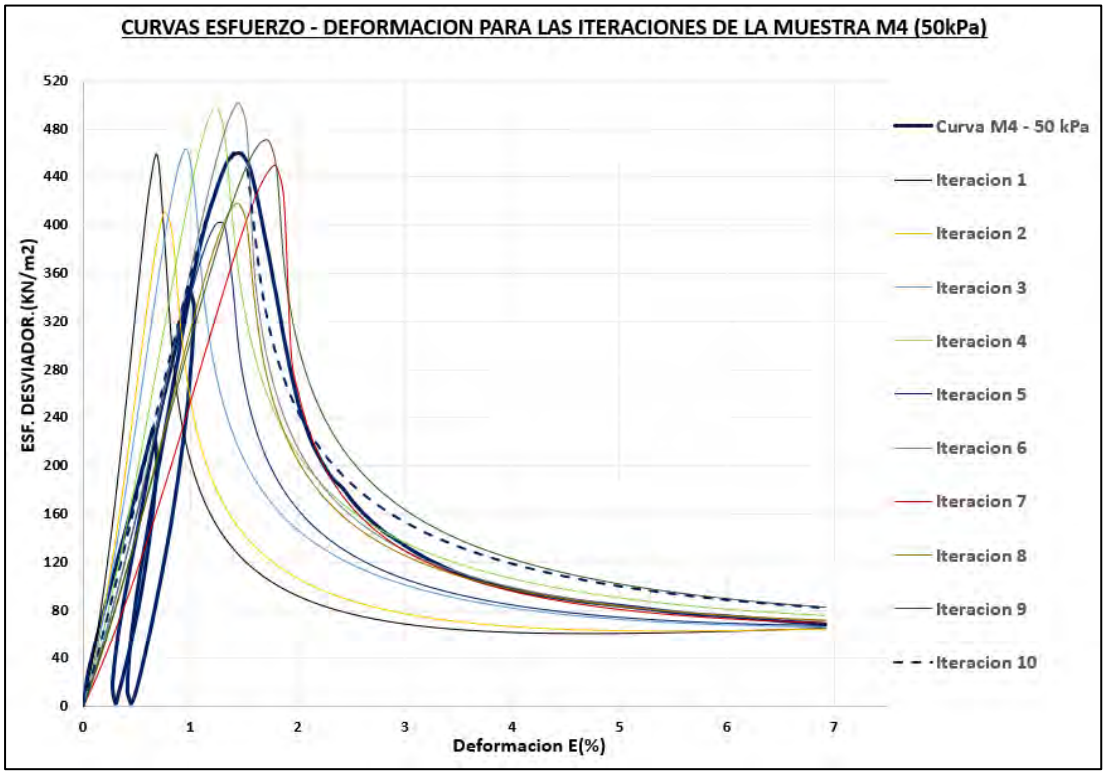
Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M4 (50kPa)



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Figura 123

Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M4 (50kPa)



Para la Muestra M1 (89kPa). Usando la tabla 48 y la tabla 49 para la muestra M1 se procedió a la calibración de los parámetros faltantes, poniendo como datos iniciales la tabla 56 para *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X.

Se hicieron muchas iteraciones en la herramienta Soil Test para la calibración de los parámetros *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X, y se muestran principalmente diez de estas iteraciones en la **tabla 62**. Tenga en cuenta que los demás parámetros fijos están en la tabla 48.

Tabla 62

Parámetros r, R, m_R *,* m_T*,* β_r *y X a calibrar para la Muestra M1 (89kPa).*

Valores de Parámetros a Calibrar para la MUESTRA M1 (89kPa)						
Nro. de Iteraciones	r	R	m_R	m_T	β_r	X
Datos Iniciales	0.4	10^{-4}	4.5	4.5	0.2	6
Iteración 1	0.2	$8.4 * 10^{-5}$	0.9	0.9	$2.8 * 10^{-3}$	2
Iteración 2	0.24	$8.4 * 10^{-5}$	0.8	0.8	$1.95 * 10^{-3}$	2.5
Iteración 3	0.24	$8.0 * 10^{-5}$	0.65	0.65	$2.05 * 10^{-3}$	2.85
Iteración 4	0.3	$8.0 * 10^{-5}$	0.6	0.6	$2.25 * 10^{-3}$	2.7
Iteración 5	0.35	$8.0 * 10^{-5}$	1.0	0.6	$2.6 * 10^{-3}$	2.25
Iteración 6	0.45	$7.0 * 10^{-5}$	1.4	0.7	$4.8 * 10^{-3}$	1.75
Iteración 7	0.4	$7.0 * 10^{-4}$	1.3	0.7	$3.5 * 10^{-3}$	1.95
Iteración 8	0.3	$7.0 * 10^{-5}$	0.84	0.84	$1.8 * 10^{-3}$	2.0
Iteración 9	0.35	$7.0 * 10^{-5}$	0.85	0.85	$1.5 * 10^{-3}$	2.0
Iteración 10	0.32	$7.3 * 10^{-5}$	0.87	0.87	$1.47 * 10^{-3}$	1.8

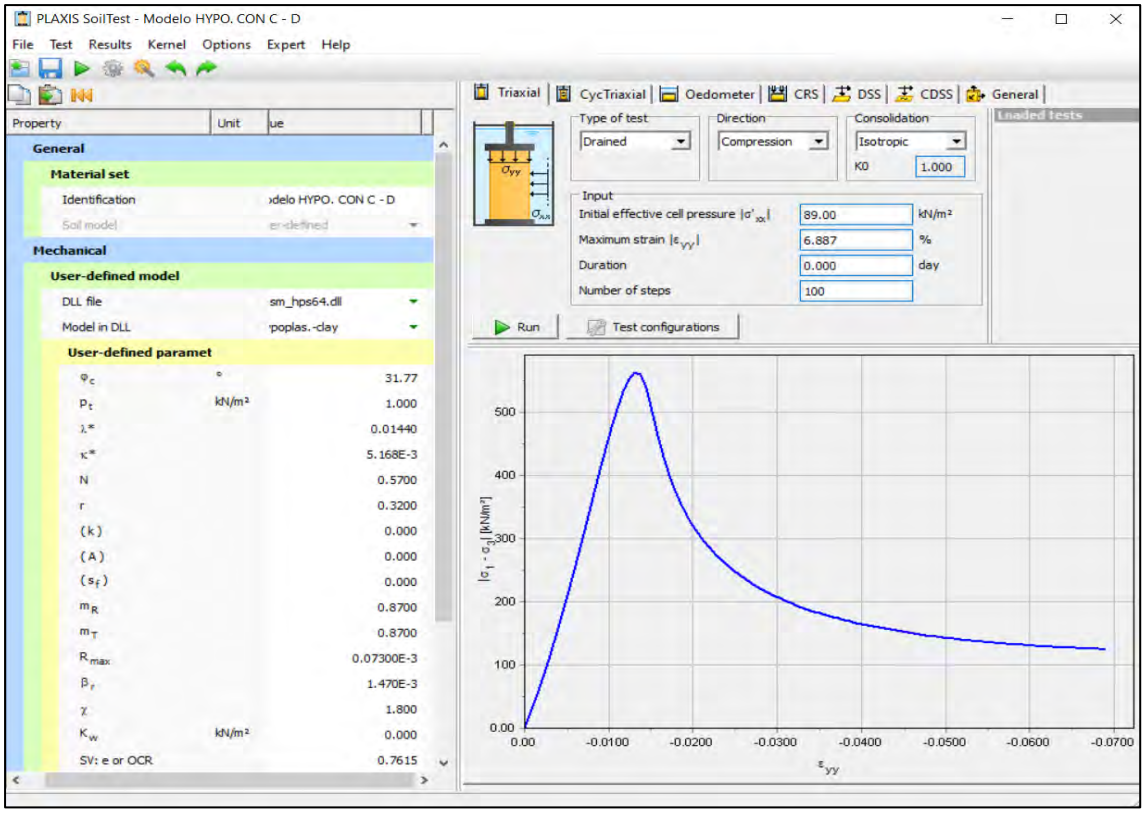
Por lo tanto, la tabla 62 - Iteración 10 nos muestra los parámetros calibrados *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X, más precisos para simular la curva esfuerzo - deformación de M1 (89kPa).

Así, obtendremos la **figura 124** que muestra la curva – esfuerzo deformación para la Iteración 10 en la herramienta Soil Test, y en la **figura 125** todas las curvas esfuerzo – deformación de las iteraciones de la tabla 62, destacando la curva de la Iteración Nro. 10.

Para más detalle del proceso de Calibración para M1 (89kPa) ver el Anexo B6.

Figura 124

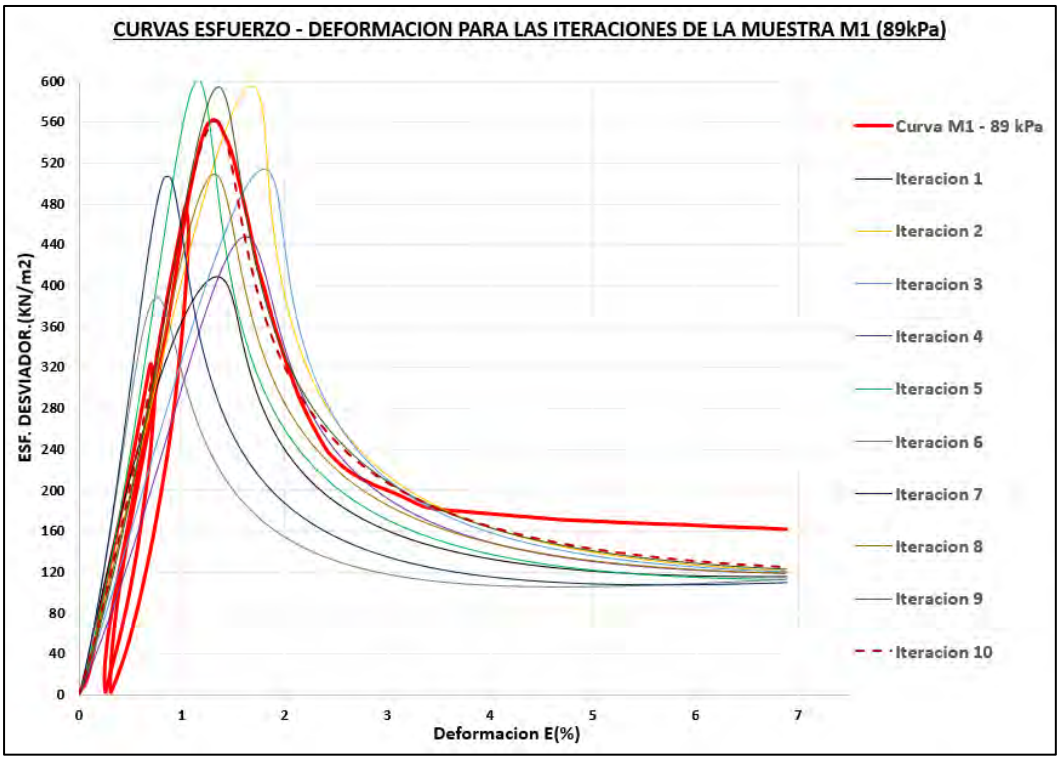
Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M1 (89kPa).



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Figura 125

Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M1 (89kPa).



Para la Muestra M6 (150kPa). Usando la tabla 48 y la tabla 49 para la muestra M6 se procedió a la calibración de los parámetros faltantes, poniendo como datos iniciales la tabla 56 para *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X.

Se hicieron muchas iteraciones en la herramienta Soil Test para la calibración de los parámetros *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X, y se muestran principalmente diez de estas iteraciones en la **tabla 63**. Tenga en cuenta que los demás parámetros fijos están en la tabla 48.

Tabla 63

Parámetros r, R, m_R *,* m_T*,* β_r *y X a calibrar para la Muestra M6 (150kPa).*

Valores de Parámetros a Calibrar para la MUESTRA M6 (150kPa)						
Nro. de Iteraciones	r	R	m_R	m_T	β_r	X
Datos Iniciales	0.4	10^{-4}	4.5	4.5	0.2	6
Iteración 1	0.36	$3.5 * 10^{-5}$	2.0	2.0	$5.0 * 10^{-3}$	1.54
Iteración 2	0.42	$3.8 * 10^{-5}$	2.0	2.0	$3.25 * 10^{-3}$	1.4
Iteración 3	0.25	$4.5 * 10^{-5}$	1.4	1.4	$2.25 * 10^{-3}$	1.55
Iteración 4	0.2	$4.0 * 10^{-5}$	0.9	0.9	$2.45 * 10^{-3}$	3.2
Iteración 5	0.25	$4.0 * 10^{-5}$	0.9	0.9	$2.45 * 10^{-3}$	3.2
Iteración 6	0.28	$6.0 * 10^{-5}$	0.85	0.85	$2.45 * 10^{-3}$	2.5
Iteración 7	0.35	$5.4 * 10^{-4}$	0.7	0.7	$2.15 * 10^{-3}$	2.24
Iteración 8	0.28	$5.0 * 10^{-5}$	0.7	0.7	$2.15 * 10^{-3}$	3.35
Iteración 9	0.3	$8.0 * 10^{-5}$	0.8	0.8	$2.6 * 10^{-3}$	2.2
Iteración 10	0.31	$8.2 * 10^{-5}$	0.795	0.795	$2.15 * 10^{-3}$	1.8

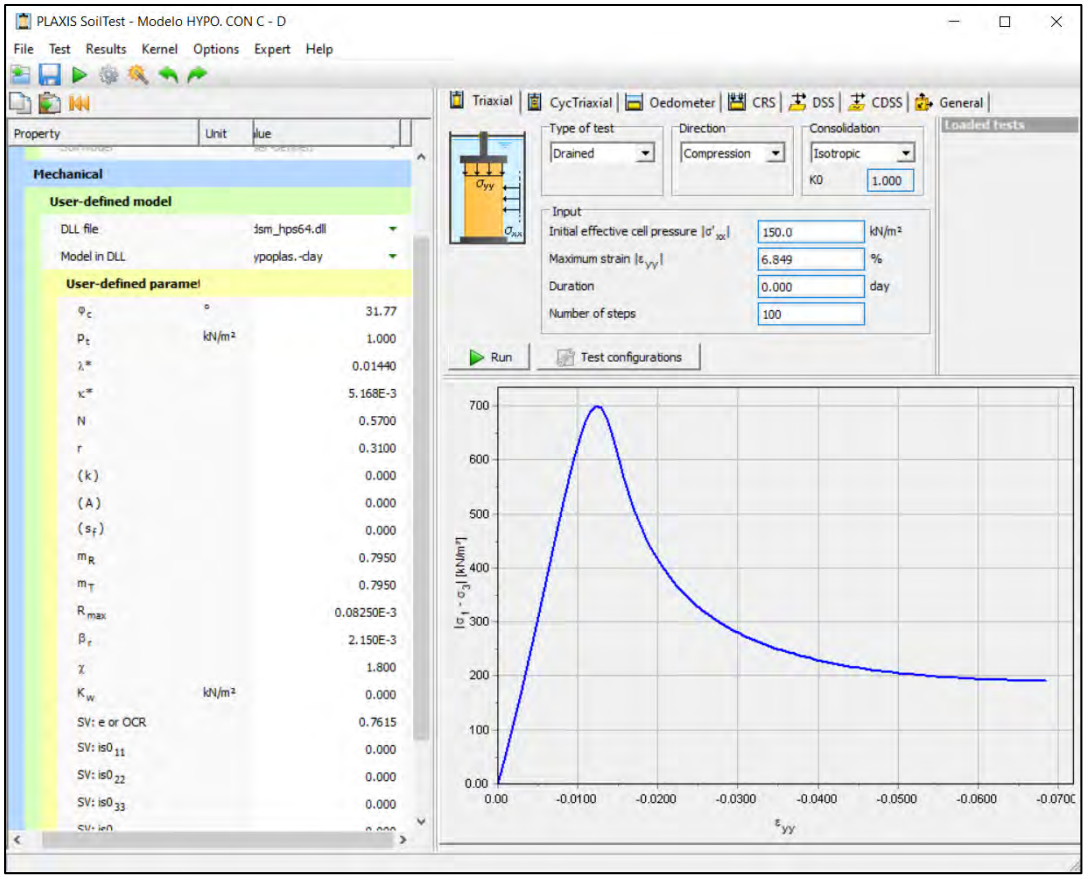
Por lo tanto, la tabla 63 - Iteración 10 nos muestra los parámetros calibrados *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X, más precisos para simular la curva esfuerzo - deformación de M6 (150kPa).

Así, obtendremos la **figura 126** que muestra la curva – esfuerzo deformación para la Iteración 10 en la herramienta Soil Test, y en la **figura 127** todas las curvas esfuerzo – deformación de las iteraciones de la tabla 63, destacando la curva de la Iteración Nro. 10.

Para más detalle del proceso de Calibración para M6 (150kPa) ver el Anexo B6.

Figura 126

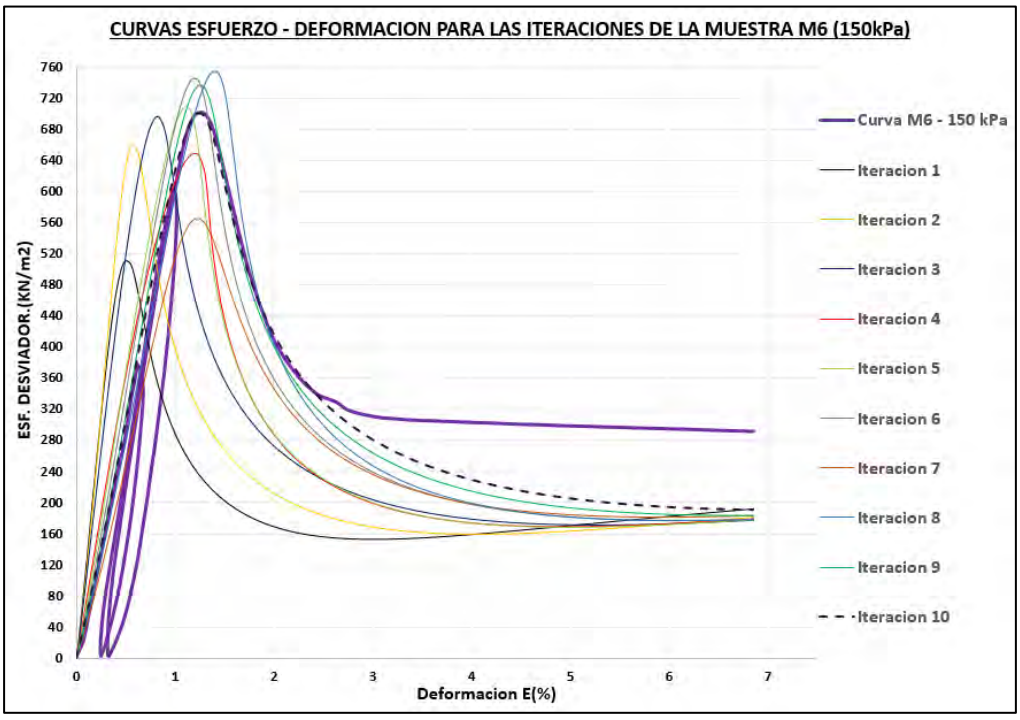
Curva Esfuerzo - Deformación de la Iteración 10 para la Muestra M6 (150kPa).



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis.

Figura 127

Curvas de las Iteraciones y Curva Esfuerzo - Deformación experimental de M6 (150kPa).



Por lo tanto, para las muestras M4, M1 y M6 los parámetros *r, R,* m_R *,* m_T*,* β_r *y* X junto con los parámetros fijos de la tabla 48 nos dio la **tabla 64**, donde se muestra un resumen de los parámetros obtenidos para el caso de Ensayo CON carga – descarga.

Tabla 64

Parámetros finales para M4, M1 y M6.

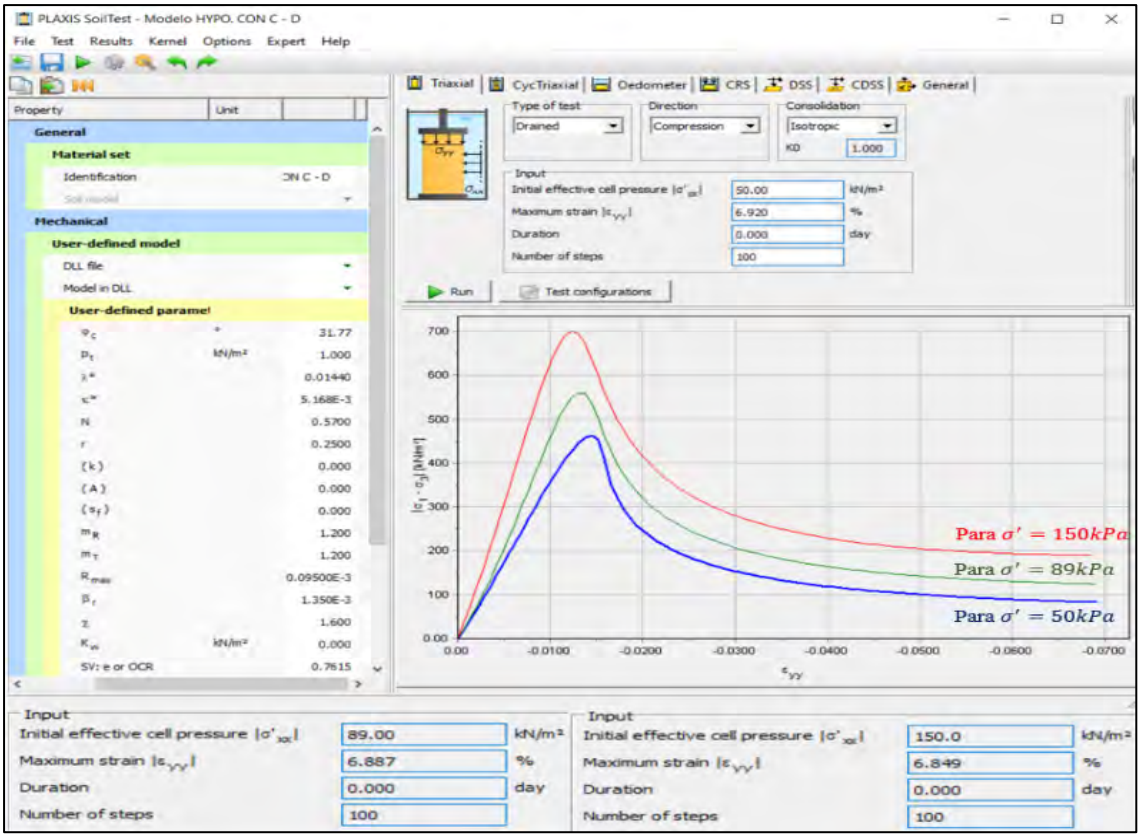
Parámetros Finales para M4, M1 y M6 (Ensayo **CON** Carga –Descarga**)**

Parámetros de Hipoplasticidad	**M4 (50kPa)**	**M1 (89kPa)**	**M6 (150kPa)**
Angulo de Fricción Critico (φ_c)		31.77°	
Valor de p_t		1 kPa	
(λ^*)		0.0144	
(κ^*)		0.005168	
(*N*)		0.56998 (Plaxis lo aprox. a 0.57)	
(r)	0.25	0.32	0.31
(*R*)	$9.5 * 10^{-5}$	$7.3 * 10^{-5}$	$8.25 * 10^{-5}$
(m_R)	1.20	0.87	0.795
(m_T)	1.20	0.87	0.795
(β_r)	$1.35 * 10^{-3}$	$1.47 * 10^{-3}$	$2.15 * 10^{-3}$
(X)	1.6	1.8	1.8
Relación de vacíos inicial (e_{init})		0.7615	

Con los datos obtenidos en la tabla 64 tendremos finalmente la **figura 128** obtenida de la herramienta Soil Test y haciendo una exportación a una hoja Excel se obtiene la **figura 129** para las comparaciones entre las curvas esfuerzo - deformación del modelo y de laboratorio (Ver Anexo B6).

Figura 128

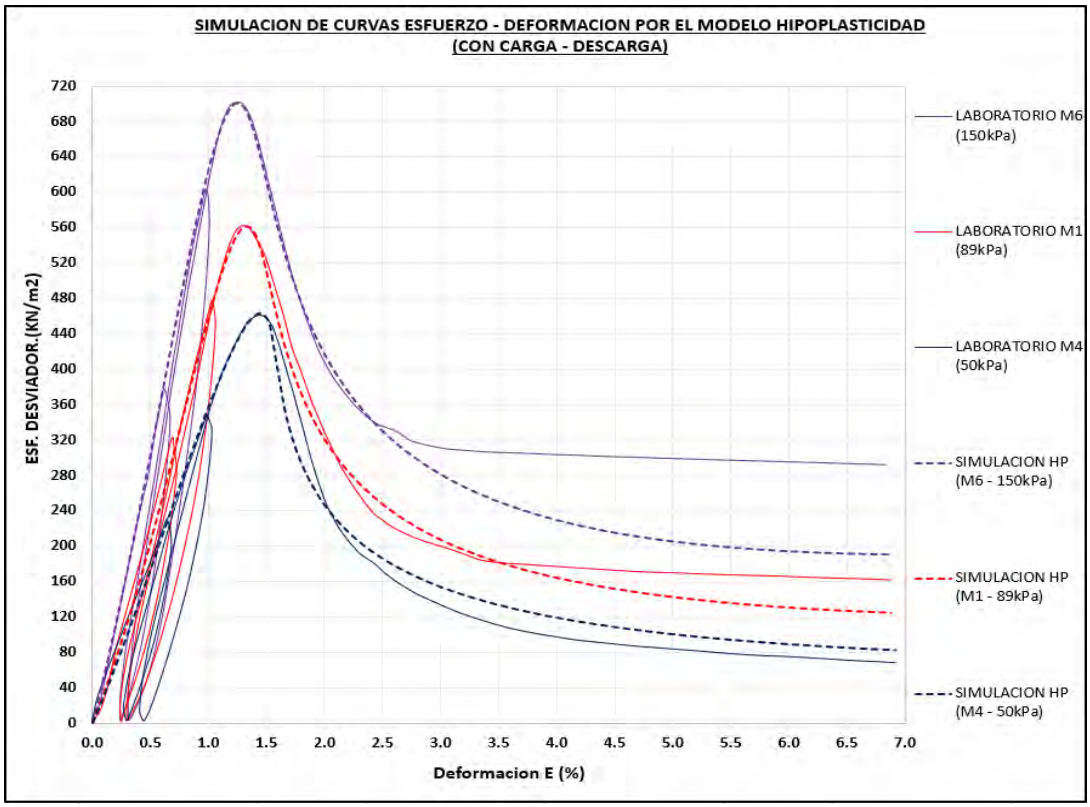
Curvas Esfuerzo - Deformación para M4, M1 y M6 en la herramienta Soil Test.



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis 2D SoilTest, 2023, Plaxis

Figura 129

Simulación de las Curvas Esfuerzo - Deformación para M4, M1 y M6 (CON Carga – Descarga)



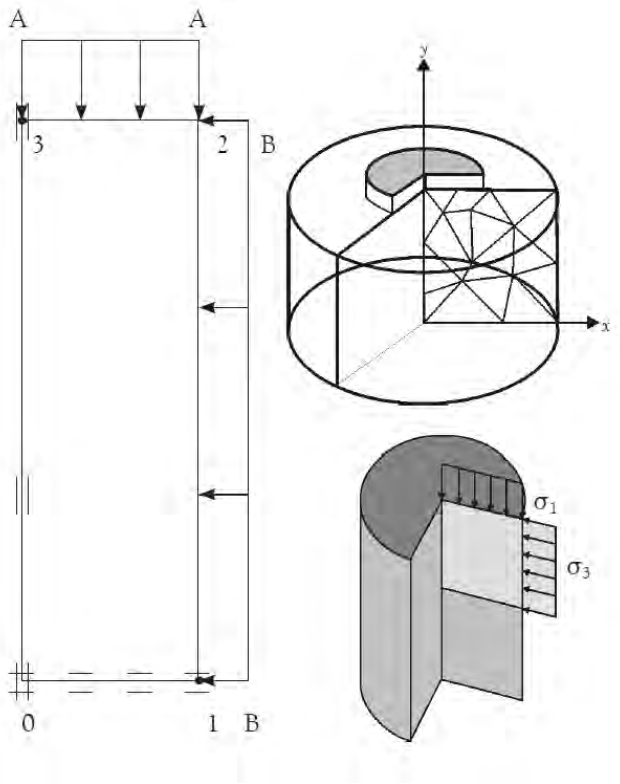
Tanto para los las simulaciones SIN carga – descarga como para los de CON carga – descarga, en este modelo de la Hipoplasticidad, ha habido parámetros que han tenido gran influencia al momento de modelar. Por ejemplo, los parámetros *(R) y* (β_r) influyeron bastante, al cambiar un poco sus valores, en el modelamiento del pico, post pico y tramo residual de las curvas esfuerzo – deformación. Los parámetros *(r),*(m_R) y (m_T) tuvieron también influencia en el modelamiento pico de las curvas, es decir, al cambiar sus valores solo el pico de la curva subía o bajaba, no afectando la parte inicial, post pico o el tramo residual de la curva, y en el caso del parámetro (X), esta tuvo solo relevancia en el tramo post pico (sin afectar el tramo residual) para la calibración, es decir determinaba la pendiente del tramo post pico y tuvo una regular influencia en el modelado de las curvas esfuerzo – deformación.

5.5.4 Simulación por Modelos Axisimétricos de las curvas esfuerzo – deformación.

Luego de la calibración de los parámetros de los modelos constitutivos en la herramienta Soil test procedemos al modelado axisimétrico, este modelado puede llevarse a cabo tomando una sección de la probeta tal como muestra la **figura 130**.

Figura 130

Uso de Sección para el modelado axisimétrico en el software Plaxis 2D.



Nota. Adaptado de *Modelización de las probetas de suelo en un ensayo triaxial en el programa de elementos finitos PLAXIS* (p. 87), por A. Nieto et al., 2009, *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *8* (15).

Para iniciar con el modelado en el programa Plaxis 2D primero se inicia al crear en la pestaña “Project Properties” la condición axisimetrica con las dimensiones de 1m x 1m, luego ubicamos un “borehole” en el área de dibujo (drawing área) y dibujamos el modelo axisimétrico de 1m x 1m, a partir de aquí los siguientes pasos son generales:

- Al modelo axisimétrico se le asigna el tipo de material con el respectivo modelo constitutivo a usar.
- El peso específico, para este caso de modelamiento axisimétrico, debe darse en cero.
- Se ingresan los datos de los parámetros de cada respectivo modelo constitutivo.
- Se ingresan los demás datos complementarios como la relación de vacíos, clase de suelo, presión de preconsolidacion, etc.
- Se ingresan las cargas lineales para el confinamiento, estas pueden ser de 50kPa, 89kPa o de 150kPa, luego se procede al enmallado del modelo axisimétrico.
- Al final en “Staged Construction” se ponen las condiciones del modelo axisimétrico:
- “Model Conditions” que son las condiciones de contorno, dando a: Xmin: Normally Fixed, Xmax=Free, Ymin=Normally Fixed y Xmax=Free.
- Las condiciones de “Groundwaterflow” para las condiciones de drenaje, los cuales son: Xmin=Closed, Xmax=Open, Ymin=Closed, Ymax=Open.
- Luego se ponen las etapas de “Staged Construction” donde se inicia con “Initial Phase”, luego “Etapa de confinamiento” y la etapa de corte,
- Seleccionamos un nodo y un punto de stress y procedemos a obtener los resultados

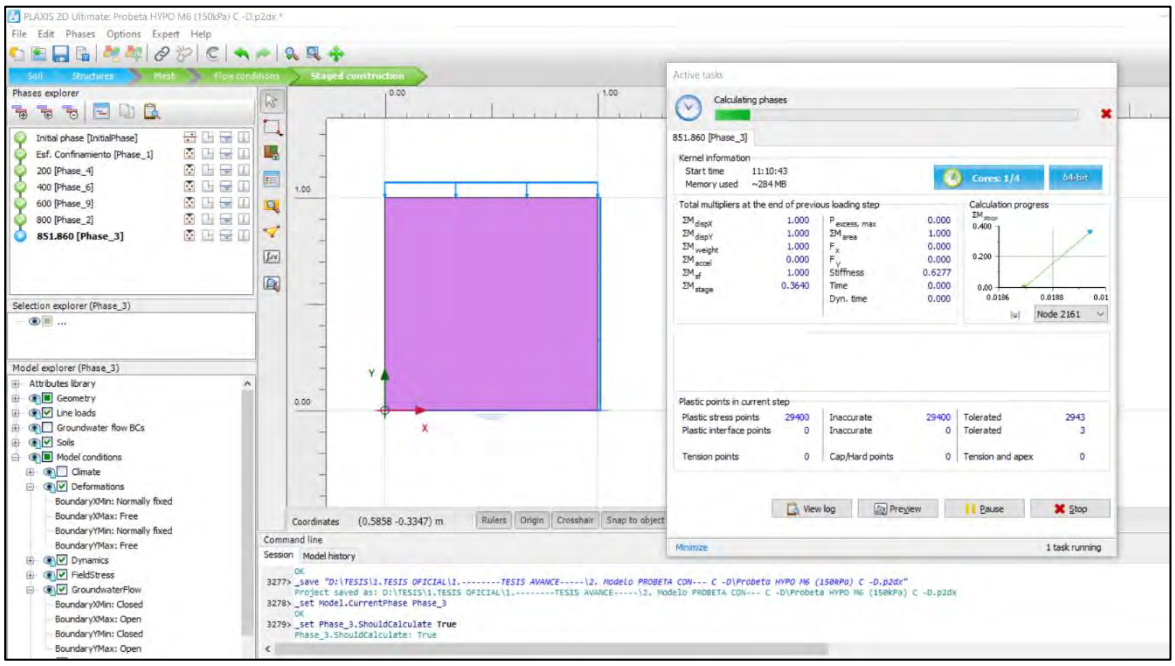
En la **figura 131** se puede observar el proceso de ingreso de datos y ejecución del modelado axisimétrico, observe las condiciones de contorno y las condiciones de flujo así como las etapas de ejecución.

En la **figura 132** se muestra uno de los resultados de deformación tanto del enmallado como del “total displacements Uy”.

Ver Anexo B9 y Anexo B10 para ver en detalle los resultados del modelado axisimétrico tanto para las curvas experimentales SIN carga – descarga como para los CON carga – descarga.

Figura 131

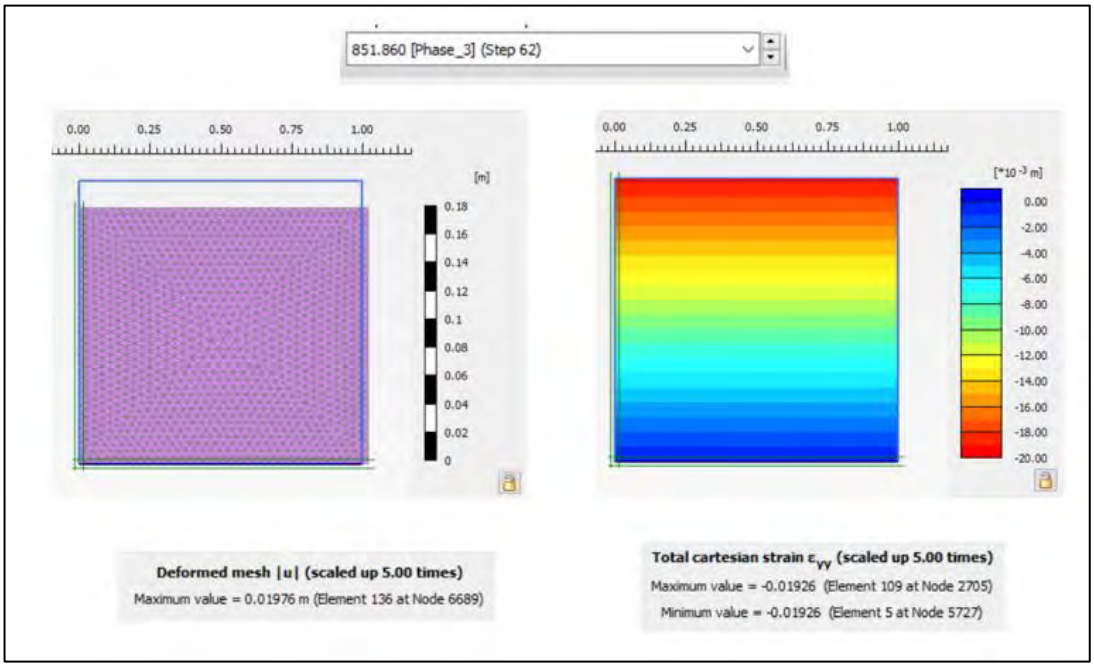
Proceso de ingreso de datos y ejecución del modelado axisimétrico en Plaxis 2D



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Input 2D, 2023, Plaxis

Figura 132

Resultados de las deformaciones en Plaxis Output.



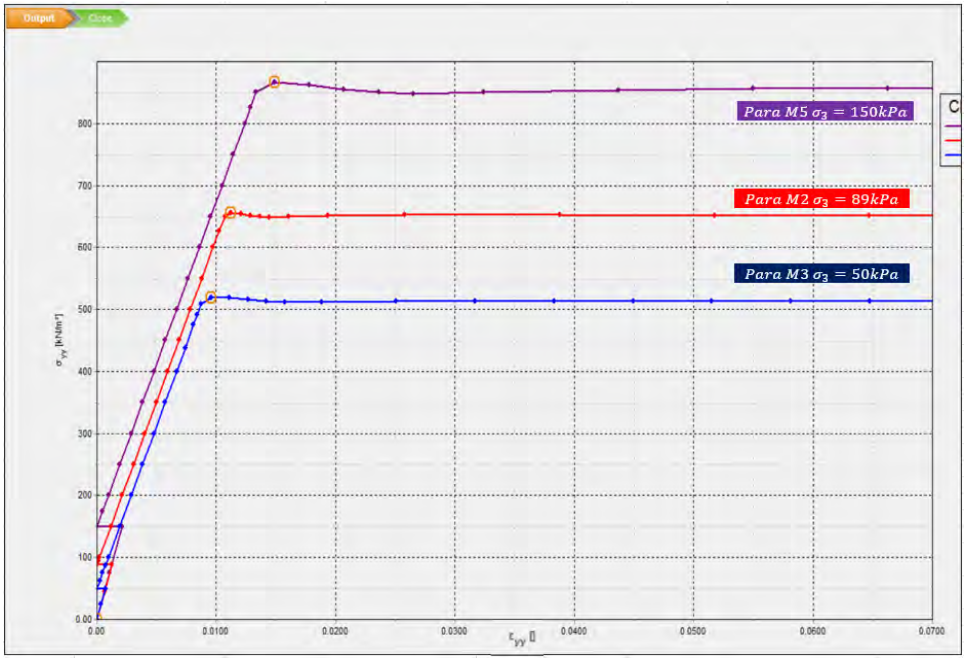
Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Output 2D, 2023, Plaxis

- **<u>Resultados de Modelado Axisimétrico Usando el Modelo de Mohr Coulomb.</u>**

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (MC) se tiene sus resultados representados por las **figuras 133** y **134 (Ver Anexo B9).**

Figura 133

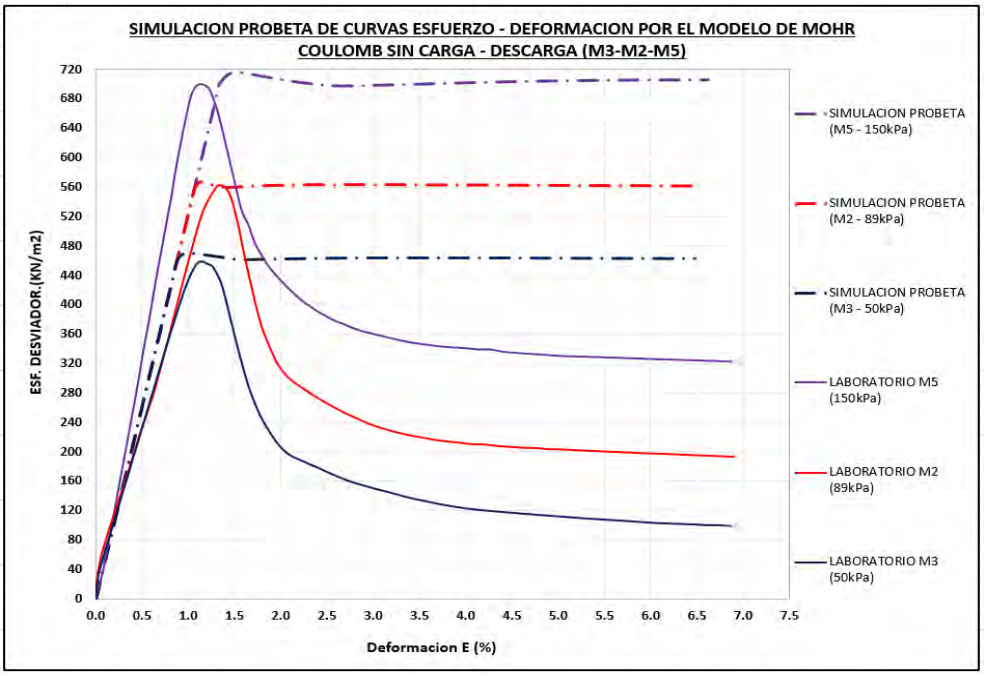
Curvas de modelado para las Muestras M3 (50Kpa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) – Mohr Coulomb



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Output 2D, 2023, Plaxis

Figura 134

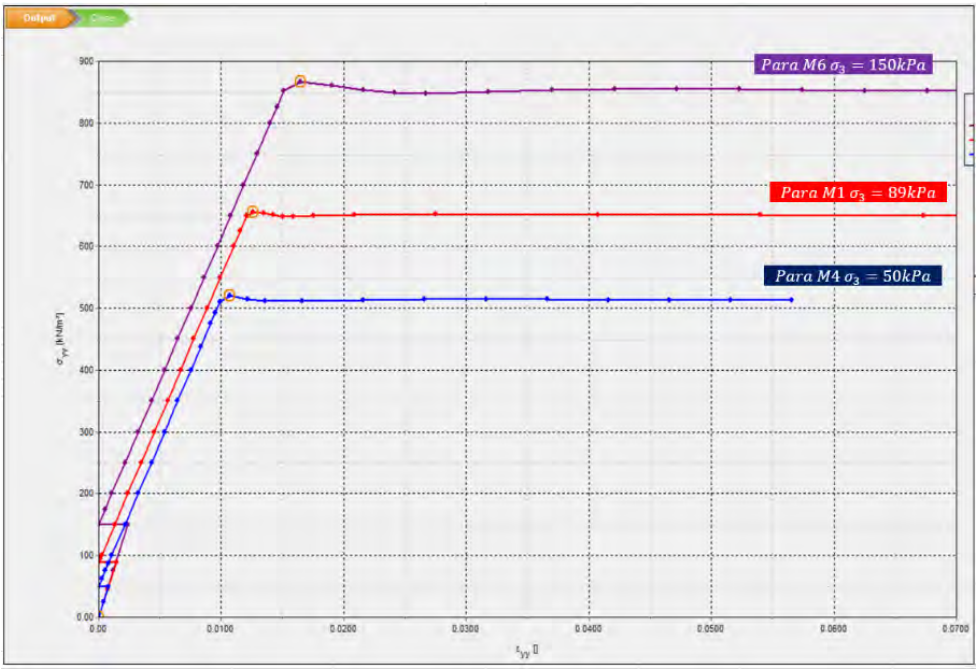
Curvas de Modelado Axisimétrico Mohr Coulomb SIN C - D con las curvas experimentales



Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (MC) se tiene sus resultados representados por las **figuras 135** y **136 (Ver Anexo B10).**

Figura 135

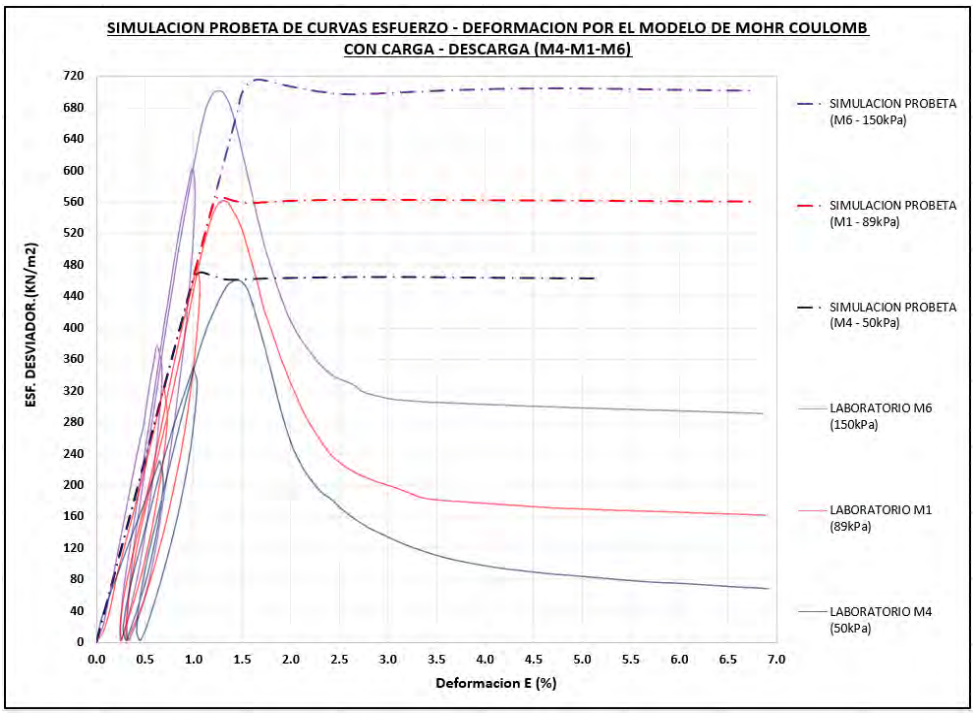
Curvas de modelado para las Muestras M4 (50Kpa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) – Mohr Coulomb



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Output 2D, 2023, Plaxis

Figura 136

Curvas de Modelado Axisimétrico Mohr Coulomb CON C - D con las curvas experimentales

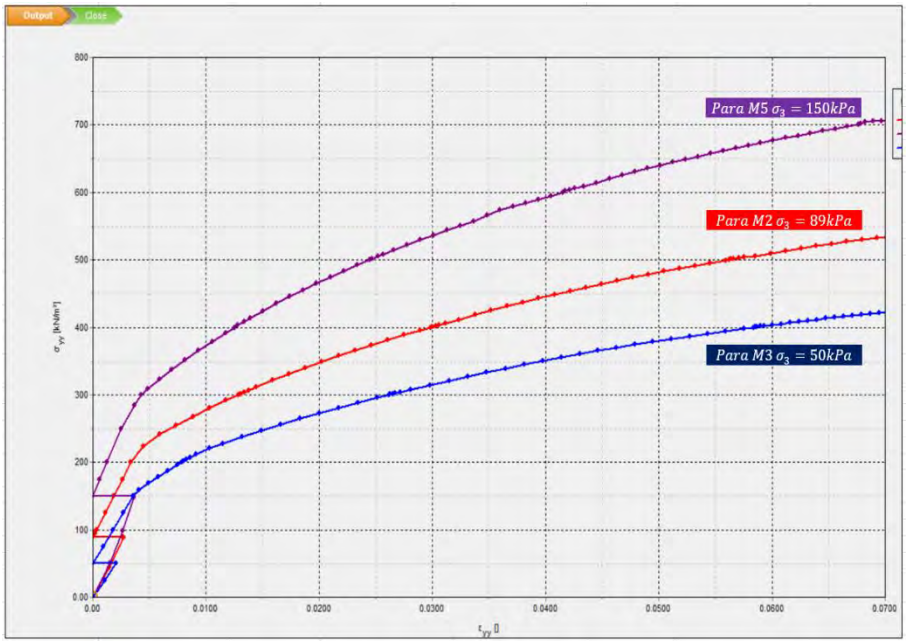


- **<u>Resultados de Modelado Axisimétrico Usando el Modelo de Hardening Soil.</u>**

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (HS) se tiene sus resultados representados por las **figuras 137** y **138 (Ver Anexo B9).**

Figura 137

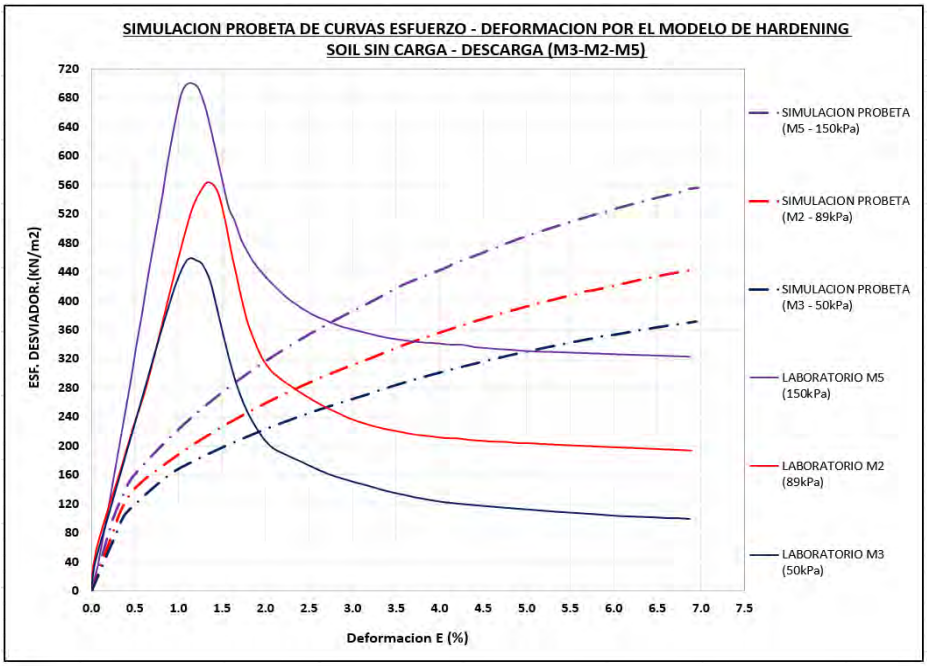
Curvas de modelado para las Muestras M3 (50Kpa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) – Hardening Soil



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Output 2D, 2023, Plaxis

Figura 138

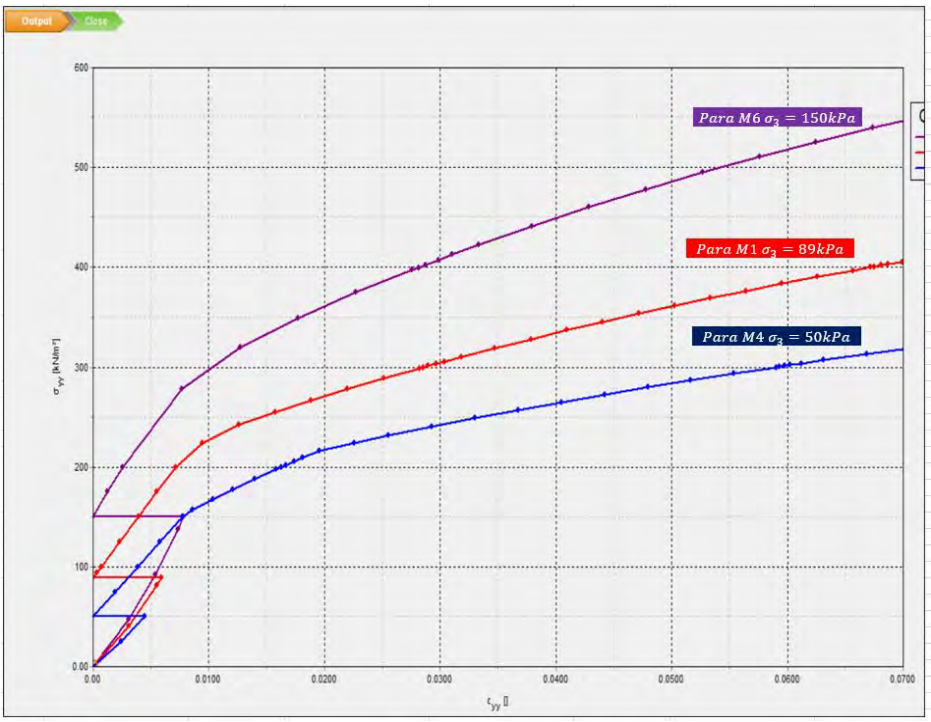
Curvas de Modelado Axisimétrico Hardening Soil SIN C - D con las curvas experimentales



Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (HS) se tiene sus resultados representados por las **figuras 139** y **140. (Ver Anexo B10).**

Figura 139

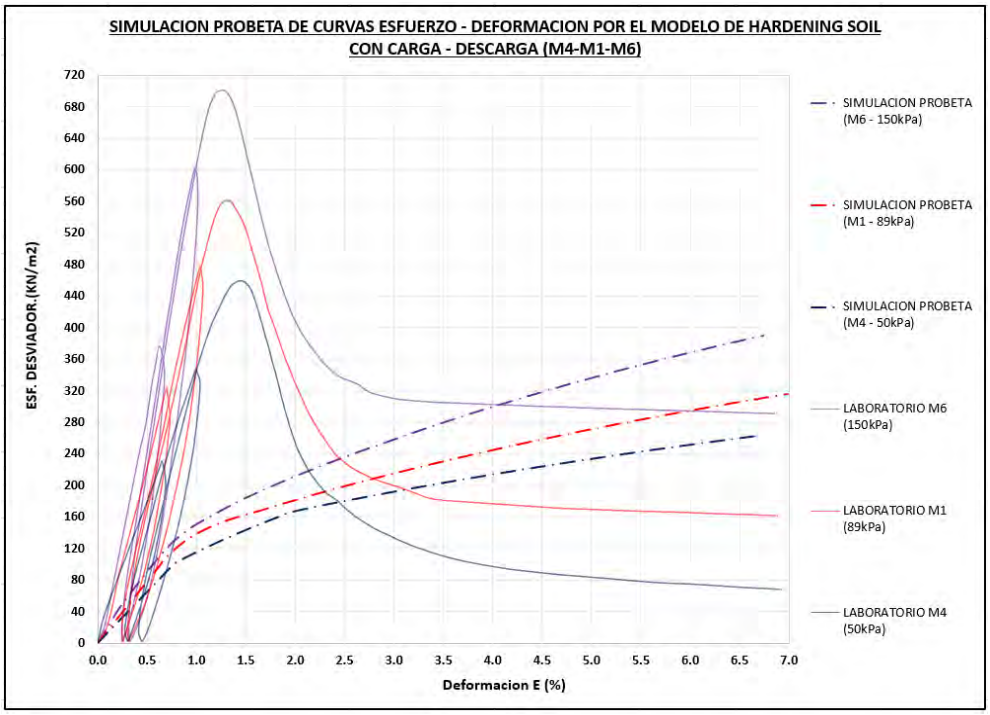
Curvas de modelado para las Muestras M4 (50Kpa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) – Hardening Soil



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Output 2D, 2023, Plaxis

Figura 140

Curvas de Modelado Axisimétrico Hardening Soil CON C - D con las curvas experimentales

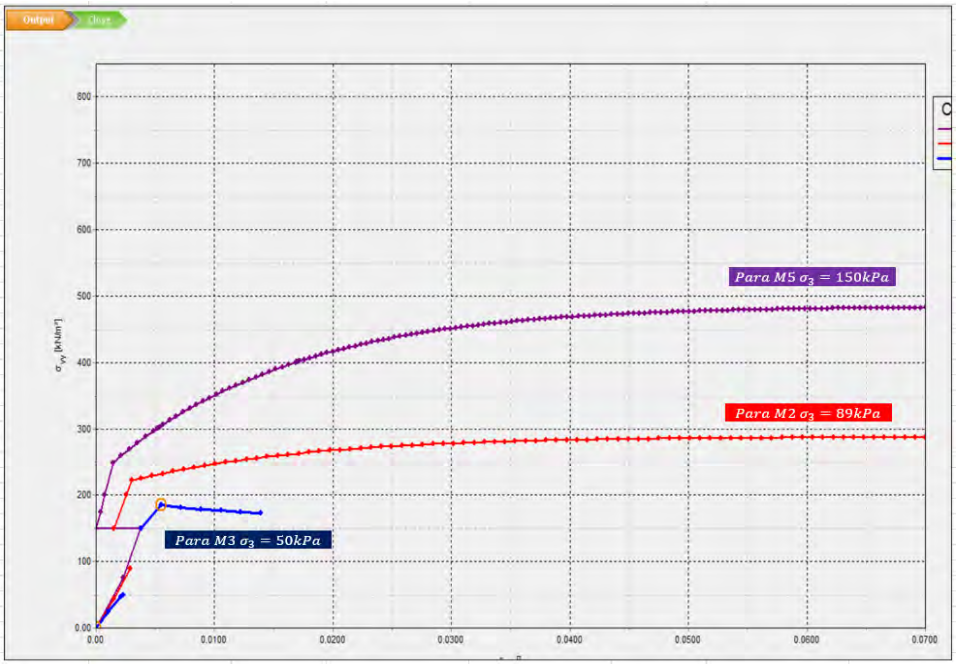


- **<u>Resultados de Modelado Axisimétrico Usando el Modelo de Cam Clay Modificado</u>**

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (CCM) se tiene sus resultados representados por las **figuras 141** y **142 (Ver Anexo B9).**

Figura 141

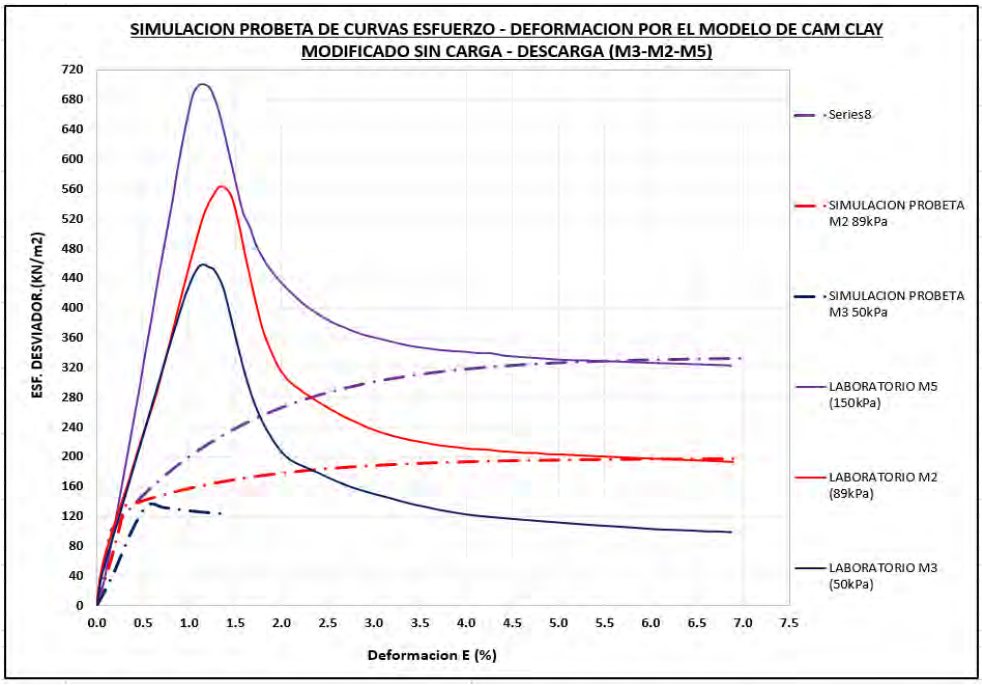
Curvas de modelado para las Muestras M3 (50Kpa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) – Cam Clay Modif.



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis Output 2D, 2023, Plaxis

Figura 142

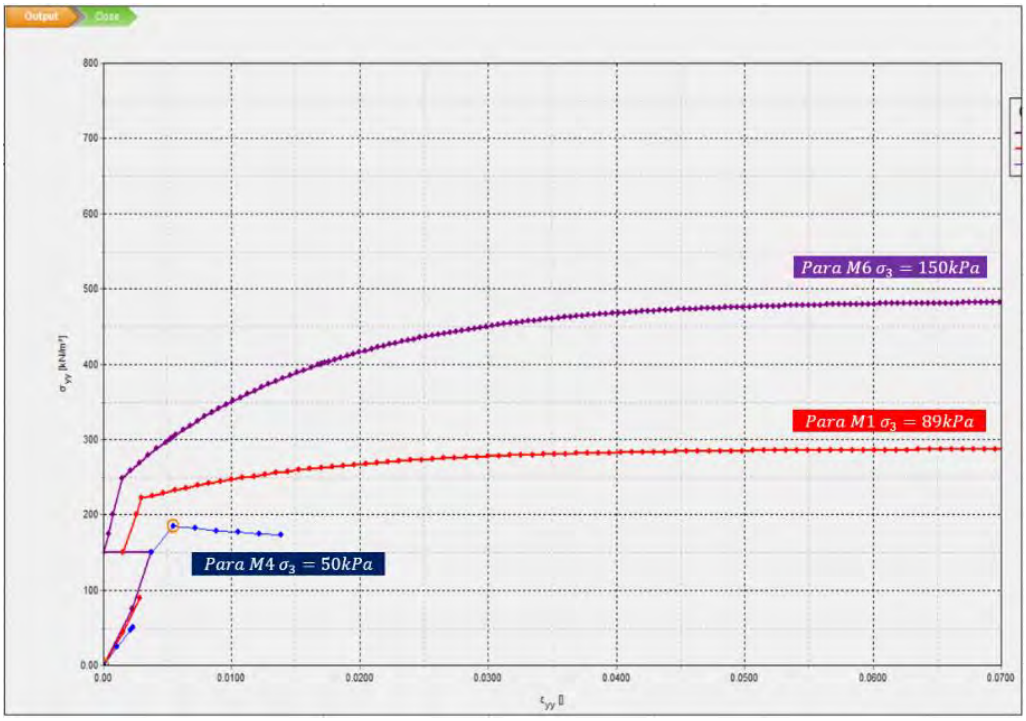
Curvas de Modelado Axisimétrico Cam Clay Modificado SIN C - D con las curvas experimentales



Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (CCM) se tiene sus resultados representados por las **figuras 143** y **144 (Ver Anexo B10).**

Figura 143

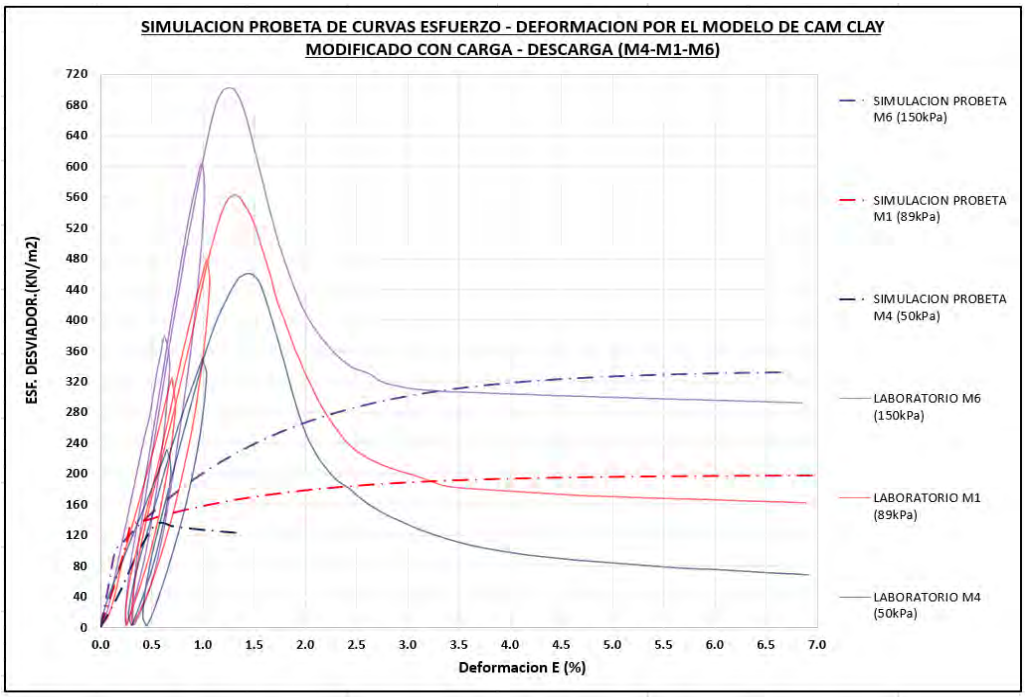
Curvas de modelado para las Muestras M4 (50Kpa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) – Cam Clay Modif.



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis *Output* 2D, 2023, Plaxis

Figura 144

Curvas de Modelado Axisimétrico Cam Clay Modificado CON C - D con las curvas experimentales

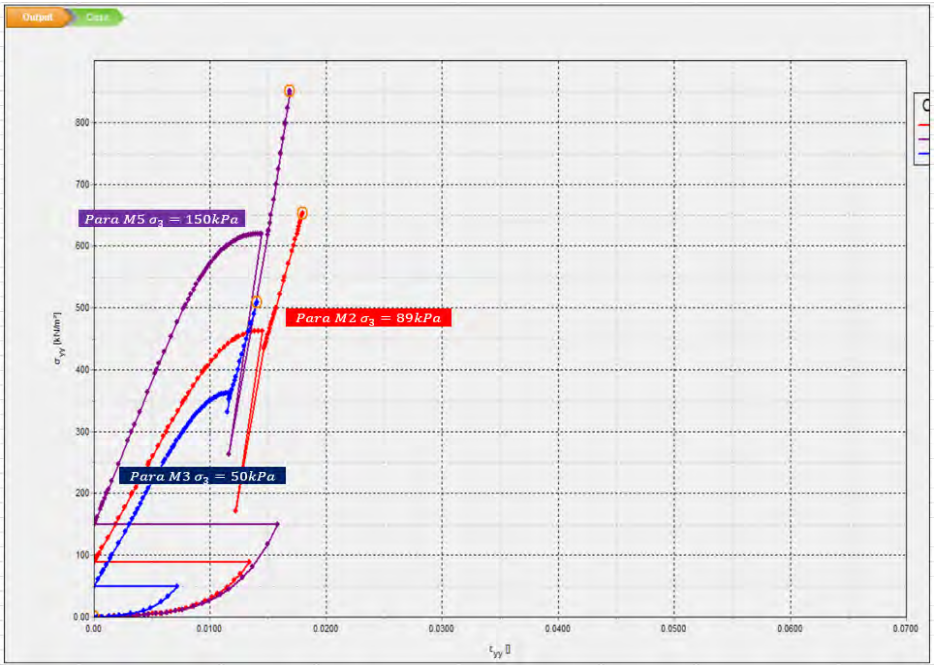


- **<u>Resultados de Modelado Axisimétrico Usando el Modelo de la Hipoplasticidad</u>**

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (HP) se tiene sus resultados representados por las **figuras 145** y **146 (Ver Anexo B9).**

Figura 145

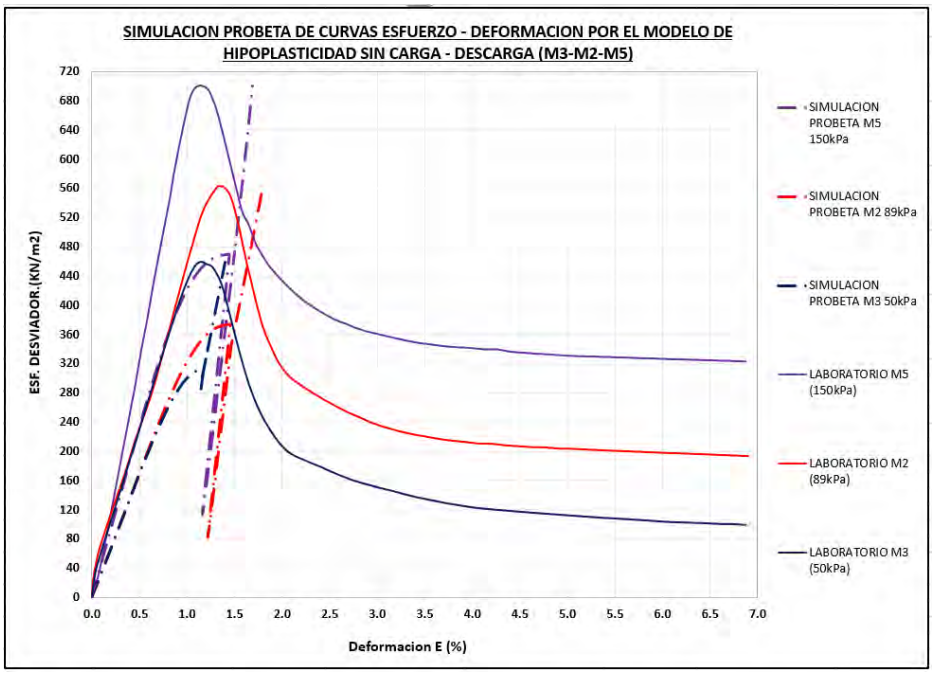
Curvas de modelado para las Muestras M3 (50Kpa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) – Hipoplasticidad.



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis *Output* 2D, 2023, Plaxis.

Figura 146

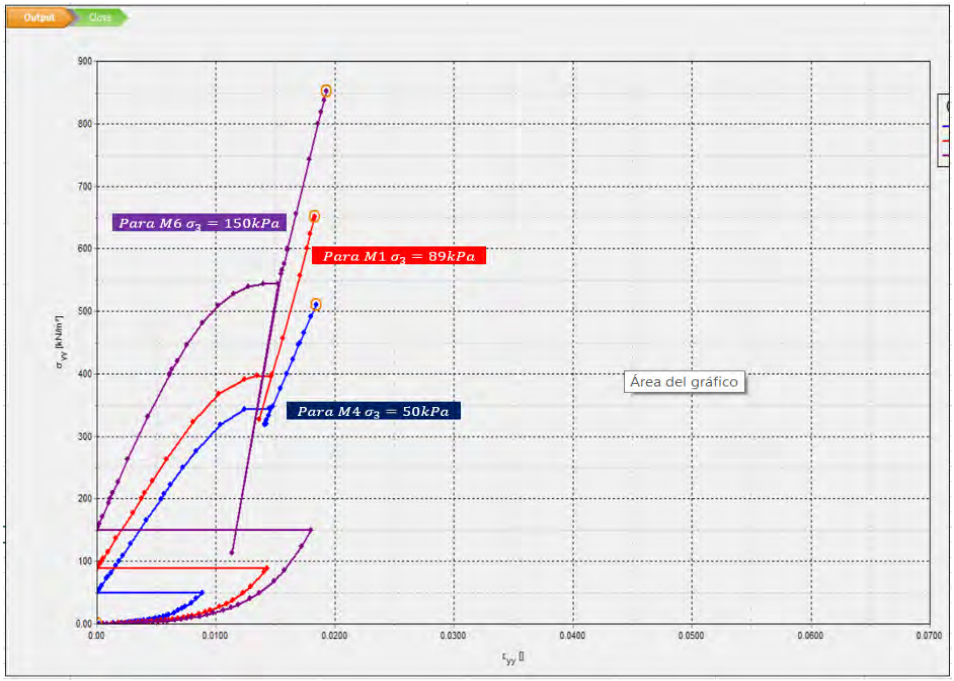
Curvas de Modelado Axisimétrico Hipoplasticidad SIN C - D con las curvas experimentales



Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (HP) se tiene sus resultados representados por las **figuras 147** y **148 (Ver Anexo B10).**

Figura 147

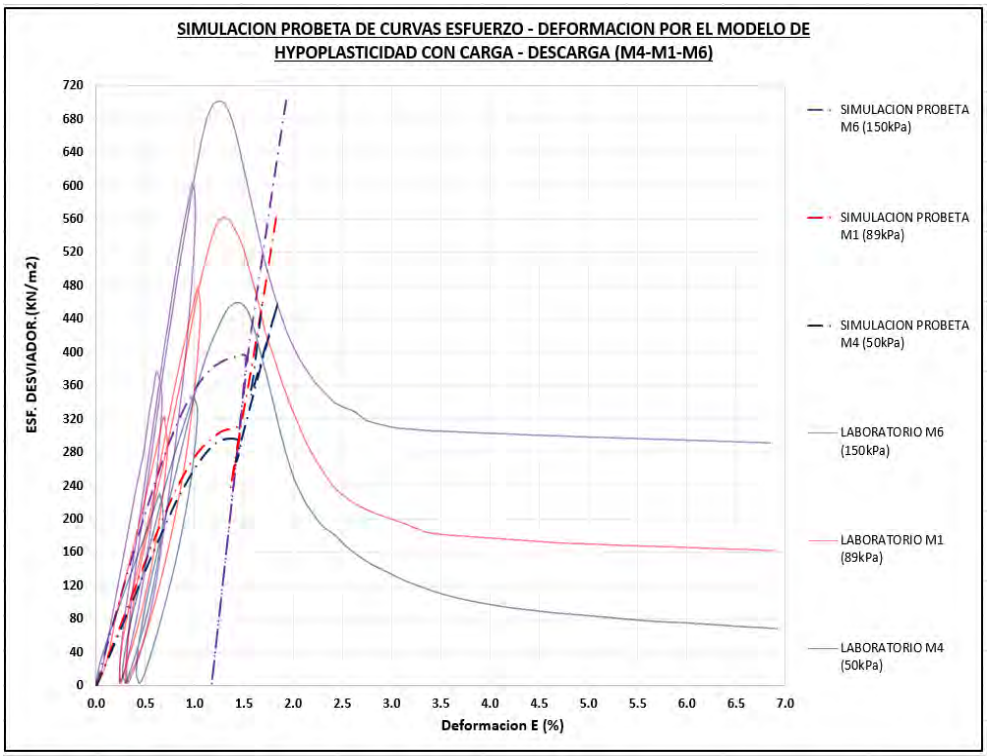
Curvas de modelado para las Muestras M4 (50Kpa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) – Hipoplasticidad



Nota. FUENTE: Tomado de Plaxis *Output* 2D, 2023, Plaxis.

Figura 148

Curvas de Modelado Axisimétrico Hipoplasticidad CON C - D con las curvas experimentales



5.5.5 Simulación 3D de las probetas cilíndricas de los ensayos triaxiales por medio del Software ABAQUS.

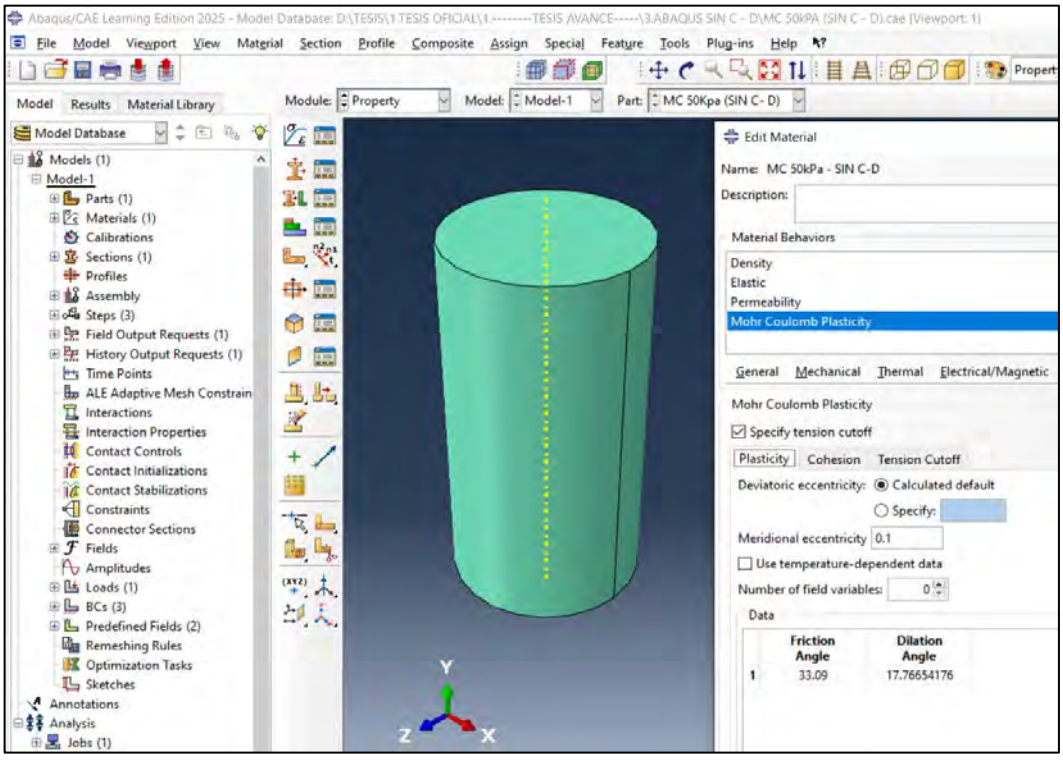
Para la simulación y modelado en ABAQUS lo haremos con los modelos de Elasticidad y Mohr Coulomb Plasticidad, debido a que este modelo constitutivo se aproxima al comportamiento pre pico de las curvas esfuerzo – deformación experimentales y por lo tanto el modelado en este software nos dará una simulación aproximada del modo de falla.

El proceso para la simulación es como sigue:

1. Se crea un modelo cilíndrico 3D por revolución, se crean los materiales y se asigna al modelo 3D los tipos de modelos constitutivos, propiedades y parámetros necesarios para su modelado. Para ello se pueden usar los datos de las densidades de la tabla 17, así como los parámetros de Mohr Coulomb de la tabla 30, el uso de los valores de esfuerzo desviador max para la tensión de corte y otros valores como la relación de vacíos, etc., (Ver **figura 149).**

Figura 149

Modelado en 3D e ingreso de propiedades de material en el software ABAQUS.



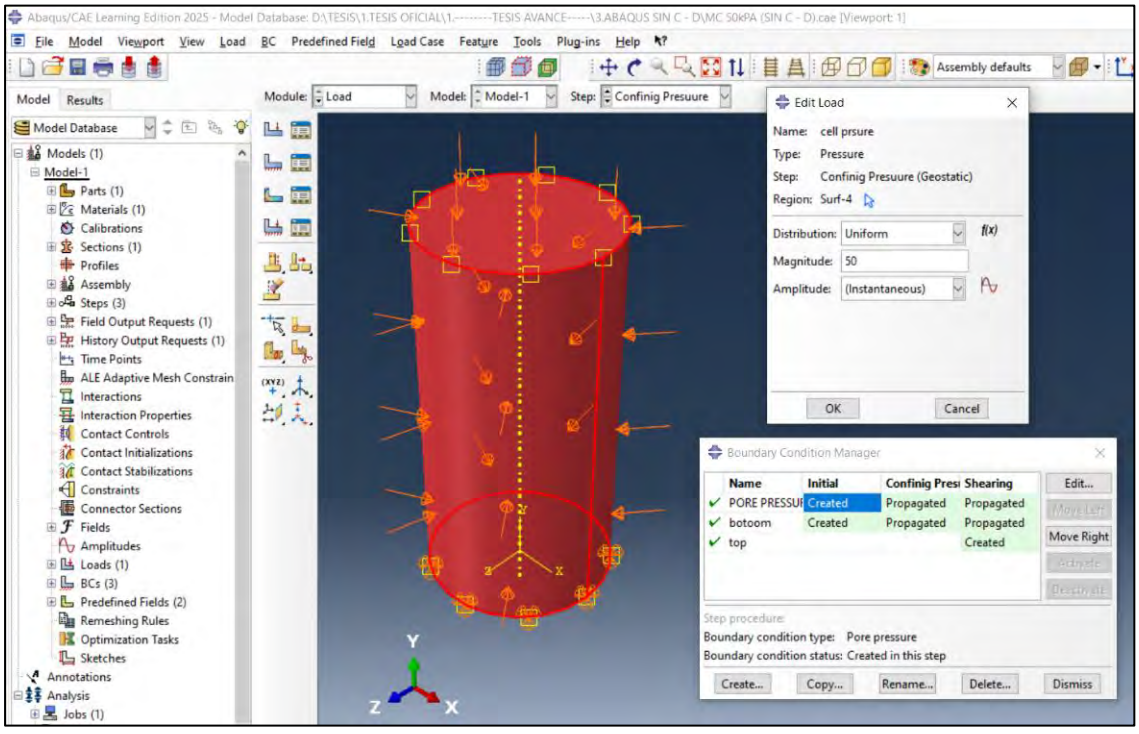
Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

2. Se hace el ensamblado del modelo 3D (Assembly), luego se pone los pasos para la simulación de laboratorio, que son “Initial” para la condición inicial, “Confining Pressure” para la presión de confinamiento, y “Shearing” para la etapa de Corte, similar al caso del Plaxis 2D.

3. Para la etapa de “Load” se pone las cargas y las condicione de contorno, se restringe la base (Bottom) y se coloca en la parte superior (top) el cálculo para un valor de deformación de 0.01m (10mm) el cual es el valor de la deformación máxima en todos los ensayos triaxiales que se hizo, se pone la “pore pressure” en cero por la condición drenada y se pone el esfuerzo de Confinamiento en el modelado de las probetas, en la **figura 150** se observa el proceso.

Figura 150

Proceso de ingreso de cargas, deformaciones y condiciones de contorno en el modelo 3D

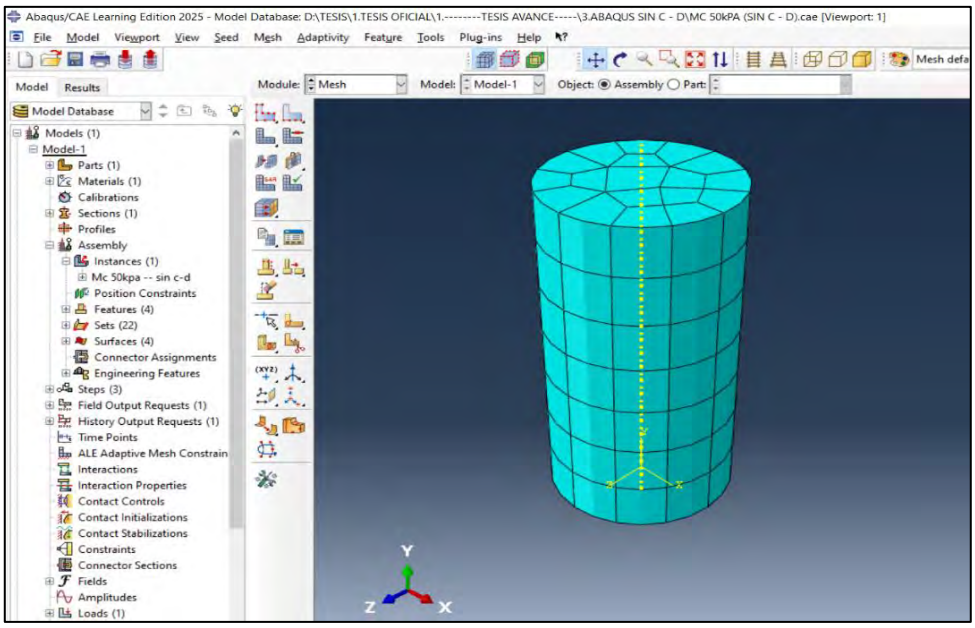


Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

4. Procedemos al enmallado del modelo 3D, en este caso será con un factor de 0.02 (Ver **figura 151**).

Figura 151

Proceso de enmallado del modelo 3D en ABAQUS

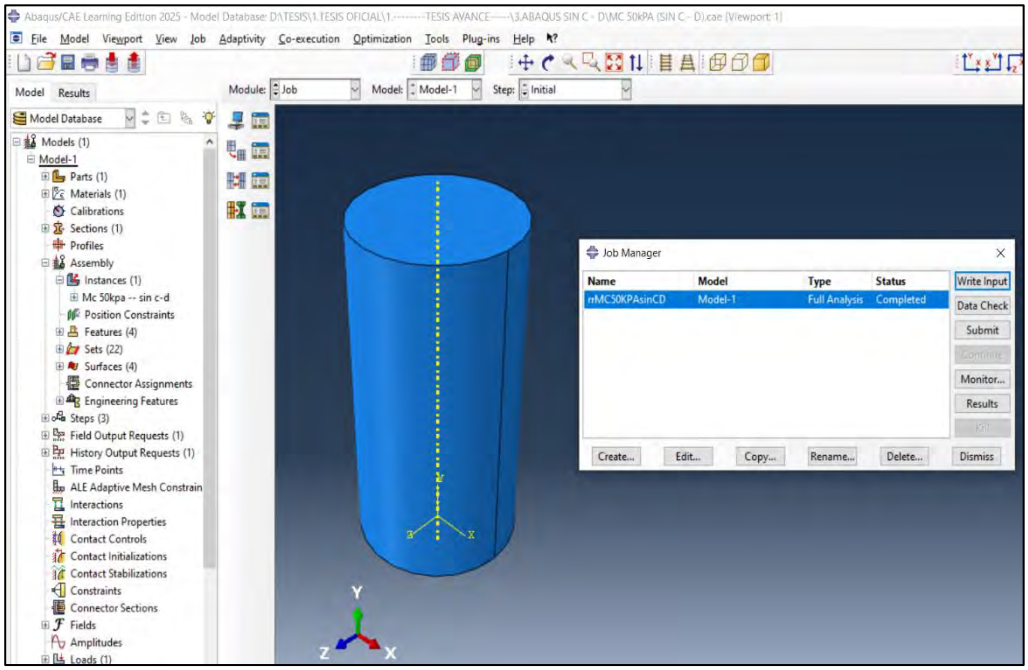


Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

5. Finalmente se procede al cálculo en “Job” y click en “Submit” (Ver **figura 152**)

Figura 152

Proceso de ejecución en "Job" para los resultados en ABAQUS



Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

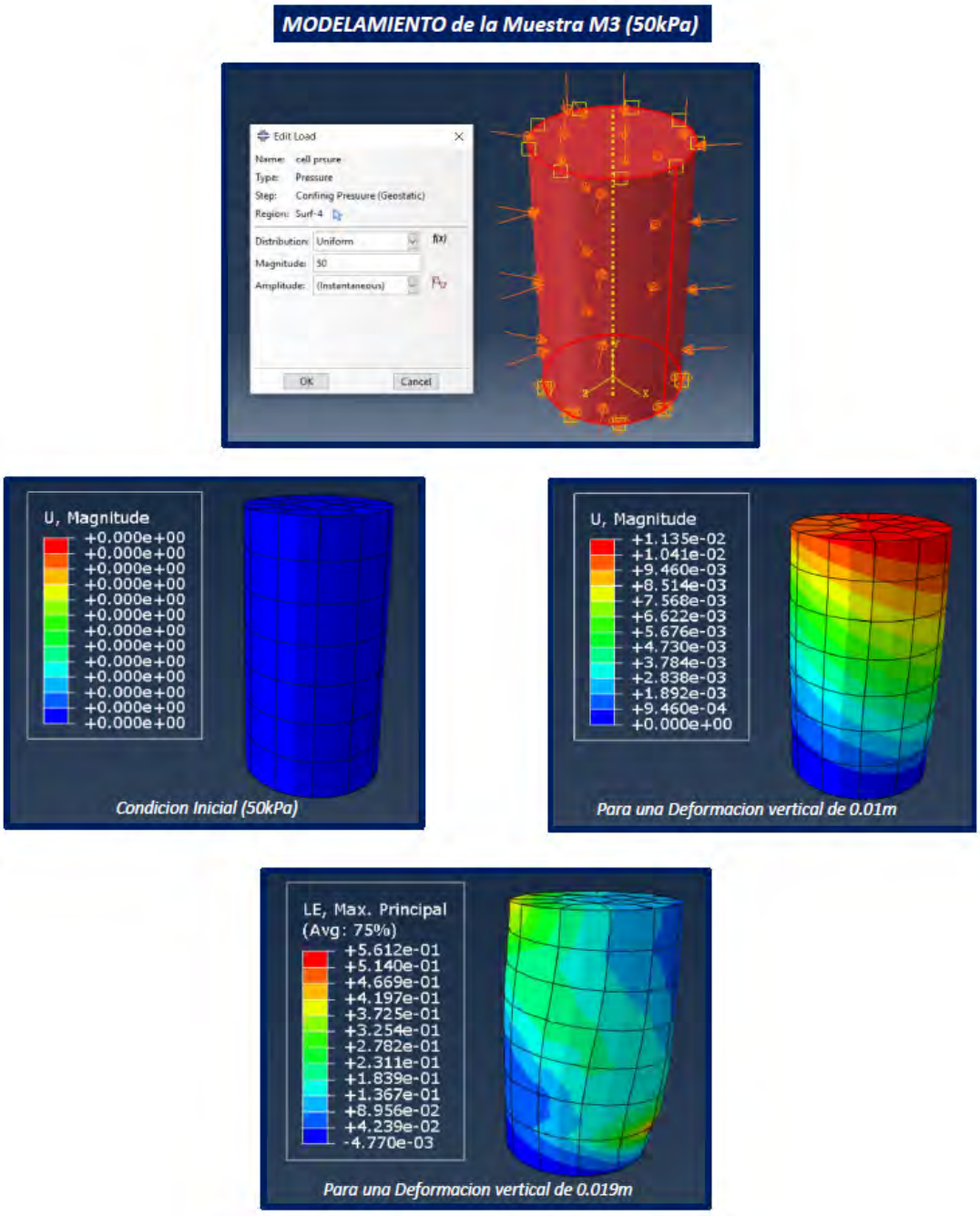
Los resultados en detalle se mostrarán en los Anexos B11 y B12.

- **<u>Resultados de Modelado 3D Usando el Modelo de Mohr Coulomb Plasticidad mediante el Software ABAQUS (SIN Carga – Descarga)</u>**

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga se tiene sus resultados representados por la **figura 153, figura 154 y figura 155 (Ver Anexo B11).**

Figura 153

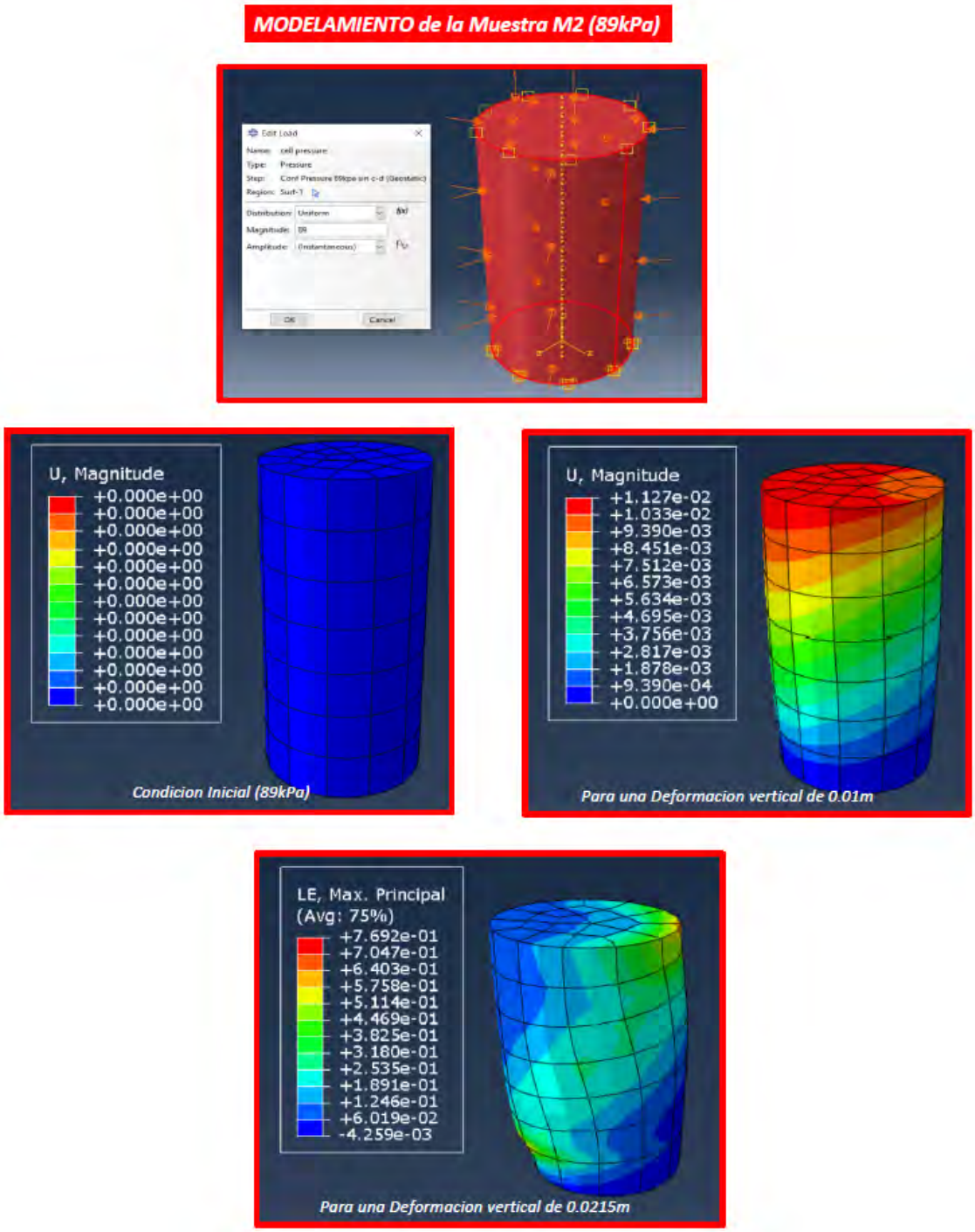
Resultados de Simulación de Probeta M3 (50kPa) y Aproximacion al modo de falla de M3 (50kPa)



Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

Figura 154

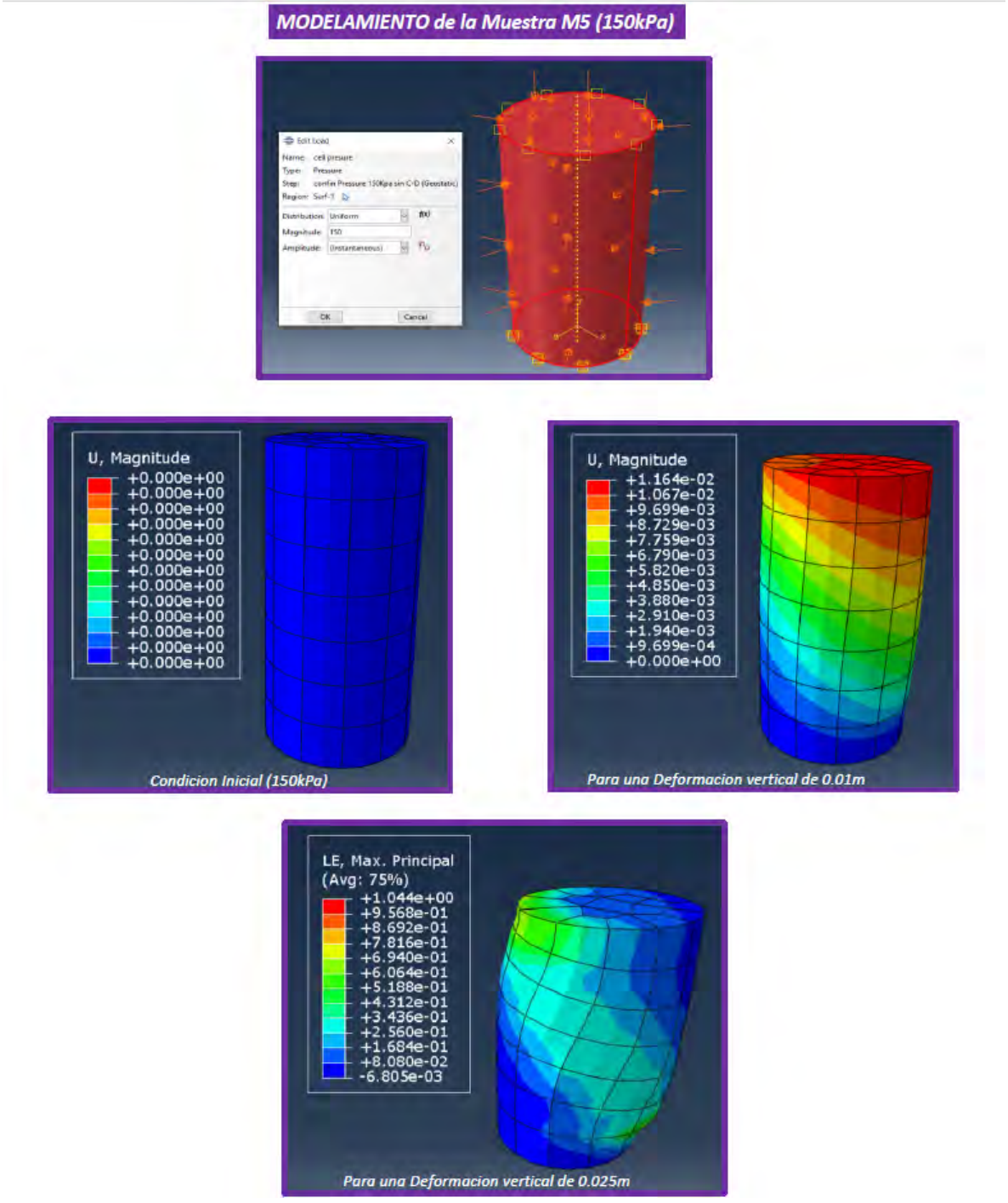
Resultados de Simulación de Probeta M2 (89kPa) y Aproximación al modo de falla de M2 (89kPa)



Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

Figura 155

Resultados de Simulación de Probeta M5 (150kPa) y Aproximación al modo de falla de M5 (150kPa)



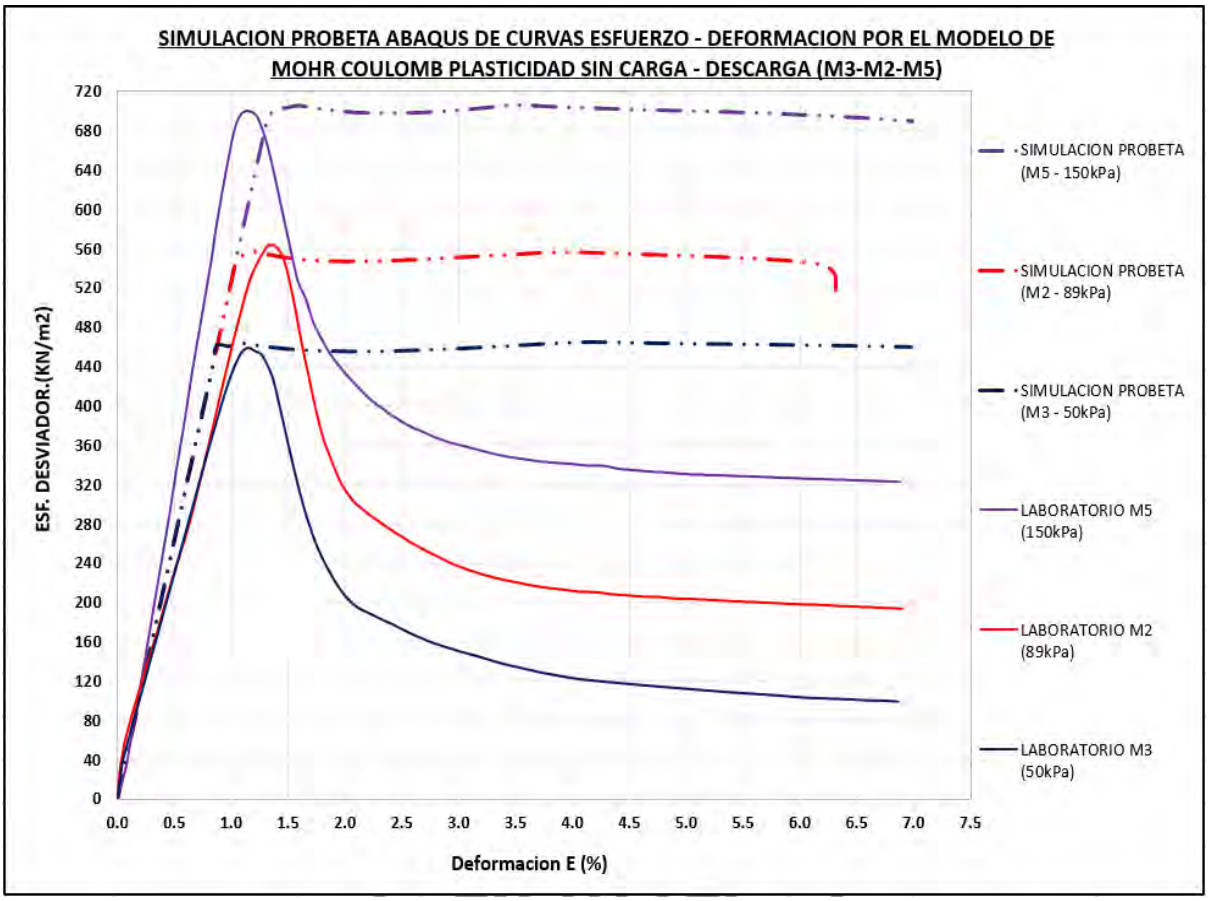
Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

Note en la parte inferior de la figura 153, figura 154 y figura 155 la aproximación al MODO DE FALLA DE LA MUESTRA.

Con los resultados anteriores se tiene la **figura 156** en la que se muestra las comparaciones entre las curvas experimentales esfuerzo – deformación y las curvas de simulación dadas por del modelado 3D Abaqus.

Figura 156

Comparación entre las curvas esfuerzo - deformación experimentales y de modelado ABAQUS (Caso SIN carga – descarga)



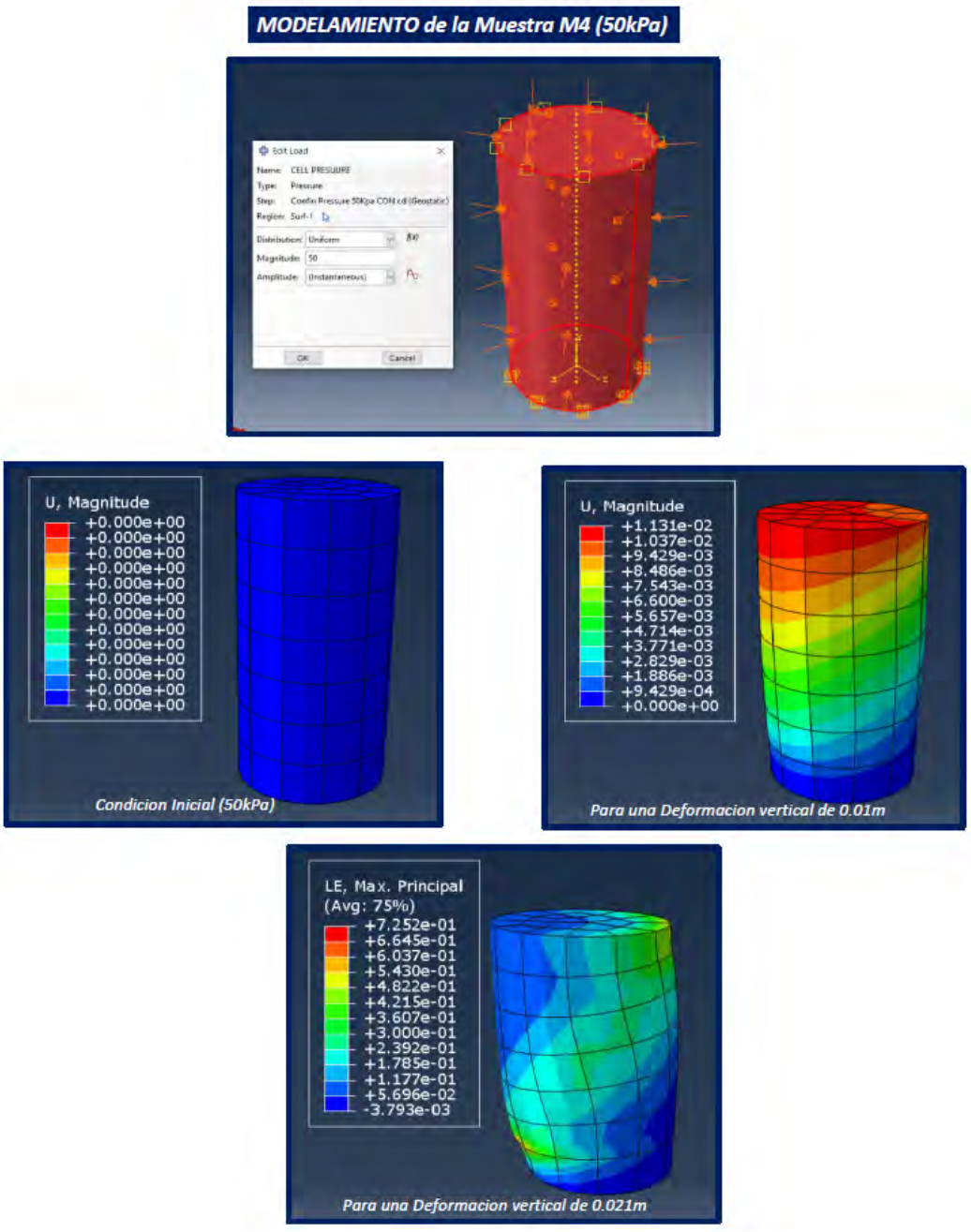
Para mas detalle de los resultados de simulación en Abaqus ver el Anexo B11.

- **<u>Resultados de Modelado 3D Usando el Modelo de Mohr Coulomb Plasticidad mediante el Software ABAQUS (CON Carga – Descarga)</u>**

Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga se tiene sus resultados representados por la **figura 157, figura 158 y figura 159 (Ver Anexo B12).**

Figura 157

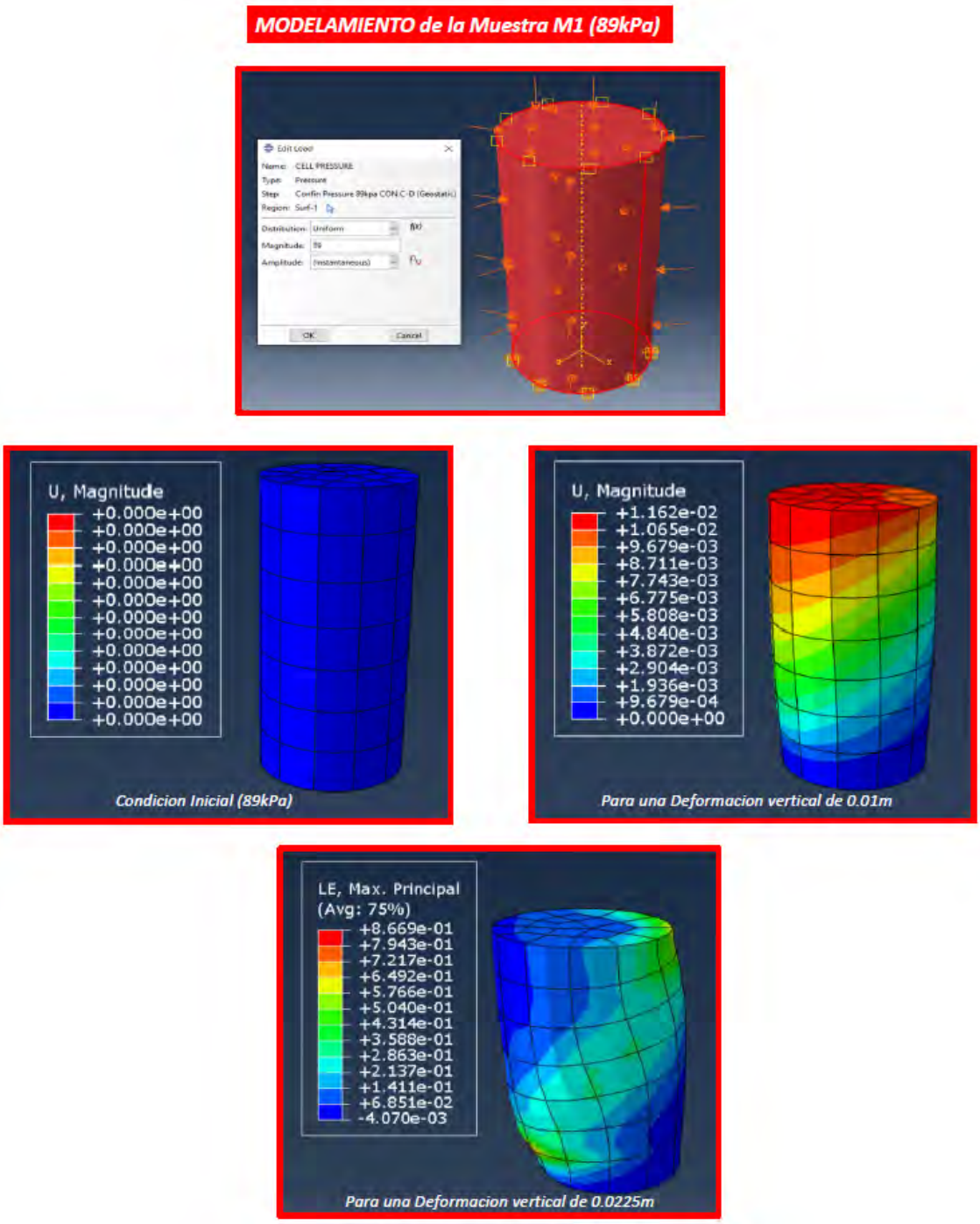
Resultados de Simulación de Probeta M4 (50kPa) y Aproximación al modo de falla de M4 (50kPa)



Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

Figura 158

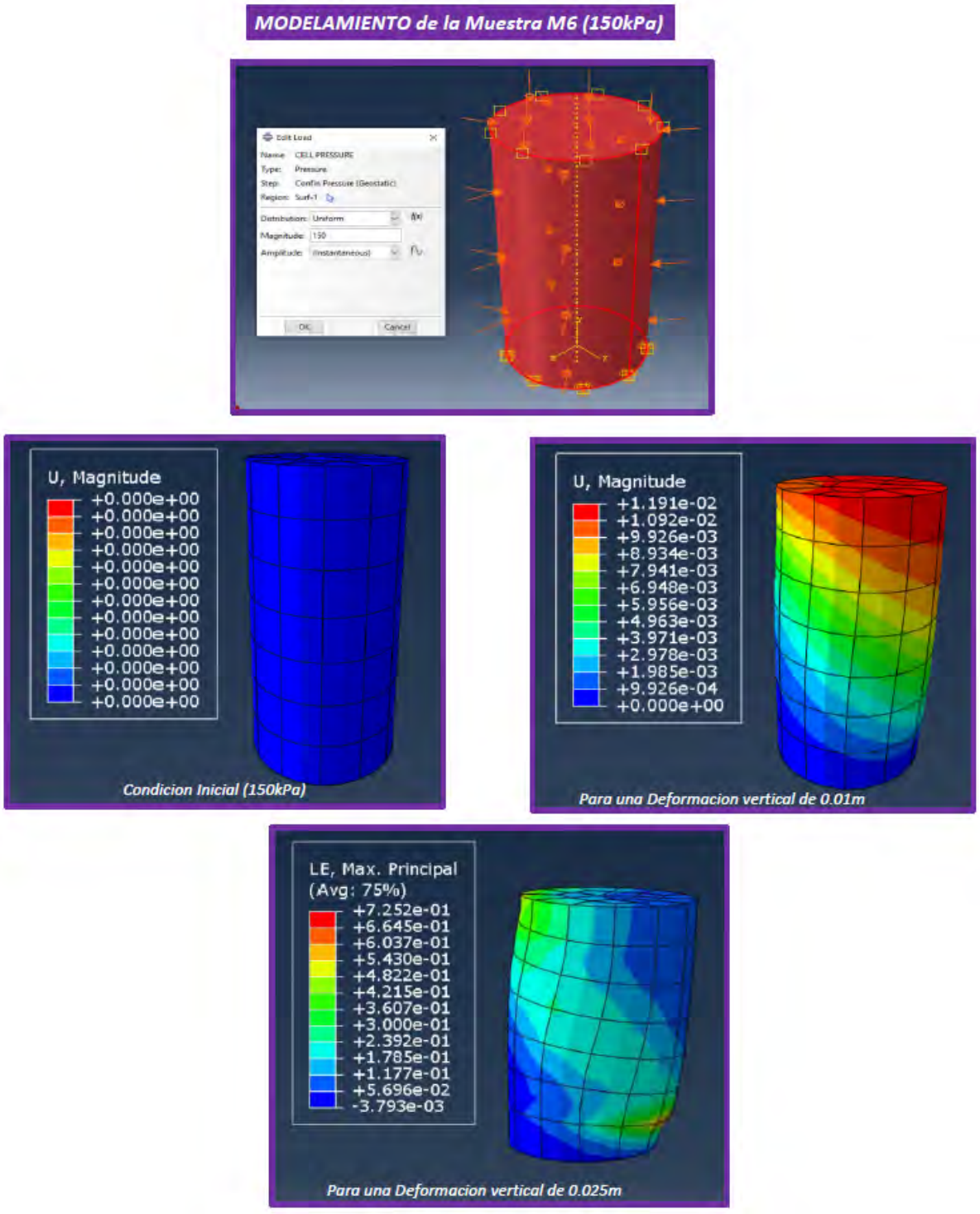
Resultados de Simulación de Probeta M1 (89kPa) y Aproximación al modo de falla de M1 (89kPa)



Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

Figura 159

Resultados de Simulación de Probeta M6 (150kPa) y Aproximación al modo de falla de M6 (150kPa)



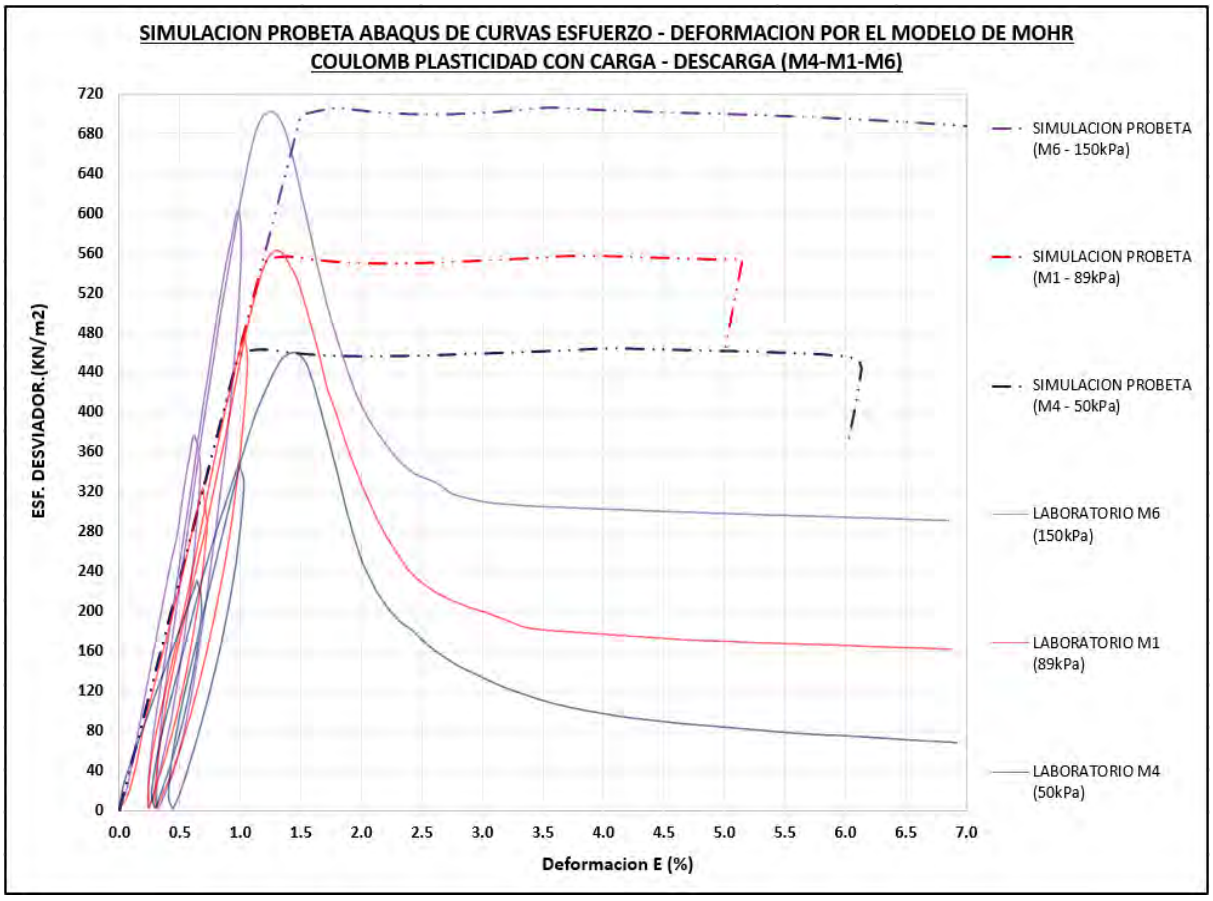
Nota. FUENTE: Tomado de Abaqus/CAE Learning Edition 2025, 2025, Abaqus/CAE

Note en la parte inferior de la figura 157, figura 158 y figura 159 la aproximación al MODO DE FALLA DE LA MUESTRA.

Con los resultados anteriores se tiene la **figura 160** en la que se muestra las comparaciones entre las curvas experimentales esfuerzo – deformación y las curvas de simulación dadas por del modelado 3D Abaqus.

Figura 160

Comparación entre las curvas esfuerzo - deformación experimentales y de modelado ABAQUS (Caso CON carga – descarga)



Para más detalle de los resultados de simulación en Abaqus ver el Anexo B12.

CAPITULO VI: ANALISIS, INTERPRETACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este presente capítulo procederemos a analizar los resultados de las simulaciones realizadas tanto del Soil Test, como del modelado axisimétrico y del obtenido de ABAQUS.

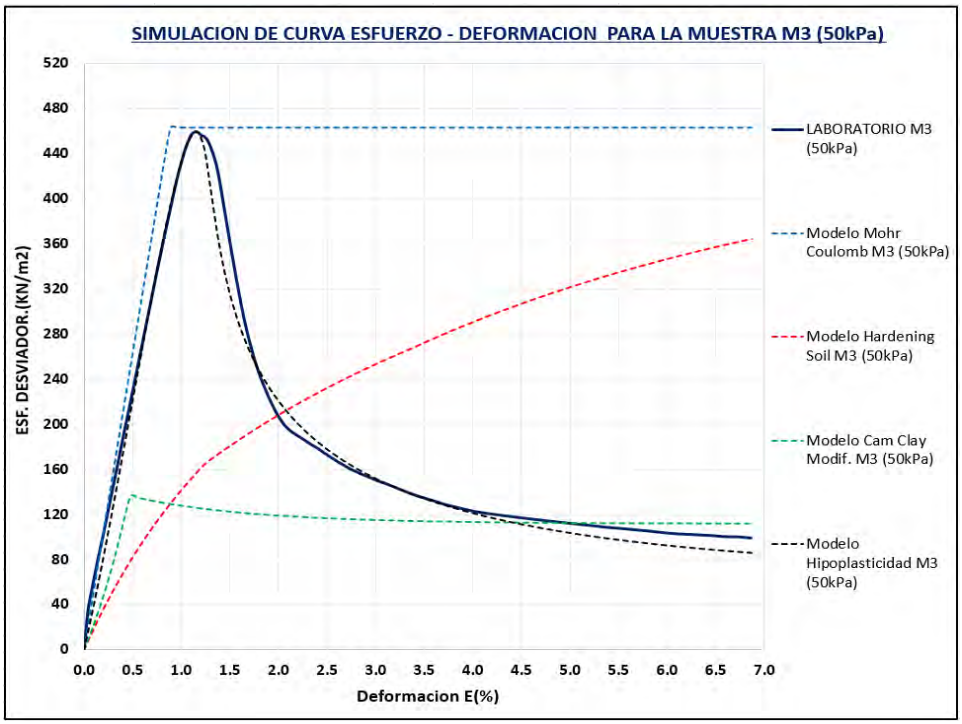
6.1 Análisis de la simulación de cada curva esfuerzo – deformación de los Ensayos Triaxiales SIN carga – descarga (SOIL TEST).

Para la Curva Experimental de la Muestra M3 (50kPa).

Para la Muestra M3 (50kPa) se tiene los siguientes resultados donde se incluyen los cuatro modelos constitutivos para la simulación (Ver figura 161). (Ver también Anexo B7)

Figura 161

Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M3 (50kPa).



Para el *Modelo de Mohr Coulomb*: En la figura 161 se observa que el tramo elástico del modelo crece en forma cercana al tramo pre pico de la curva de laboratorio con una ligera inclinación hacia la izquierda y de acuerdo a la tabla 65 el modelo ofrece un módulo elástico de 14.268% más alto del valor de laboratorio, un esfuerzo máximo de 0.838% más alto del valor del esfuerzo máximo de laboratorio, con una deformación del esfuerzo pico menor al de laboratorio en un 0.259% de diferencia, y la forma en que prosigue después de alcanzar el

esfuerzo máximo, de acuerdo a la figura 161, es debido al comportamiento elastoplástico perfecto que ofrece el modelo como se mencionó anteriormente.

Para el *Modelo de Hardening Soil*: Como se mencionó en la sección 2.10.2 este modelo simula el comportamiento hiperbólico del suelo, sin embargo, de acuerdo a la figura 161, esta curva de modelo no se adecua a la curva de laboratorio, dando valores muy alejados de acuerdo a la tabla 65, por ejemplo, el valor del módulo de elasticidad del modelo es un 20.2095% del valor de laboratorio, que es muy desproporcionado, y a pesar que el esf. máx. del modelo es solo 0.846% más alto del valor de laboratorio, la deformación al esf. máximo del modelo está muy lejana de la deformación máxima de la curva de laboratorio M3.

Para el *Modelo de Cam Clay Modificado*: Inicialmente tiene un comportamiento similar al de laboratorio hasta un 0.481% de deformación, pero como el modelo está basado en el esfuerzo residual, esta decae tratando de simular el esfuerzo residual como lo muestra la figura 161, dando un valor de esfuerzo de modelo de 12.49% más alto del valor del esfuerzo residual de laboratorio de M3, a la deformación 6.868%, y un módulo de elasticidad de 54.61% del valor de laboratorio, el cual es un valor muy alejado.

Para el *Modelo de la Hipoplasticidad*: De acuerdo al figura 161, este modelo se adecua muy bien a la curva de laboratorio de M3, podemos observar un muy buen comportamiento del modelo para el tramo pre pico y post pico de la curva de laboratorio, que de acuerdo a la tabla 65 el esfuerzo máximo del modelo solo inferior en un 0.0059% del valor de dado de laboratorio y con respecto a sus deformaciones al esfuerzo máximo solo tienen una diferencia de 0.016%, y con respecto al módulo elástico el valor del modelo solo es inferior en un 3.868% del valor de laboratorio, sin embargo para el esfuerzo residual tal como se ve en la figura 161 y en la tabla 65, el dado por el modelo es inferior en solo un 13.24% del valor de laboratorio. Por lo tanto, con estas diferencias el modelo es muy adecuado para

simular por ejemplo el esfuerzo pico de la curva esfuerzo – deformación de M3, y también ligeramente el esfuerzo residual, pero todo ello en el SOIL TEST.

Tabla 65

Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M3 (50kPa).

Esfuerzos y Deformaciones para la Simulación de la curva M3 (50kPa)					
Tipo de Curva	Esfuerzo Máximo (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo máximo	Respecto al Esfuerzo Residual (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo Residual	Módulo de Rigidez-Elasticidad (kN/m2)
Curva de Muestra M3 (50kPa)	459.04	1.152%	99.273	6.868%	46088.75
Curva de Mohr Coulomb	462.921	0.893%	-	-	52664.56
Curva de Hardening Soil	462.922	20.155%	-	-	9314.327
Curva de Cam Clay Modificado	135.906	0.481%	111.671	6.868%	25167.688
Curva de la Hipoplasticidad	459.013	1.168%	86.131	6.868%	44306.29

Para la Curva Experimental de la Muestra M2 (89kPa).

Para la Muestra M2 (89kPa) se tiene los siguientes resultados donde se incluyen los cuatro modelos constitutivos para la simulación (Ver figura 162). (Ver también Anexo B7).

Para el *Modelo de Mohr Coulomb*: En la figura 162 se observa que el tramo elástico del modelo crece también con una ligera inclinación hacia la izquierda antes de llegar al esfuerzo pico y de acuerdo a la tabla 66 el modelo da un módulo elástico de 18.016% más alto del valor de laboratorio, un esfuerzo máximo de modelo de 1.188% más bajo del valor del esfuerzo máximo de laboratorio, con una deformación del esfuerzo pico menor al de laboratorio en un 0.173% de diferencia.

Para el *Modelo de Hardening Soil*: Por la naturaleza hiperbólica del modelo y de acuerdo a la figura 162, esta curva de modelo no se adecua a la curva de laboratorio, dándonos también valores muy alejados de acuerdo a la tabla 66, así el valor del módulo de elasticidad del modelo es de un 23.71% del valor de laboratorio lo cual es también muy desproporcionado y a pesar que el esfuerzo máximo del modelo es solo 1.188% más bajo del valor de laboratorio, las deformaciones al esfuerzo máximo están muy alejadas entre sí.

Para el *Modelo de Cam Clay Modificado*: Para este caso de acuerdo la figura 162 la curva del modelo tiene un crecimiento progresivo pero como está en función del esfuerzo residual esta tiende a simular el esfuerzo residual de laboratorio dando un valor de esfuerzo de modelo de 2.28% más alto del valor del esfuerzo residual de laboratorio, a una misma deformación de 6.897%, y también el módulo de elasticidad del modelo es solo 0.772% más alto del valor del módulo de elasticidad de laboratorio, esto porque la curva inicialmente tiene un comportamiento similar al de laboratorio hasta una deformación antes del 0.5%, y también se observa en la tabla 66 que el esfuerzo máximo y su deformación respectiva para del modelo está muy alejado del valor de laboratorio, por lo tanto el modelo no se adecua a la curva de laboratorio M2, sin embargo da valores cercanos para el esfuerzo residual.

Para el *Modelo de la Hipoplasticidad:* De la figura 162, este modelo también se ajusta muy bien a la curva de laboratorio, antes y después del esfuerzo máximo y de acuerdo a la tabla 66 podemos ver que el esfuerzo máximo del modelo es solo superior en un 0.112% del valor de laboratorio, asimismo sus deformación al esfuerzo máximo solo tienen una diferencia de 0.035% lo cual es muy pequeño, y con respecto al módulo de elasticidad del modelo esta es solo superior en un 1.655% del valor del módulo de elasticidad de laboratorio, siendo muy cercanos, pero en los esfuerzos residuales, el valor del modelo es 22.91% más bajo del valor de laboratorio, por lo tanto, el modelo simula bien la parte pico de la curva de laboratorio pero no bien la parte del esfuerzo residual, pero todo ello en el SOIL TEST.

Figura 162

Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M2 (89kPa).

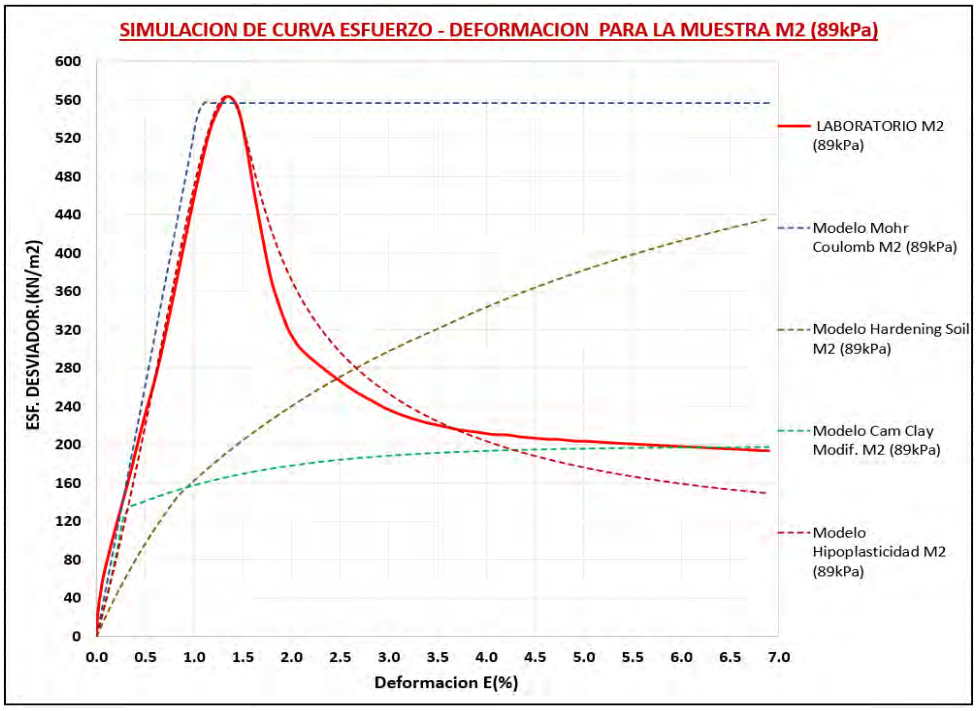


Tabla 66

Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M2 (89kPa).

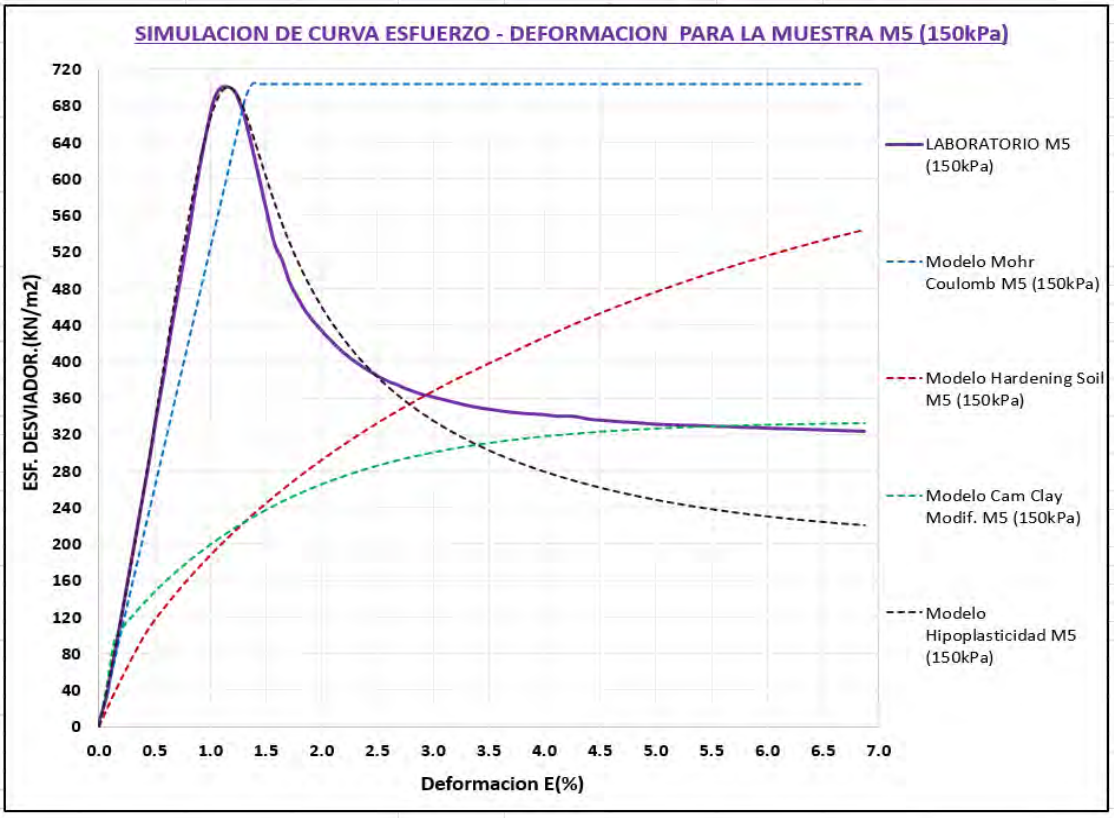
Esfuerzos y Deformaciones para la Simulación de la curva M2 (89kPa)					
Tipo de Curva	Esfuerzo Máximo (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo máximo	Respecto al Esfuerzo Residual (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo Residual	Módulo de Rigidez-Elasticidad (kN/m2)
Curva de Muestra M2 (89kPa)	563.41	1.345%	193.53	6.897%	44503.05
Curva de Mohr Coulomb	556.717	1.172%	-	-	52520.51
Curva de Hardening Soil	556.718	20.496%	-	-	10551.891
Curva de Cam Clay Modificado	198.717	22.10%	197.943	6.897%	44159.293
Curva de la Hipoplasticidad	562.779	1.310%	149.184	6.897%	45239.47

Para la Curva Experimental de la Muestra M5 (150kPa).

Para la Muestra M5 (150kPa) se tiene los siguientes resultados donde se incluyen los cuatro modelos constitutivos para la simulación (Ver figura 163). (Ver también Anexo B7).

Figura 163

Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M5 (150kPa).



Para el *Modelo de Mohr Coulomb*: En la figura 163 se observa que el tramo elástico del modelo crece pero con una inclinación hacia la derecha antes de llegar al esfuerzo pico de M5 y de acuerdo a la tabla 67 el modelo da un módulo elástico de 19.886% más bajo del valor de laboratorio, un esfuerzo máximo de modelo de 0.386% más alto del valor del esfuerzo máximo de laboratorio, con una deformación del esfuerzo pico mayor al de laboratorio en un 0.243% de diferencia, y de acuerdo a la figura 163 el tramo recto horizontal del modelo está un poco por encima del valor del esfuerzo máximo de la curva de laboratorio.

Para el *Modelo de Hardening Soil*: De manera similar a los casos M3 y M2 y de acuerdo a la figura 163, esta curva de modelo también no se adecua a la curva de laboratorio, dándonos también valores muy alejados de acuerdo a la tabla 67, de ahí el valor del módulo de elasticidad del modelo es de solo un 19.407% del valor de laboratorio lo cual es también muy desproporcionado y a pesar que el esfuerzo máximo del modelo es solo 0.386% más alto del valor de laboratorio, las deformaciones al esfuerzo máximo están muy alejadas entre sí.

Para el *Modelo de Cam Clay Modificado*: De acuerdo la figura 163 la curva del modelo también tiene un crecimiento progresivo pero debido a que está en función del esfuerzo residual esta tiende a simular el esfuerzo residual de laboratorio, dando un valor de esfuerzo de modelo de 2.92% más alto del valor del esfuerzo residual de laboratorio, a una misma deformación 6.873%, y el módulo de elasticidad del modelo es de 61.83% más bajo del valor del módulo de elasticidad de laboratorio, note que en este caso la parte inicial de la curva del modelo solo es similar al de laboratorio antes de una deformación de 0.25%, he ahí porque es ahora más pequeño el módulo elástico del modelo con respecto al de laboratorio y también se observa que para la tabla 67 el esfuerzo máximo y su deformación respectiva del modelo están también muy alejados de los valores dados de laboratorio, por lo tanto el modelo no se adecua también a la curva de laboratorio M5, sin embargo también da valores cercanos para el esfuerzo residual.

Para el *Modelo de la Hipoplasticidad:* De acuerdo a la figura 163, este modelo también se ajusta muy bien a la curva de laboratorio, antes del esfuerzo máximo tiene una muy buena aproximación a diferencia de los dos casos anteriores y de acuerdo a la tabla 67 el esfuerzo máximo del modelo es solo inferior en un 0.0087% del valor de laboratorio, de la misma manera sus deformaciones al esfuerzo máximo solo tienen una diferencia de 0.036% lo cual es muy pequeño también, y con respecto al módulo de elasticidad del modelo esta es solo superior en un 2.38% del valor del módulo de elasticidad de laboratorio, siendo muy

cercanos, y en los esfuerzos residuales el valor del modelo es 31.72% más bajo del valor de laboratorio, por lo tanto el modelo simula de muy bien la parte pre pico de la curva de laboratorio, pero no lo suficiente el esfuerzo residual, pero todo ello en el SOIL TEST.

Tabla 67

Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M5 (150kPa).

Esfuerzos y Deformaciones para la Simulación de la curva M5 (150kPa)					
Tipo de Curva	Esfuerzo Máximo (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo máximo	Respecto al Esfuerzo Residual (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo Residual	Módulo de Rigidez-Elasticidad (kN/m2)
Curva de Muestra M5 (150kPa)	700.72	1.132%	323.10	6.873%	65426.78
Curva de Mohr Coulomb	703.423	1.375%	-	-	52416.00
Curva de Hardening Soil	703.424	20.984%	-	-	12697.19
Curva de Cam Clay Modificado	334.904	23.50%	332.54	6.873%	24974.17
Curva de la Hipoplasticidad	700.659	1.168%	220.617	6.873%	66984.62

Con el fin de presentar un resumen de estos análisis se tiene la **figura 164 y figura 165** para ver una comparación entre los valores anteriormente analizados para los esfuerzos máximos y residuales para las curvas de laboratorio de las muestras M3, M2 y M5. Se debe tener en cuenta que estos análisis se hacen presentando una proporción con respecto al valor de laboratorio en porcentaje, si el valor es mayor a 100% es porque el valor del modelo es mayor al valor de laboratorio, si el valor es menor al 100% el valor del modelo es menor al de laboratorio, y si el valor es 100% el valor del modelo es igual al del laboratorio.

Figura 164

Valores de la proporción del Esfuerzo Máximo de los Modelos con respecto al Esfuerzo Maximo de Laboratorio en porcentaje de M3, M2 y M5.

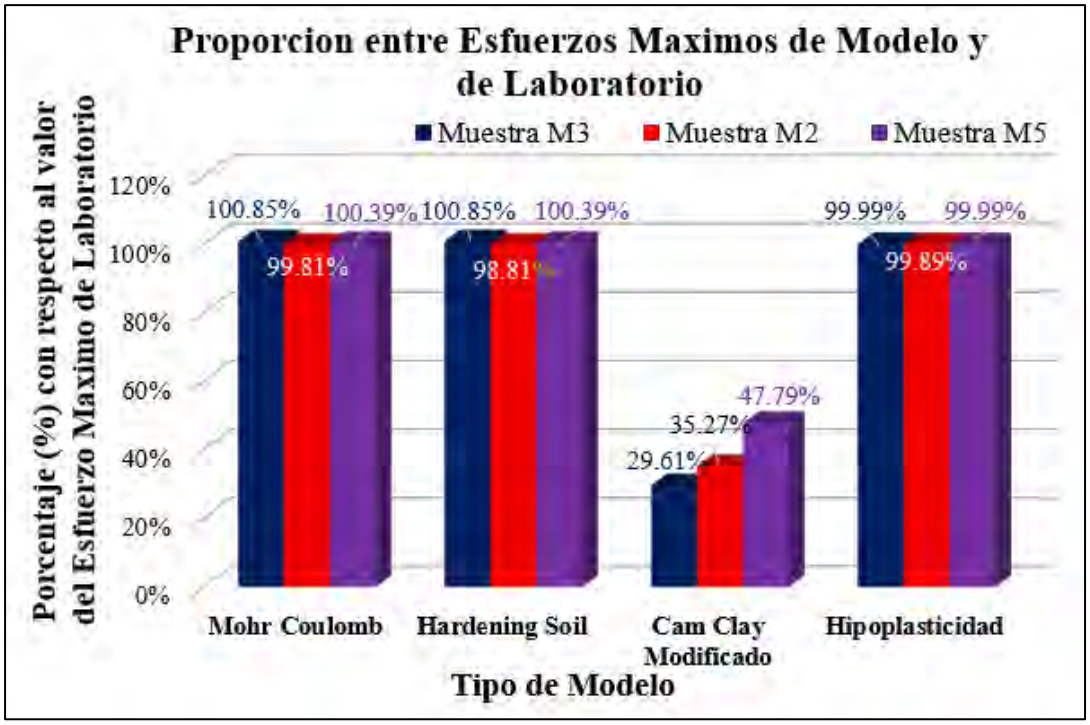
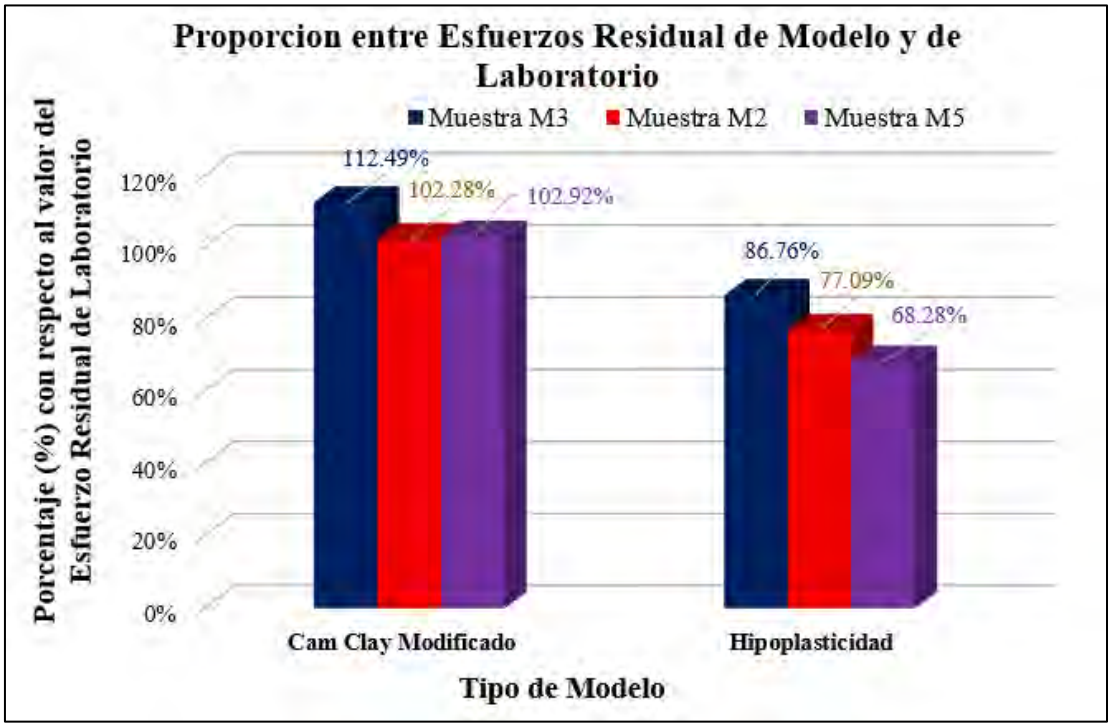


Figura 165

Valores de la proporción del Esfuerzo Residual de los Modelos con respecto al Esfuerzo Residual de Laboratorio en porcentaje de M3, M2 y M5.



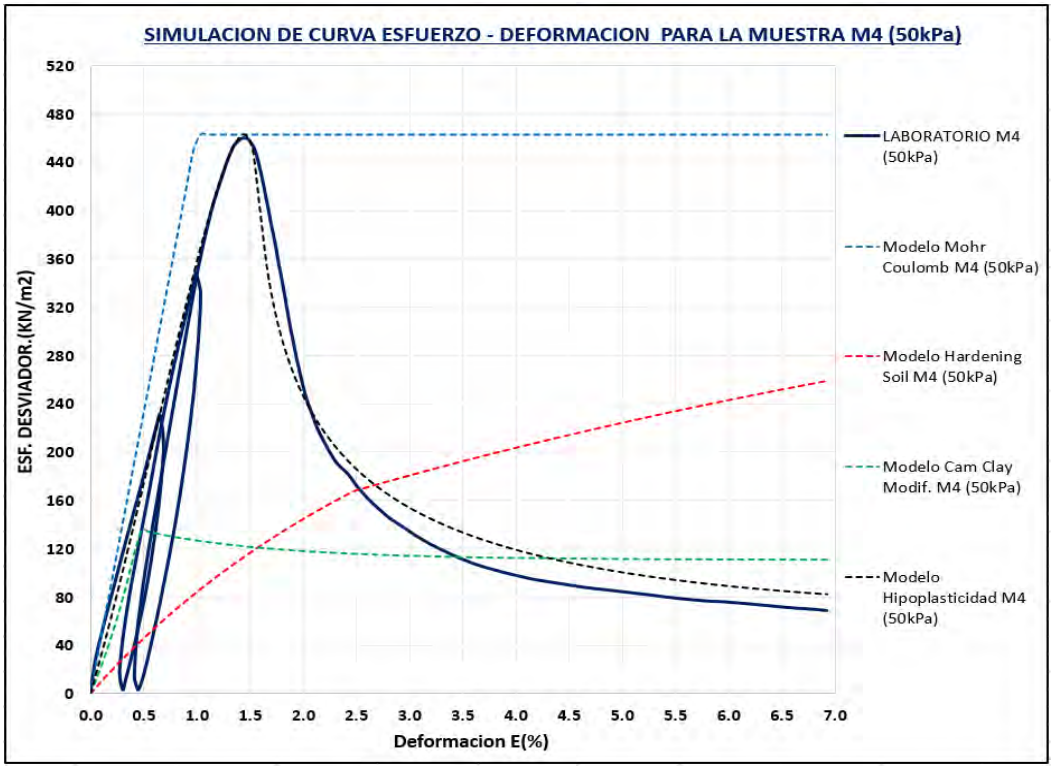
6.2 Análisis de la simulación de cada curva esfuerzo – deformación de los Ensayos Triaxiales CON carga – descarga (SOIL TEST).

Para la Curva Experimental de la Muestra M4 (50kPa).

Para la Muestra M4 (50kPa) se tiene los siguientes resultados donde se incluyen los cuatro modelos constitutivos para la simulación (Ver figura 166). (Ver también Anexo B8).

Figura 166

Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M4 (50kPa).



Para el *Modelo de Mohr Coulomb*: En la figura 166 el tramo elástico del modelo crece al tramo pre pico de la curva de laboratorio con una inclinación considerable hacia la izquierda y de acuerdo a la tabla 68 el modelo ofrece un módulo elástico de 29.74% más alto del valor de laboratorio, siendo un porcentaje de cerca del doble que del caso de M3, también se tiene esfuerzo máximo de 0.6775% más alto del valor del esfuerzo máximo de laboratorio, con una deformación del esfuerzo pico menor al de laboratorio en un 0.395% de diferencia, siendo mayor al caso de M3, por lo tanto el modelo solo se adecua al esfuerzo máximo de laboratorio y que en este caso la recta horizontal está por encima de esta.

Para el *Modelo de Hardening Soil*: De manera similar a los casos M3, M2 y M5 y de acuerdo a la figura 166, esta curva de modelo no se adecua a la curva de laboratorio, dándonos también valores muy alejados de acuerdo a la tabla 68, de ahí el valor del módulo de elasticidad del modelo es de solo un 11.996% del valor de laboratorio lo cual mucho más desproporcionado y a pesar que el esfuerzo máximo del modelo es solo 0.6779% más alto del valor de laboratorio, las deformaciones al esfuerzo máximo están muy alejadas entre sí, mucho más que en los anteriores casos.

Para el *Modelo de Cam Clay Modificado*: Tiene un comportamiento similar al de laboratorio hasta un 0.484% de deformación, y como el modelo está basado para el esfuerzo residual, esta también decae tratando de simular el esfuerzo residual tal como lo muestra la figura 166, dando un valor de esfuerzo de modelo de 62.49% más alto del valor del esfuerzo residual de laboratorio de M4, a una misma deformación 6.920%, siendo más alto al de M3, y un módulo de elasticidad de 70.56% del valor de laboratorio el cual es un valor que se acerca pero no lo suficiente, incluso el modelo tampoco se adecua a la parte pico de laboratorio.

Para el *Modelo de la Hipoplasticidad*: De acuerdo al figura 166, este modelo se adecua muy bien a la curva de laboratorio en la etapa pre pico (sin incluir los efectos de carga – descarga), sin embargo para la etapa post pico el modelo baja y sube los valores de esfuerzo con respecto al de laboratorio, llegando así a un esfuerzo residual de modelo, que de acuerdo a la tabla 68, el del modelo es superior en un 20.05% del valor de laboratorio el cual también es una cantidad considerable, sin embargo el esfuerzo máximo del modelo solo es superior en un 0.5323% del valor de laboratorio y con respecto a sus deformaciones al esfuerzo máximo solo tienen una diferencia de 0.02%, y con respecto al módulo elástico el valor del modelo solo es inferior en un 1.70% del valor de laboratorio, siendo más al caso de M3. Por lo tanto, el modelo es adecuado para simular el esfuerzo pre pico y zona pico de la curva esfuerzo – deformación, pero no lo suficiente para el esfuerzo residual, pero todo ello en el SOIL TEST.

Tabla 68

Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M4 (50kPa).

Esfuerzos y Deformaciones para la Simulación de la curva M4 (50kPa)					
Tipo de Curva	Esfuerzo Máximo (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo máximo	Respecto al Esfuerzo Residual (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo Residual	Módulo de Rigidez-Elasticidad (kN/m2)
Curva de Muestra M4 (50kPa)	460.24	1.433%	68.544	6.920%	35930.90
Curva de Mohr Coulomb	463.358	1.038%	-	-	46615.53
Curva de Hardening Soil	463.36	43.071%	-	-	4310.32
Curva de Cam Clay Modificado	135.641	0.484%	111.38	6.920%	25353.45
Curva de la Hipoplasticidad	462.69	1.453%	82.292	6.920%	35319.546

Para la Curva Experimental de la Muestra M1 (89kPa).

Para la Muestra M1 (89kPa) se tiene los siguientes resultados donde se incluyen los cuatro modelos constitutivos para la simulación (Ver figura 167). (Ver también Anexo B8).

Para el *Modelo de Mohr Coulomb*: En la figura 167 se observa que el tramo elástico del modelo crece de forma paralela antes de llegar al esfuerzo pico y de acuerdo a la tabla 69 el modelo da un módulo elástico de 0.635% más alto del valor de laboratorio, un esfuerzo máximo de modelo de 0.933% más bajo del valor del esfuerzo máximo de laboratorio, siendo más bajo que del caso de M2, y con una deformación del esfuerzo pico menor al de laboratorio en un 0.0693%. Por lo tanto, el modelo se adecua al tramo pre pico de la curva de laboratorio y a su valor de esfuerzo pico.

Para el *Modelo de Hardening Soil*: También de acuerdo a la figura 167, esta curva de modelo no se ajusta a la curva de laboratorio, y de acuerdo a la tabla 69, así el valor del módulo de elasticidad del modelo es de solo un 10.501% del valor de laboratorio que es mucho más desproporcionado al caso de M2 y a pesar que el esfuerzo máximo del modelo es solo 0.933% más bajo del valor de laboratorio, las deformaciones al esfuerzo máximo están también muy alejadas entre sí, del doble del caso de M2, por lo tanto, este modelo no se ajusta a la curva de laboratorio M1.

Para el *Modelo de Cam Clay Modificado*: También con un crecimiento progresivo y en función del esfuerzo residual, el modelo tiende a simular el esfuerzo residual de laboratorio dando un valor de esfuerzo de modelo de 21.90% más alto del valor del esfuerzo residual de laboratorio, a una misma deformación 6.887%, siendo algo mayor que de M2, y el módulo de elasticidad del modelo es 4.595% más alto del valor del módulo de elasticidad de laboratorio, y adicionalmente también se observa que para la tabla 69 el esfuerzo máximo y su deformación respectiva del modelo están muy alejados de los valores dados de laboratorio, por lo tanto el modelo no se adecua a la curva de laboratorio M1.

Para el *Modelo de la Hipoplasticidad:* De la figura 167, este modelo también se ajusta muy bien a la curva de laboratorio, antes y después del esfuerzo máximo y de acuerdo a la tabla 69 podemos ver que el esfuerzo máximo del modelo es inferior en un 0.197% del valor de laboratorio, y sus deformación al esfuerzo máximo solo tienen una diferencia de 0.001% lo cual es mucho más pequeño que del caso de M2, y con respecto al módulo de elasticidad del modelo esta es inferior en un 6.63% del valor del módulo de elasticidad de laboratorio, siendo más alto que del caso de M2, y con respecto a los esfuerzos residuales el valor del modelo es 22.95% más bajo del valor de laboratorio, que es considerable, sin embargo, se tiene un muy buen ajuste del modelo a la curva de laboratorio antes de 3.5% de deformación., pero todo ello en el SOIL TEST.

Figura 167

Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M1 (89kPa).

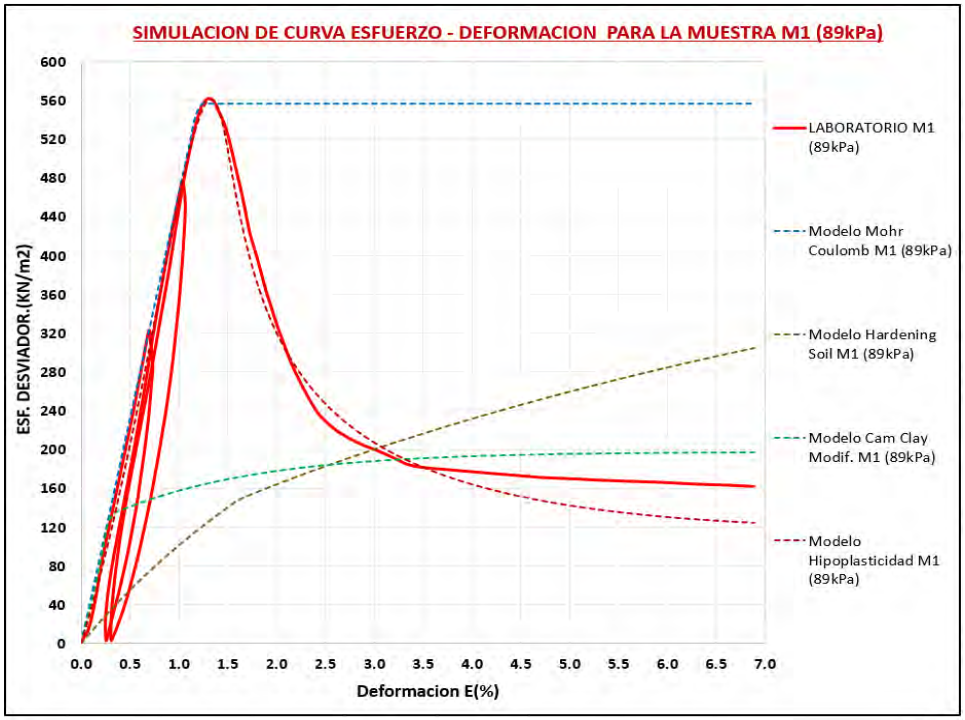


Tabla 69

Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M1 (89kPa).

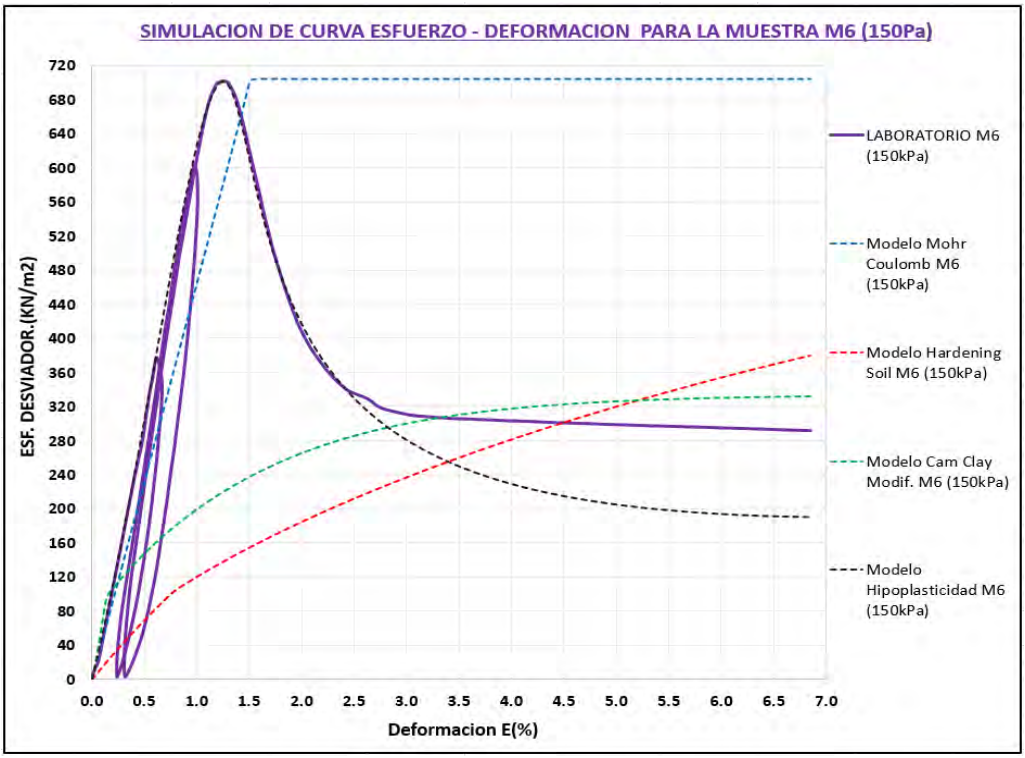
Esfuerzos y Deformaciones para la Simulación de la curva M1 (89kPa)					
Tipo de Curva	Esfuerzo Máximo (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo máximo	Respecto al Esfuerzo Residual (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo Residual	Módulo de Rigidez-Elasticidad (kN/m2)
Curva de Muestra M1 (89kPa)	562.46	1.309%	161.960	6.887%	46141.27
Curva de Mohr Coulomb	557.210	1.2397%	-	-	46434.15
Curva de Hardening Soil	557.210	42.804%	-	-	4845.31
Curva de Cam Clay Modificado	198.094	21.87%	197.44	6.887%	44021.073
Curva de la Hipoplasticidad	561.35	1.308%	124.775	6.887%	43081.26

Para la Curva Experimental de la Muestra M6 (150kPa).

Para la Muestra M6 (150kPa) se tiene los siguientes resultados donde se incluyen los cuatro modelos constitutivos para la simulación (Ver figura 168). (Ver también Anexo B8).

Figura 168

Simulación de la curva esfuerzo - deformación de la Muestra M6 (150kPa).



Para el *Modelo de Mohr Coulomb*: De la figura 168 se observa que el tramo elástico del modelo crece también con una inclinación hacia la derecha antes de llegar al esfuerzo pico y de acuerdo a la tabla 70 el modelo da un módulo elástico de 23.445% más bajo del valor de laboratorio, un esfuerzo máximo de modelo de 0.3042% más alto del valor del esfuerzo máximo de laboratorio, con una deformación del esfuerzo pico mayor al de laboratorio en un 0.3223% de diferencia, entonces, para la figura 168, el modelo es también preciso para el esfuerzo pico de laboratorio pero no es lo mismo para el caso del tramo elástico o para la deformación del esfuerzo pico, y de nuevo , no es útil para predecir los esfuerzos y deformaciones post pico.

Para el *Modelo de Hardening Soil*: Siendo de naturaleza hiperbólica y de acuerdo a la figura 168, esta curva de modelo también no se adecua a la curva de laboratorio, dándonos también valores muy alejados de acuerdo a la tabla 70, pues el valor del módulo de elasticidad del modelo es de solo un 9.735% del valor de laboratorio el cual está mucho más desproporcionado de todos los anteriores casos y a pesar que el esfuerzo máximo del modelo es solo 0.3053% más alto del valor de laboratorio, las deformaciones al esfuerzo máximo están muy alejadas entre sí, por lo tanto el modelo no se adecúa a la curva de laboratorio.

Para el *Modelo de Cam Clay Modificado*: De acuerdo la figura 168 la curva del modelo también tiene un crecimiento progresivo pero debido a que está en función del esfuerzo residual esta tiende a simular el esfuerzo residual de laboratorio, como se mencionó antes, dando un valor de esfuerzo de modelo de 13.69% más alto del valor del esfuerzo residual de laboratorio, a una misma deformación 6.873%, y el módulo de elasticidad del modelo es de 41.237% del valor del módulo de elasticidad de laboratorio, aquí también se indica que la parte inicial de la curva del modelo es similar al de laboratorio antes de una deformación del 0.25%, he ahí porque es ahora más pequeño el módulo elástico del modelo con respecto al de laboratorio y también se observa que para la tabla 70 el esfuerzo máximo y su deformación respectiva del modelo están también muy alejados de los valores dados de laboratorio, por lo tanto el modelo no se adecua también a la curva de laboratorio, sin embargo también da valores cercanos para el esfuerzo residual, pero no lo suficiente.

Para el *Modelo de la Hipoplasticidad:* De acuerdo a la figura 168, este modelo también se ajusta muy bien a la curva de laboratorio pero solo hasta antes del 2.5% de deformación, y de acuerdo a la tabla 70 el esfuerzo máximo del modelo es inferior en solo un 0.266% del valor de laboratorio, de la misma manera sus deformaciones al esfuerzo máximo solo tienen una diferencia de 0.02% lo cual es más pequeño al caso de M5, y con respecto al módulo de elasticidad del modelo esta es solo superior en un 1.447% del valor del módulo de

elasticidad de laboratorio, siendo muy similares, y con respecto a los esfuerzos residuales el valor del modelo es 34.71% más bajo del valor de laboratorio, por lo tanto el modelo solo simula muy bien hasta un 2.5% de deformación y luego se aleja del esfuerzo de laboratorio, pero todo ello en el SOIL TEST.

Tabla 70

Resultados para el Análisis de Simulación de la muestra M6 (150kPa).

Esfuerzos y Deformaciones para la Simulación de la curva M6 (150kPa)					
Tipo de Curva	Esfuerzo Máximo (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo máximo	Respecto al Esfuerzo Residual (kN/m2)	Deformación al Esfuerzo Residual	Módulo de Rigidez-Elasticidad (kN/m2)
Curva de Muestra M6 (150kPa)	701.86	1.253%	291.730	6.849%	60819.74
Curva de Mohr Coulomb	703.995	1.5753%	-	-	46560.53
Curva de Hardening Soil	704.003	42.656%	-	-	5920.971
Curva de Cam Clay Modificado	333.56	23.54%	331.665	6.849%	25080.023
Curva de la Hipoplasticidad	699.992	1.233%	190.46	6.849%	61699.734

Con el fin de presentar un resumen de estos análisis se tiene la **figura 169 y figura 170** para ver una comparación estadística entre los valores anteriormente analizados para los esfuerzos máximos y residuales para las curvas de laboratorio de las muestras M4, M1 y M6. Se debe tener en cuenta que estos análisis se hacen presentando una proporción con respecto al valor de laboratorio en porcentaje, si el valor es mayor a 100% es porque el valor del modelo es mayor al valor de laboratorio, si el valor es menor al 100% el valor del modelo es menor al de laboratorio, y si el valor es 100% el valor del modelo es igual al del laboratorio.

Figura 169

Valores de la proporción del Esfuerzo Máximo de los Modelos con respecto al Esfuerzo Máximo de Laboratorio en porcentaje de M4, M1 y M6.

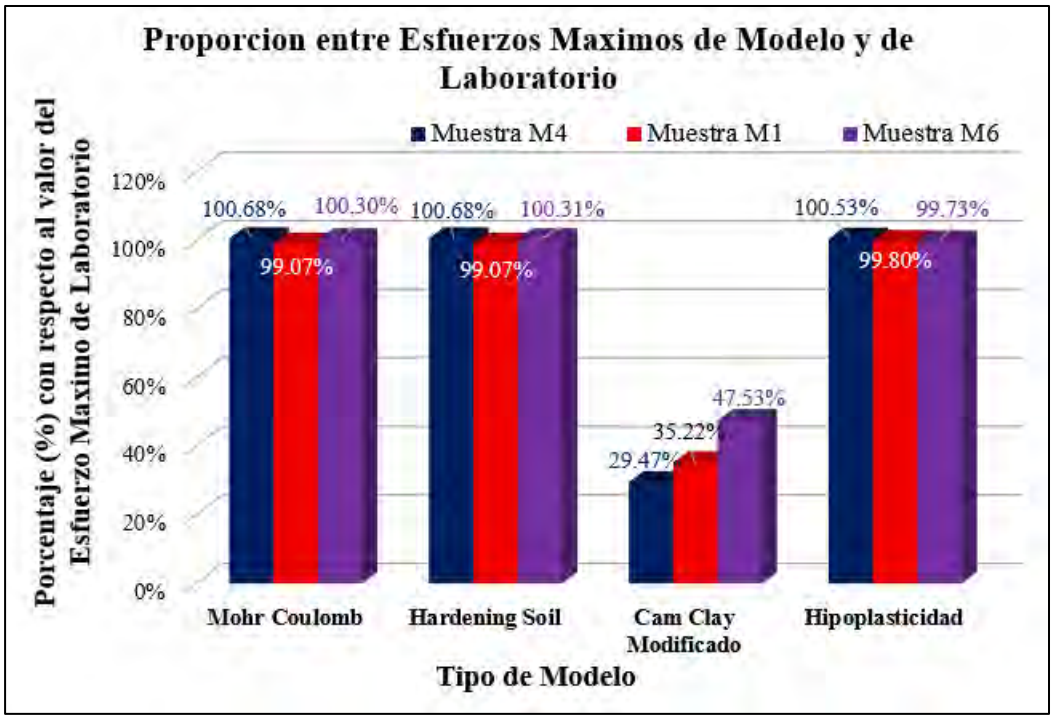
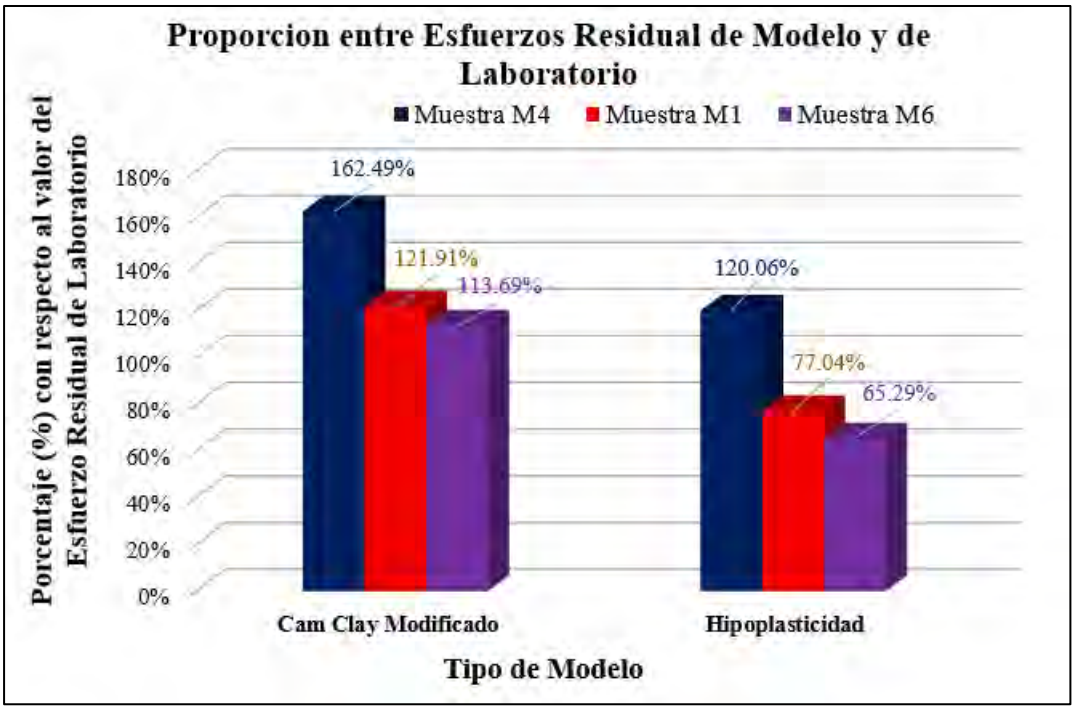


Figura 170

Valores de la proporción del Esfuerzo Residual de los Modelos con respecto al Esfuerzo Residual de Laboratorio en porcentaje de M4, M1 y M6.



6.3 Análisis de los resultados de las curvas esfuerzo – deformación del modelado axisimétrico obtenidos del software Plaxis 2D.

Para el modelo de Mohr Coulomb:

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (M3, M2 y M5): En este caso de acuerdo a la figura 134 y Anexo B9 los valores máximos desviadores de modelo axisimétrico son de 469.702 kPa, 567.330 kPa y 716.621 kPa para M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) respectivamente, los cuales, con respecto a los valores experimentales de los esfuerzos desviadores máximos (M3, M2 y M5), son de 2.32% más alto, 0.696% más alto y 2.269% más alto, respetivamente, donde sus deformaciones al esfuerzo máximo son aproximadas. Sin embargo, se debe aclarar que las curvas de modelado axisimétrico también se acercan al comportamiento pre pico de laboratorio, aunque la parte que rodea el esfuerzo máximo en la curva tiene un pico mas ondulado a medida que aumenta el confinamiento y son parecidas al mostrado de la figura 89 por el Soil Test.

Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (M4, M1 y M6): En este caso de acuerdo a la figura 136 y Anexo B10 los valores máximos desviadores de modelo axisimétrico son de 470.577 kPa, 567.459 kPa y 716.023 kPa para M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) respectivamente, los cuales, con respecto a los valores experimentales de los esfuerzos desviadores máximos (M4, M1 y M6), son de 2.246% más alto, 0.889% más alto y 2.018% más alto, respetivamente, donde sus deformaciones al esfuerzo máximo son aproximadas, y también las curvas de modelado axisimétrico se acercan al comportamiento pre pico de laboratorio y también la parte que rodea el esfuerzo máximo en la curva tiene un pico más ondulado a medida que aumenta el confinamiento y también son parecidas al mostrado de la figura 94 por el Soil Test.

Para el modelo de Hardening Soil:

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (M3, M2 y M5): Para ello nos fijaremos en los esfuerzos desviadores que nos da el modelado axisimétrico plaxis 2D en la ultima fase de corte (Ver Anexo B9), dentro del cual se tiene esfuerzos de modelado axisimétrico de 449.892 kPa, 556.594 kPa y 700.72 kPa para M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) respectivamente, los cuales, con respecto a los valores experimentales de los esfuerzos desviadores máximos (M3, M2 y M5), son de 1.994% más bajo, 1.21% más bajo y 0.0001% más bajo, respetivamente. Sin embargo, se debe aclarar que estos esfuerzos de modelado axisimétrico están a una deformación (%) muy alejada del caso experimental (Ver Anexo B9) y como se observa en la figura 138 las curvas no se adecuan a las curvas experimentales, similar a los dados por el Soil test en la figura 97.

Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (M4, M1 y M6): Para ello nos fijaremos también en los esfuerzos desviadores que nos da el modelado axisimétrico plaxis 2D en la última fase de corte (Ver Anexo B10), dentro del cual se tiene esfuerzos de modelado axisimétrico de 460.239 kPa, 557.05 kPa y 701.86 kPa para M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) respectivamente, los cuales, con respecto a los valores experimentales de los esfuerzos desviadores máximos (M4, M1 y M6), son de 0% de diferencia, 0.9622% más bajo y 0% de diferencia, respetivamente. Sin embargo, también se debe aclarar que estos esfuerzos de modelado axisimétrico están a una deformación (%) muy alejada del caso experimental (Ver Anexo B10) y como se observa en la figura 140 las curvas no se adecuan a las curvas experimentales, similar a los dados por el Soil test en la figura 101.

Para el modelo de Cam Clay Modificado:

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (M3, M2 y M5): En este caso se hará con respecto a la ultima fase ejecutada del modelado axisimétrico, estos esfuerzos tienden a los esfuerzo residuales (Ver Anexo B9) dentro del cual se tiene esfuerzos de modelado axisimétrico de 123.053 kPa, 198.04 kPa y 332.665 kPa para M3 (50kPa), M2 (89kPa) y M5 (150kPa) respectivamente, los cuales, con respecto a los valores experimentales de los esfuerzos residuales (M3, M2 y M5), son de 23.95% más alto, 2.33% más alto y 2.96% más alto, respetivamente (aclarando que el esfuerzo de M3 está a una deformación de 1.392%, mientras los otros son aproximados a los de laboratorio para el esfuerzo residual). En la figura 142 las curvas tienden al esfuerzo residual porque el modelo constitutivo está basado en la teoría del estado critico los cuales no llegan a simular el efecto pico de las curvas experimentales, similar al caso de la figura 105 dado por el Soil Test, sin embargo, se debe aclarar que la curva de M3 solo llega hasta 1.392% de deformación, esto puede ser porque Plaxis no simula el efecto de la muestra rota al momento de la falla, ya que esta falla se dio alrededor de 1.5% de deformación unitario en el laboratorio.

Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (M4, M1 y M6): De la misma manera se hará con respecto a la última fase ejecutada del modelado axisimétrico, estos esfuerzos tienden a los esfuerzo residuales (Ver Anexo B10) dentro del cual se tiene esfuerzos de modelado axisimétrico de 122.884 kPa, 197.557 kPa y 331.888 kPa para M4 (50kPa), M1 (89kPa) y M6 (150kPa) respectivamente, los cuales, con respecto a los valores experimentales de los esfuerzos residuales (M4, M1 y M6), son de: casi el doble, 21.98% más alto y 13.77% más alto, respetivamente (aclarando que el esfuerzo de M3 está a una deformación de 1.383%, mientras los otros son aproximados a los de laboratorio para el esfuerzo residual). En la figura 144 las curvas tienden al esfuerzo residual porque el modelo constitutivo está basado en la teoría del estado crítico los cuales también no llegan a simular

el efecto pico de las curvas experimentales, similar al caso de la figura 109 dado por el Soil Test, sin embargo, también se debe aclarar que la curva de M4 solo llega hasta 1.383% de deformación, esto puede ser porque Plaxis no simula el efecto de la muestra rota al momento de la falla, ya que esta falla se dio alrededor de 1.5% de deformación unitario en el laboratorio.

Para el modelo de la Hipoplasticidad:

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (M3, M2 y M5) y Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (M4, M1 y M6): Como se puede ver en la figura 146 y 148, los esfuerzos máximos desviadores de los modelos axisismetricos se aproximan mucho a los dados por el laboratorio, aunque a una diferencia de deformación considerable (Ver Anexo B9 y Anexo B10), sin embargo las curvas dadas por los modelos axisimetricos no se adecuan a los dados por el laboratorio, esto puede ser debido a la complejidad del modelo axisimétrico y su relación con el modelo constitutivo de la hipoplasticidad ya que desde un inicio trata de simular la curva experimental pero luego lo considera como lineal elástico porque, para el modelo axisimetrico, esta habría fallado pero lo sigue "estirando" dando así esa curva recta. Esto es importante porque nos muestra la importancia de VALIDAR los modelos constitutivos en un modelado de probeta o axisimétrico luego de calibrar los parámetros en el Soil Test y para luego recién aplicar el modelo constitutivo al proyecto a modelar.

6.4 Análisis de los resultados del modelado 3D obtenidos del software Abaqus.

Para el Ensayo de Corte Triaxial SIN carga – descarga (M3, M2 y M5) y Para el Ensayo de Corte Triaxial CON carga – descarga (M4, M1 y M6) – Mohr Coulomb Plasticidad:

De acuerdo a la figura 156 y 160 y a los Anexos B11 y B12, los valores después del tramo elástico de la curva esfuerzo – deformación del modelo 3D- Abaqus son aproximados

al esfuerzo desviador máximo de las curvas experimentales, sin embargo, estas curvas después del tramo elástico son “onduladas” a diferencia de los dados por el modelo axisimétrico en el plaxis 2D, el cual es recta, y también estas curvas se acercan al comportamiento pre pico de laboratorio, y también son muy parecidos a los mostrados por el Soil Test y por los modelos axisimétricos del Plaxis 2D.

En los modelos 3D mostrados en la sección 5.5.5 podemos observar las condiciones iniciales del modelo 3D así como los efectos para 0.01m (1cm) de deformación en todos los casos (1cm es la deformación máxima vertical que se dio en el laboratorio a todas las muestras (Ver Anexo A)), dando así, para el caso de M3, M2 y M5 deformaciones globales U de 0.01135m, 0.01127m y 0.01164m, respectivamente, y para el caso de M4, M1 y M6 deformaciones globales U de 0.01131m, 0.01162m y 0.01191m, respectivamente. En esta sección 5.5.5 se puede observar la dirección de la falla y para que se vea con más detalle este modo de falla se puede ver, con deformaciones extendidas, la parte inferior de las figuras 153, 154, 155, 157, 158 y 159 donde se muestra el modelo cilíndrico deformado simulando en forma aproximada el modo de falla de las muestras cilíndricas de los ensayos triaxiales de laboratorio.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Respecto a la simulación de las curvas esfuerzo – deformación (SOI TEST)

Habiendo hecho todo el procedimiento y el análisis necesario en el capítulo VI y con tal de cumplir los objetivos y las hipótesis presentadas en esta investigación, se concluye lo siguiente:

La aplicación de los parámetros de los modelos constitutivos, en el Soil Test, como del modelo de Mohr Coulomb **influye parcialmente**, del modelo de la Hipoplasticidad **influye**, y de los modelos de Cam Clay Modificado y Hardening Soil **no influyen,** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

Para el caso del *Modelo de Mohr Coulomb:* Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) podemos ver que, luego de la calibración, en la **figura 89 y figura 94** el modelo trata de simular el tramo elástico de las curvas experimentales antes de llegar el esfuerzo pico, esto es interesante porque el caso es muy diferente cuando se simulan curvas de suelos normalmente consolidados, y también se pudo observar que para las curvas de las muestras M2 y M1, el modelo tiene una mejor aproximación en los esfuerzos pico y deformaciones respectivas, pero en los demás casos las deformaciones al esfuerzo pico del modelo son bastante alejadas a las de laboratorio, esto se puede ver con más claridad para la curva de modelo de la muestra M4 que se aleja bastante de la curva de laboratorio M4. Por lo tanto, se puede observar que los parámetros elásticos del modelo influyen en la simulación del tramo pre pico de las curvas de laboratorio, sin embargo, el modelo no logra simular el efecto post pico de las curvas debido a que el modelo Mohr Coulomb es un modelo elastoplástico perfecto.

Para el caso del *Modelo de Cam Clay Modificado*: Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) podemos ver, para un mejor enfoque, de la **figura 105 y figura 109** de manera similar al anterior caso pero con la diferencia de que las curvas del modelo si están basadas para el esfuerzo residual de las curvas experimentales, en el cual se puede observar que antes del 7% de deformación unitaria, el esfuerzo (con respecto al esfuerzo residual de laboratorio) de las curvas modelo se aproximan al esfuerzo residual de las curvas experimentales, resaltando para el caso de las curvas sin carga – descarga. Sin embargo, se debe reiterar que el modelo está basado en la teoría del estado crítico he ahí el comportamiento progresivo que tienen las curvas del modelo, y también por el efecto de ingresar el OCR>1 podemos también concluir que no se logra simular el comportamiento pico de las curvas de laboratorio dándonos solo un cambio de dirección progresivo al inicio de las deformaciones. Por lo tanto, el modelo de Cam Clay Modificado no se ajusta al comportamiento pre y post pico del esfuerzo máximo de las curvas experimentales.

Para el caso del *Modelo de Hardening Soil*: Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) podemos ver, para un mejor enfoque, de la **figura 97 y figura 101** que las curvas obtenidas del modelo no se ajustan a las curvas experimentales de laboratorio, esto es debido a que el modelo está basado en el modelo hiperbólico de Duncan y Chan, el cual es más apropiado para suelos normalmente consolidados por tener un comportamiento hiperbólico. Además, se debe reiterar que las curvas del modelo están en función de la resistencia máxima de las curvas experimentales, por ello las deformaciones al esfuerzo pico de las curvas del modelo están muy alejados de las deformaciones de las curvas experimentales a pesar que sus esfuerzos pico son cercanos, incluso podemos concluir que a pesar que se ingresa un OCR>1 en el modelo, esta no logra simular el esfuerzo pico dando solo un punto de inflexión como se ve al inicio de las deformaciones. Por lo tanto, el modelo de Hardening Soil no se adecua a

las curvas esfuerzo - deformación experimentales de laboratorio, a pesar de tener parámetros avanzados, demostrando que el modelo no siempre simula todo tipo de suelos.

Para el caso del *Modelo de la Hipoplasticidad*: Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) podemos ver que, luego de la calibración, de la **figura 120 y figura 129** se obtuvo un muy buen ajuste de las curvas del modelo a las curvas experimentales en las partes pre y post pico, donde podemos concluir que los parámetros de deformación intergranular y el ingreso del valor del OCR influyen significativamente en el modelamiento. También se obtuvo que el modelo, en el Soil Test, da valores cercanos al módulo de elasticidad en todas las simulaciones, también el modelo nos da valores casi iguales a sus esfuerzos máximos, destacando para los esfuerzos pico de M3 y M1. Incluso a pesar que el modelo tiene una aproximación cercana o un poco lejana a los esfuerzos residuales de laboratorio, esta última tiene un mejor comportamiento al efecto post pico. Por lo tanto, podemos concluir que el modelo de la Hipoplasticidad es el que mejor se ajusta a las curvas experimentales de laboratorio, en especial para los esfuerzos pico, en el Soil Test.

Solo para el caso del modelo de la hipoplasticidad, en el Soil Test, **simula** significativamente el comportamiento esfuerzo – deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.

Respecto a la simulación de las curvas de los modelos Axisimetricos (Plaxis 2D)

Para el caso del *Modelo de Mohr Coulomb:* Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) podemos concluir, y observando las figuras 134 y 136, que las curvas de modelo axisimétrico también se aproxima al efecto pre pico de las curvas experimentales, no siendo así para el efecto post pico experimental, también se puede observar la similitud a los resultados dados del Soil Test, con la diferencia de que en el esfuerzo máximo del modelo axisimétrico se crea un efecto pico pequeño que crece a medida que aumenta el confinamiento.

Para el caso del *Modelo de Cam Clay Modificado*: Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) podemos concluir, y observando las figuras 142 y 144, que las curvas del modelo axisimétrico también tiende a simular el esfuerzo residual de las curvas experimentales, ya que está basado en la teoría del estado crítico, este modelo axisimétrico también no logra simular el efecto pico de laboratorio. También se concluye que el modelado axisimétrico puede mostrar de forma aproximada hasta donde puede llegar la curva del modelo axisimétrico antes de que la muestra falle (sin "estirarlo") tal como se muestra para las curvas de M3 y M4.

Para el caso del *Modelo de Hardening Soil*: Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) podemos concluir, y observando las figuras 138 y 140, que las curvas de los modelos axisimétrico también no logran simular las curvas experimentales de laboratorio a pesar de ser un modelo constitutivo avanzado, debido a la naturaleza hiperbólica del modelo constitutivo anteriormente mencionado, en este caso también se puede ver su similitud con de las curvas dadas por el Soil Test,

Para el caso del *Modelo de la Hipoplasticidad*: Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) podemos concluir, y observando las figuras 146 y 148, que en el modelado axisimétrico las curvas que nos dan no se adecúan del todo a las curvas experimentales, provocando que el modelo axisimétrico se "estire" elásticamente, esto nos hace concluir que no solo basta en usar la herramienta Soil Test para la calibración de los parámetros, tenemos que validarlo en un modelo axisimétrico, en este caso.

Respecto a la simulación de las probetas cilíndricas 3D en el software ABAQUS

Caso del *Modelo de Mohr Coulomb Plasticidad:* Para ambos casos (SIN y CON carga – descarga) y observando los resultados de la sección 5.5.5 y el Anexo B11 y B12, se concluye que las curvas esfuerzo – deformación, obtenidas del software Abaqus, también se aproximan al efecto pre pico de las curvas experimentales dando una línea ondulada

horizontal después del tramo elástico, un poco diferente al caso de las curvas dadas por el Soil Test y por el modelo axisimétrico, así también se concluye que el uso del software ABAQUS es muy útil para el modelamiento 3D de las probetas cilindras de los ensayos de corte triaxiales, en especial para simular el MODO DE FALLA de las probetas.

En Resumen, también podemos concluir que luego de la calibración de los parámetros en el Soil Test, también se debe hacer modelos axisimétrico para validar los modelos constitutivos aplicados antes de aplicarlo a un proyecto real, tal como sucedió con el modelo constitutivo de la hipoplasticidad, y también la importancia del modelado 3D para la simulación del modo de falla de las probetas cilíndricas.

También se concluye la importancia del estudio para suelos preconsolidados estratificados, que son abundantes en los suelos de la Ciudad del Cusco según Benavente et al. (2004), demostrando así que los modelos como el de Hardening Soil no siempre simulan todo tipo de suelos, como el caso para nuestro estrato de arcilla en estudio, y debido a factores antrópicos, o u otros factores, están llegan a preconsolidarse, comprobando así la necesidad de usar otros modelos.

7.2 RECOMENDACIONES

En algunos casos para la obtención de los parámetros de modelamiento en este tipo de estudios para suelos finos, se deben hacer solo ensayos en el equipo de corte triaxial (como se vio en esta investigación) y no siempre hacerlo en un equipo de corte directo, ya que este último ensayo no nos proporciona la dirección del corte de falla para la obtención de óptimos parámetros de corte, sin embargo según Ayala (2013) puede usarse el ensayo de corte directo para muestras alteradas en estado suelo en el caso del modelamiento de arenas para la obtención de parámetros de corte críticos.

Se recomienda hacer el ensayo con personal capacitado para el uso de equipos de laboratorio, en especial para ensayos complejos, esto es importante porque el modelamiento de suelos necesita de parámetros precisos para su simulación, incluso también se evitará accidentes.

Se recomienda tener una formación tanto teórica como práctica en el uso de los modelos constitutivos para el modelamiento de proyectos, ya que esto nos permitirá de manera rápida escoger un modelo constitutivo adecuado para un suelo en específico, así como el correcto uso del Software, en este caso Plaxis y Abaqus, para tener una simulación adecuada del comportamiento del suelo. Por ejemplo, como se demostró, el modelo de Hardening Soil y Cam Clay Modificado no siempre simulan todo tipo de suelos, así como el modelo de Mohr Coulomb solo simula cierta parte, (Como gran lección de esto puede consultar el caso del Colapso de la carretera Nicoll en Singapur en 2004, donde no se usó adecuadamente el tema de los modelos constitutivos).

La investigación puede usarse como base para el estudio de suelos normalmente consolidados donde ahí si es recomendable el uso del Modelo de Hardening Soil, Modelo de Soft Soil, etc., sin embargo, en ese tipo de suelos el Modelo de Mohr Coulomb solo es adecuado para el esfuerzo de falla y no para simular el comportamiento hiperbólico del suelo.

Se debe tener en cuenta que no siempre se usan los parámetros de corte del esfuerzo máximo de las curvas esfuerzo – deformación, ya que como se vio también se usó los parámetros residuales para el modelo de Cam Clay Modificado e Hipoplasticidad

Se recomienda tener buen criterio para la calibración de los parámetros de modelos constitutivos, esto es importante porque ciertos parámetros pueden tener gran o poca influencia como se mostró anteriormente.

También, como se comentó, no basta con calibrar los parámetros en el Soil Test, se debe validar mediante modelamiento axisimétrico o por modelamiento 3D para su posterior aplicación en proyectos reales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM International. (2020). Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils [Método de prueba estándar para la prueba de compresión triaxial drenada consolidada para suelos] (ASTM D7181-20). ASTM International.

Atkinson, J. (2007*). The Mechanics of Soils and Foundations* [La mecánica de suelos y cimentaciones] (2.ª ed.). Taylor & Francis.

Ayala, O. E. (2013) Aplicación de modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador. https://hdl.handle.net/20.500.14492/16368

Benavente, R., Fernández Baca, C. y Gómez, N. (2004). *Estudio del Mapa de Peligros de la Ciudad del Cusco. Proyecto: Ciudades Sostenibles.* http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Cusco/cusco/cusco_mp.pdf

Bowles, J. E. (1979). *Physical and geotechnical properties of soils* [*Propiedades Geofísicas de los Suelos*]. McGraw-Hill.

Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil* (A. Arrieta, Trad,; 2.ª ed.). LIBROS McGRAW-HILL DE MEXICO (Trabajo original publicado en 1978).

Bowles, J. E. (1982). *Propiedades Geofísicas de los Suelos* (E. Retamal y H. Cosme, Trad,; 1.ª ed.). EDITORIAL McGRAW-HILL LATINOAMERICANA (Trabajo original publicado en 1979).

Camacho, J. F., Reyes, O. J. y Bueno, P. B (2004). Utilización del modelo Cam Clay modificado en suelos cohesivos de la sabana en Bogotá. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina,* (14), 1-13. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101403.

Carlotto, V., Cardénas, J. y Carlier, G. (2011). *Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p., 6 mapas*. https://hdl.handle.net/20.500.12544/99

Casusol, R. F. (2020). Análisis comparativo de la capacidad de carga para un suelo granular empleando métodos analíticos y computacionales [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16778

Chacón, G. (2004). Calibración de Modelos Constitutivos en Arcillas de Bogotá. [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Seneca. https://hdl.handle.net/1992/21283

Craig, R. F. (2004). *Craig's Soil Mechanics* [Mecánica de suelos de Craig]. Spon Press.

Das, B. M. (2015) *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (J. Leon, Trad,; 4.ª ed.). Cengage Learning Editores. (Trabajo original publicado en 2013).

Du, W., Lehane, B. M., Doherty, J. P. y Wang, Z. (2025). Numerical Analysis of Triaxial Test for Interpreting Sample Stiffness with Existing Measurement Systems [Análisis numérico de la prueba triaxial para interpretar la rigidez de la muestra con los sistemas de medición existentes]. *Geotechnical and Geological Engineering*, *43* (6), 280 (2025). https://doi.org/10.1007/s10706-025-03261-5

Estaire, J. (2017). Master en Mecánica de Suelo e Ingeniería de Cimentaciones: Teoría de la Plasticidad de Suelos, Parámetros Característicos. (Disponible desde: https://www.researchgate.net/publication/321107721)

Fine. (s.f.). *Hypoplastic Clay* [Arcilla hipoplásica]. https://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/hypoplastic-clay-01/

FIUBA-Geotecnia. (2022, 3 de septiembre). *Geotecnia Numérica I - 2c2022 - Clase 2* [Video] YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=KHCB0Ab-byg&ab_channel=FIUBA-Geotecnia

GeoGroup UNI – Grupo Geotécnico. (2022, 28 de marzo). *Curso "Introducción a modelos constitutivos en geotecnia" - Sesión 1* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=wfeqrEd0Im0&ab

González, R. A. (2021). Modelo elastoviscoplástico anisótropo de consolidación y su implementación en plaxis [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. https://repositorio.unam.mx/contenidos/3602354

Google Maps. (s.f.). [Ubicación geográfica en el Distrito de San Sebastián – Cusco del punto de Investigación]. Recuperado el 19 de agosto del 2025, de https://www.google.com/maps/place/13°31'25.2"S+71°55'57.6"W

Hernández, R. y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES.

Hernández, S. (2018). Determinación de los parámetros de un modelo constitutivo hipoplástico en arcilla para su utilización en el modelo de elemento finito Tochnog/ a partir de pruebas de laboratorio. *Tecnología en Marcha, 31* (2), 11-23. DOI: https://doi.org/10.18845/tm.v31.i5.4084

Hernández, V. A., Joya, D. R., Equihua, L. N., Leal, J. C., Diosdado, J. A., Pérez, L. P., Saldaña, N. y Saldaña, A. S. (2021). Experimental and numerical analysis of triaxial compression test for a clay soil [Análisis experimental y numérico del ensayo de compresión triaxial para un suelo arcilloso]. *Chilean journal of agricultural research*, *81* (3), 357 - 367. Doi: 10.4067/S0718-58392021000300357

Ingeoexpert. (s.f.). *Fundamento y Origen del Método de Elemento Finito (MEF)*. https://ingeoexpert.com/articulo/fundamento-y-origen-del-metodo-de-los-elementos-finitos-mef/

Instituto Nacional de Calidad. (2024a). Listado de Normas Técnicas Peruanas citadas en dispositivos obligatorios. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3241618/1515837-normas-obligatorias-2024.pdf?v

Instituto Nacional de Calidad. (2024b). *SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Edición* (Norma Técnica Peruana 339.128:1999 – revisada el 2019). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad. (2024c). *SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, limite plástico, e índice de plasticidad de suelos. 1ª Edición* (Norma Técnica Peruana 339.129:1999 – revisada el 2019). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad. (2024d). *SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1ª Edición* (Norma Técnica Peruana 339.127:1998 – revisada el 2019). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad. (2024e). *SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de partículas sólidas de un suelo. 1ª Edición* (Norma Técnica Peruana 339.131:1999 – revisada el 2019). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad. (2024f). *SUELOS. Método de ensayo normalizado para propiedades de consolidación unidimensional de suelos* (Norma Técnica Peruana

339.154 2001 – revisada el 2015). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad. (2024g). *SUELOS. Determinación del peso volumétrico de suelos cohesivo* (Norma Técnica Peruana 339.139:1999 – revisada el 2019). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad. (2024h). *SUELOS. Practicas normalizadas para la preservación y transporte de suelos.* (Norma Técnica Peruana 339.151 2001 – revisada el 2015). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad. (2024i). *SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS). 1ª Edición* (Norma Técnica Peruana 339.134:1999 – revisada el 2019). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Juárez, E. y Rico, A. (2011a). *Mecánica de Suelos Tomo 1: Teoría y Aplicaciones de la mecánica de suelos* (3.ª ed.). Editorial Limusa.

Juárez, E. y Rico, A. (2011b). *Mecánica de Suelos Tomo 2: Teoría y Aplicaciones de la mecánica de suelos* (5.ª ed.). Editorial Limusa.

Lade, P. V. (2005). Overview of Constitutive Models for Soils [Descripción general de los modelos constitutivos para suelos]. *ASCE Geotechnical Special Publication,* (128), 1-34. https://www.researchgate.net/publication/268592022

Lankaran, Z. E., Nik Daud, N. N., Rostami, V. y Yusoff, Z. M. (2022). Consolidated Drained Triaxial Test on Treated Coastal Soil and Finite Element Analysis Using PLAXIS 2D [Ensayo triaxial drenado consolidado en suelo costero tratado y análisis de elementos finitos utilizando PLAXIS 2D]. *Advances in Materials Sciencie and Engineering, 2022* (2), 1-15. https://doi.org/10.1155/2022/7263333

Luque, L.A. y Rodríguez, A. F. (2020). Definición de criterios de influencia entre parámetros geotécnicos y profundidad en excavaciones, mediante la aplicación de un software de elementos finitos para la grava del conglomerado de Lima Metropolitana [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. http://hdl.handle.net/10757/653698

Masín, D. (2004). A hypoplastic constitutive model for clays [Un modelo constitutivo hipoplásico para arcillas]. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics.* https://web.natur.cuni.cz/uhigug/masin/download/MasinIJNAMG05-pp.pdf

Masín, D. (2017, 12 de septiembre). *Plaxis implementation of Hypoplasticity, including standalone ABAQUS umat subroutines* [Implementación de Plaxis de Hipoplasticidad, incluidas subrutinas umat de ABAQUS independientes]. Přírodovědecká fakulta - Univerzita Karlova https://web.natur.cuni.cz/uhigug/masin/plaxumat/download/Hypo-Plaxis.pdf

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo y Materiales* (Edición mayo de 2016). https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* [Mecánica de Suelos y Cimentaciones]. John Wiley & Sons, Inc.

Nieto, A., Camacho, J. F. y Ruiz, E. F. (2009). Determinación de Parámetros para los Modelos Elastoplásticos Mohr-Coulomb y Hardening Soil en Suelos Arcillosos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8* (15), 75-91, https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75012333008

Peck, R. B., Hanson, W. E. y Thornburn, T. H. (1996). Ingeniería de Cimentaciones (J. L. Lepe, Trad,; 2.ª ed.). EDITORIAL LIMUSA (Trabajo original publicado en 1974).

Plaxis. (2023a). Materials models manual 2D [Manual de modelos de materiales 2D] (Version 2023.2). https://bentleysystems.service-now.com/community?id=kb_article&sysparm_article=KB0108423

Plaxis. (2023b). Reference manual 2D [Manual de referencia 2D] (Version 2023.2). https://bentleysystems.service-now.com/community?id=kb_article&sysparm_article=KB0108423

Plaxis. (2023c). Scientific manual 2D [Manual científico 2D] (Version 2023.2). https://bentleysystems.service-now.com/community?id=kb_article&sysparm_article=KB0108423

Plaxis. (2023d). Tutorial manual 2D [Manual tutorial 2D] (Version 2023.2). https://bentleysystems.service-now.com/community?id=kb_article&sysparm_article=KB0108423

Puzrin, A. M. (2012). *Constitutive Modelling in Geomechanics* [Modelamiento Constitutivo en Geomecánica]. Springer.

Reyes, O. J., Camacho, J. F., y Morantes, I. (2003). La teoría del estado Crítico como herramienta para la interpretación de ensayos triaxiales en suelos cohesivos. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina,* (13), 31-40. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101304

Rojas, V. E. (2014). Simulación del Comportamiento Esfuerzo – Deformación de Suelos Cohesivos Empleando el Modelo Constitutivo Hardening – Soil. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. http://hdl.handle.net/20.500.12894/419

Suchomel, R. y Masin, D. (2011). Probabilistic analyses of a strip footing on horizontally stratified sandy deposit using advanced constitutive model [Análisis probabilístico de una zapata corrida sobre un depósito arenoso estratificado horizontalmente utilizando un modelo constitutivo avanzado]. *Computers and Geotechnics, 38* (3), 363-374. DOI:10.1016/j.compgeo.2010.12.007

Terzagui, K., Peck, R. B. y Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice [Mecánica de Suelos en la Ingeniería Practica]. John Wiley & Sons, Inc.

Universidad Nacional de Ingeniería. (s.f.). Laboratorio de Mecánica de Suelos. Universidad Nacional de Ingeniería.

Vakili, K. N., Barciaga, T., Lavasan, A. A. y Schanz, T. (2013). A practical approach to constitutive models for the analysis of geotechnical problems [Una aproximación práctica a los modelos constitutivos para el análisis de problemas geotécnicos]. (Disponible desde: https://www.researchgate.net/publication/266563320)

Wu, J. T. H. y Yu Tung, S. C. (2019). Determination of Model Parameters for the Hardening Soil Model [Determinación de parámetros de modelo para el modelo de Hardening Soil]. *Transportation Infrastucture Geotechnology, 7* (3)*,* 55-68 (2020). https://doi.org/10.1007/s40515-019-00085-8

ANEXOS

ANEXO A

RESULTADOS DE LOS ENSAYO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO - NTP 339.128

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: 1
Ubiacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 2

Solicitado pc Alexander Mejia Seca
Fecha: 13/05/2024 Cuarteo de material
14/05/2024 Deslehizamiento de material
15/05/2024 Lavado de muestra y secado al horno
16/05/2024 Tamizado de suelo para pesos retenidos

DATOS PARA OBTENCION DE MUESTRAS POR CUARTEO:

- Peso total de 1ra muestra representativa de Cuarteo: 7.80Kg Aprox.
- Peso total de 2da muestra representativa de Cuarteo: 3.85Kg Aprox.

DATOS PARA OBTENCION DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS PARA ANALISIS GRANULOMETRICO Y LIMITES DE PLASTICIDAD:

**** Datos para obtencion de suelo tamizado para el analisis granulometrico y limites de plasticidad:***

- Peso de Cazuela 01: 0.30kg Aprox.
- Peso de Cazuela 01+ Peso de Suelo Tamizado por malla Nro 10: 2.30Kg Aprox.
- Peso de Suelo Tamizado por malla Nro10: 2.00Kg Aprox.

**** Datos para obtencion de suelo tamizado para los limites de plasticidad:***

- Peso de Cazuela 02: 149.51 gr
- Peso de Cazuela 02 + Peso de Suelo Tamizado malla Nro 40: 470.22 gr
- Peso de Suelo Tamizado por Malla Nro 40 (Para limites de Plasticidad): 320.71 gr

**** Datos para obtencion de suelo tamizado para el analisis granulometrico:***

- Peso de Cazuela 03: 173.97 gr
- Peso de Cazuela 03 + Peso de Suelo Tamizado malla Nro 10: 1267.66 gr
- Peso de Suelo Tamizado por Malla Nro 10 (Peso de suelo Seco sin Lavar): 1093.69 gr

DATOS PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO :

*** Datos del Peso Material Retenido Humedo Malla #200 por Lavado de muestra:**

- Peso de la Capsula (con tapa): 58.75 gr
- Peso de la Capsula (con tapa) + Peso Material Retenido Humedo Malla #200: 66.99 gr
- Peso de Material Retenido Humedo Malla #200: 8.24 gr

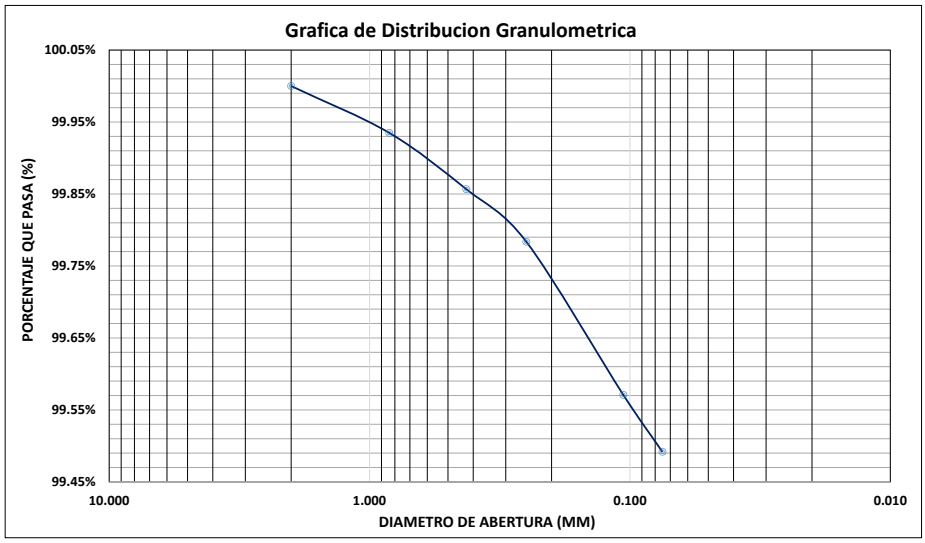
*** Datos del Peso Material Retenido Seco Malla #200 despues de Lavado de muestra:**

- Peso de la Capsula (con tapa): 58.75 gr
- Peso de la Capsula (con tapa) + Peso Material Retenido Seco Malla #200: 64.31 gr
- Peso de Material Retenido Seco Malla #200: 5.56 gr

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL

- Peso seco sin Lavar: 1093.69 gr
- Peso de Capsula: 40.5 gr

Nro Malla	Abertura (mm)	Peso Capsula + Peso Retenido (gr)	Peso retendio (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	% Retenido Parci	% Retenido Acumula	% Que pasa
Nro 10	2.000	40.5	0	-	0.000%	0.000%	100.000%
Nro 20	0.840	41.24	0.74	0.712	0.065%	0.065%	99.935%
Nro 40	0.425	41.39	0.89	0.856	0.078%	0.143%	99.857%
Nro 60	0.250	41.33	0.83	0.798	0.073%	0.216%	99.784%
Nro 140	0.106	42.92	2.42	2.328	0.213%	0.429%	99.571%
Nro 200	0.075	41.4	0.9	0.866	0.079%	0.508%	99.492%
		Retenido Total:	5.78	5.56			



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO PARA LIMITES DE ATTERBERG - NTP 339.129

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: 1
Ubiacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 3

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 20/05/2024 21/05/2024

$$Ww = (Peso\ de\ capsula + Muestra\ Humeda) - (Peso\ de\ Capsula + Muestra\ Seca)$$
$$Ws = (Peso\ de\ capsula + Muestra\ Seca) - (Peso\ de\ Capsula)$$

$$w = \frac{W_w}{W_s}\ (\%)$$

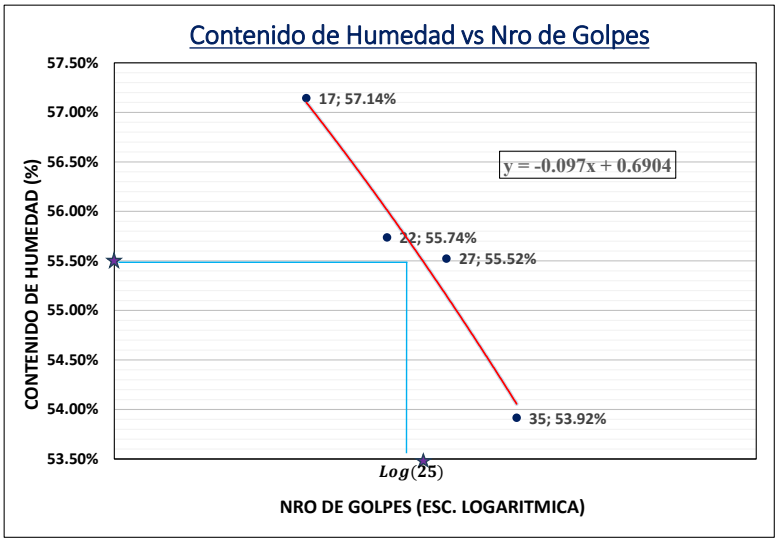
- Peso de Suelo Tamizado por Malla Nro 40 (Para limites de Plasticidad): 320.71 gr

LIMITE LIQUIDO

Fecha: 20/05/2024

Hora de Inicio Horno: 1:55pm 20/05/2024
Hora Final Horno: 10:03am 21/05/2024

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Peso Capsula (gr)	54.93	57.17	60.69	57.98
Peso Capsula + Muestra Humeda (gr)	60.04	62.52	65.44	64.47
Peso Capsula + Muestra Seca (gr)	58.25	60.61	63.74	62.11
Peso del agua (Ww) (gr)	1.79	1.91	1.7	2.36
Peso de la Muestra Seca (Ws) (gr)	3.32	3.44	3.05	4.13
Contenido de Humedad (w) (%)	53.92%	55.52%	55.74%	57.14%
Nro de Golpes	35	27	22	17



Remplazando el valor de 25 Golpes para la ecuacion:

$$y = -0.097x + 0.6904$$

$$y = -0.097 * Log(25) + 0.6904 \quad ; \quad y = 0.5548$$

Por lo tanto el valor del Contenido de Humedad para 25 Golpes:

$$(LIMITE\ LIQUIDO) = 55.48\%$$

LIMITE PLASTICO

Fecha: 21/05/2024

Hora de Inicio Horno: 12:15pm 21/05/2024
Hora Final Horno: 11:00am 22/05/2024

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02
Peso Capsula (gr)	22.03	21.66
Peso Capsula + Muestra Humeda (gr)	26.72	27.88
Peso Capsula + Muestra Seca (gr)	25.75	26.61
Peso del agua (Ww) (gr)	0.97	1.27
Peso de la Muestra Seca (Ws) (gr)	3.72	4.95
Contenido de Humedad (w) (%)	26.08%	25.66%
Contenido de Humedad Promedio (%)	25.87%	

LIMITE LIQUIDO (LL)	55.48%
LIMITE PLASTICO (LP)	25.87%
INDICE DE PLASTICIDAD (IP)	29.61%

$$Indice\ de\ Plasticidad = LL - LP$$

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD - NTP 339.127

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: 1
Ubiacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 1

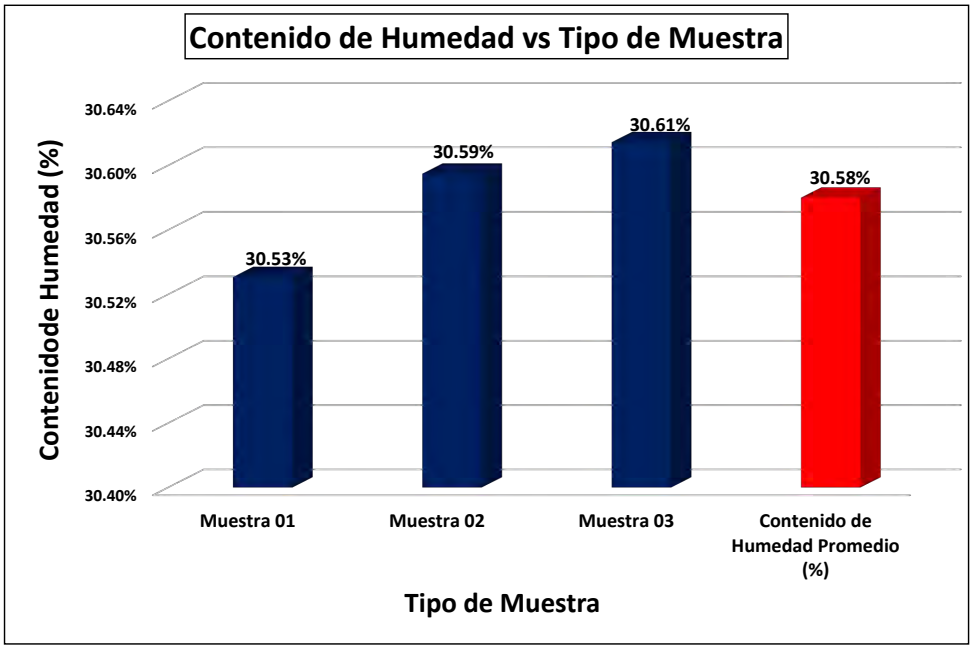
Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 06/05/2024
Hora de Inicio Horno: 2:01pm 06/05/2024
Hora Final Horno: 12:30pm 07/05/2024

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso Capsula (gr)	58.67	63.03	57.62
Peso Capsula + Muestra Humeda (gr)	92.36	99.91	94.61
Peso Capsula + Muestra Seca (gr)	84.48	91.27	85.94
Peso del agua (gr)	7.88	8.64	8.67
Peso de la Muestra Seca (gr)	25.81	28.24	28.32
Contenido de Humedad (%)	30.53%	30.59%	30.61%

	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Contenido de Humedad Promedio (%)
Contenido de Humedad (%)	30.53%	30.59%	30.61%	30.58%

$$Ww = (Peso\ de\ capsula + Muestra\ Humeda) - (Peso\ de\ Capsula + Muestra\ Seca)$$
$$Ws = (Peso\ de\ capsula + Muestra\ Seca) - (Peso\ de\ Capsula)$$

$$w = \frac{W_w}{W_s}\ (\%)$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS DEL SUELO - NTP 339.131

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: 1
Ubiacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 4

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 29/05/2024 31/05/2024

DATOS PARA OBTENCION DE MUESTRA PRINCIPAL:

- Peso de Platillo: 149.31 gr
- Peso de Muestra Humeda + Peso de Platillo: 523.58 gr
- Peso de Muestra Seca + Peso de Platillo: 419.55 gr
- Peso de Muestra Seca para Obtencion de Muestras: 270.24 gr

Hora Inicio Horno: 1:34pm 27/05/2024
Hora Final Horno: 10:05am 28/05/2024

DATOS PARA LA OBTENCION DE MUESTRAS Gs1 y Gs2 ATRAVES DE LA MALLA #4

**** Datos para obtencion de Suelo Seco Ws para Gs1***

- Peso de Cazuela 01: 99.7 gr
- Peso de Cazuela 01 + Muestra Seca Gs1: 150.26 gr
- Peso de Muestra Seca Gs1 (Ws) : 50.56 gr

**** Datos para obtencion de Suelo Seco Ws para Gs2***

- Peso de Cazuela 02: 91.72 gr
- Peso de Cazuela 02 + Muestra Seca Gs2: 141.93 gr
- Peso de Muestra Seca Gs2 (Ws) : 50.21 gr

Obtenido del Manual de Ensayos del MTC (2016)	
Temperatura (C°)	Densidad Agua (g/ml)
16	0.99895
16.1	0.99893
16.2	0.99891
16.3	0.99890
16.4	0.99888
16.5	0.99886
16.6	0.99885
16.7	0.99883
16.8	0.99881
16.9	0.99879
17	0.99878
17.2	0.99874
17.4	0.99871
17.6	0.99867
17.8	0.99863
18	0.99860
18.2	0.99856
18.4	0.99852
18.6	0.99848
18.8	0.99845
19	0.99841
19.2	0.99837
19.4	0.99833
19.6	0.99829
19.8	0.99825
20	0.99821
20.2	0.99816
20.4	0.99812
20.6	0.99808
20.8	0.99804
21	0.99799
21.1	0.99797
21.2	0.99795
21.3	0.99793
21.4	0.99791
21.5	0.99789
21.6	0.99786
21.7	0.99784
21.8	0.99782
21.9	0.99780

DATOS PARA LA OBTENCION DE Gs1 y Gs2

$$W_{fw}(a\,Tx) = \frac{Densidad\ de\ agua\ a\ Tx}{Densidad\ de\ agua\ a\ Ti}\left(W_{fw}(a\,Ti) - W_f\right) + W_f$$

$$G_s\left(\frac{Tx}{TxC}^{\circ}\right) = \frac{W_S}{W_w} \qquad G_s\left(\frac{Tx}{TxC}^{\circ}\right) = \frac{W_S}{W_S + (W_{fw} - W_{fsw})}$$

Prueba Nro	Prueba Nro 1	Prueba Nro 2
- Matraz	Gs1	Gs2
- Volumen del Frasco a 20C°	500ml	500ml
- Metodo de Remocion de Aire	Vacio	Vacio
- Peso del Matraz (Wf) (gr)	153.56	160.72
- Temperatura (Ti en C°)	16.3 C°	16.9C°
- Peso de Matraz + Agua (Wfw a Ti) (gr)	652.32	659.69
- Temperatura (Tx en C°)	19.0 C°	21.20C°
- Peso de Matraz + Suelo + Agua (Wfsw a Tx) (gr)	683.53	690.44
- Peso de Matraz + Agua (Wfw a Tx) (gr)	652.08	659.27
- Peso de Cazuela (gr)	99.70	91.72
- Peso de Cazuela + Muestra Seca (gr)	150.26	141.93
- Peso de Muestra Seca (Ws)	50.56	50.21
- Peso de Agua desplazada (Ww)	19.11	19.04
- Gravedad Especifica de los Solidos (Gs) (a Tx)	2.65	2.64

$$Calculo\ de\ Gs\ (a\,T\,20c^{\circ}) = K * (Gs\ a\,Tx) \qquad K = \frac{Densidad\ del\ agua\ a\ Tx}{Densidad\ de\ agua\ a\ T\ 20C^{\circ}}$$

Temperatura (Tx en C°)	19.0 C°
Densidad Agua (Tx C°)	0.99841
Densidad Agua (20 C°)	0.99821
K1	1.0002
Calculo de Gs1 (a T 20C°)	2.65

Temperatura (Tx en C°)	21.20C°
Densidad Agua (Tx C°)	0.99795
Densidad Agua (20 C°)	0.99821
K2	0.9997
Calculo de Gs2 (a T 20C°)	2.64

Diferencia de Valores de Gs1 y Gs2	0.01	< Es menor a 0.03
	VALIDO	

Promedio de Valores Gs	2.64

ANEXO A5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE SUELOS- NTP 339.154

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: 1
Ubiacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 5

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 19/06/2024

DATOS DE LA CÁMARA Y ANILLO

Anillo Nro:	1	
Factor de Carga:	1:10	
Peso Especifico del agua (gr/cm3):	1.00	
Division del dial:	0.0001	pulg
	0.000254	cm

DIMENSIONES DE LA MUESTRA

Diámetro =	6.35 cm
Altura (H) =	2.54 cm
Área =	31.67 cm2
Volumen =	80.44 cm3

DATOS ANTES DEL ENSAYO DE CONSOLIDACION		
Peso de la Muestra Húmeda inicial + Anillo (gr)	681.50	gr
Peso del Anillo (gr)	526.03	gr
Peso de la Muestra Húmeda Inicial (gr)	155.47	gr
Peso de Suelo Seco (Ws)	120.63	gr
Gravedad Específica del Suelo	2.64	
Contenido de Humedad Inicial (%)	28.9%	

DATOS PARA EVITAR LA EXPANSION DE LA MUESTRA	
Lectura Inicial de Dial de Deformacion antes de la expansion de la muestra, con carga de 5kPa (161.41gr)	25.40
Lectura de Dial de Deformacion, con carga de 5kPa (161.41gr)	21.70
Lectura final de Dial de Deformacion, con carga de 281.48gr que evito la expansion de la muestra.	26.20
Lectura Inicial del dial para iniciar la prueba	26.20

DATOS DESPUES DEL ENSAYO DE CONSOLIDACION		
Peso de la Muestra Húmeda final + Anillo (gr)	680.94	
Peso de la Suelo Seco + Anillo (gr)	646.66	
Peso de la Muestra Húmeda Final (gr)	154.91	
Peso del Suelos Seco (gr)	120.63	
Peso del Agua (gr)	34.28	
Lectura Inicial del Dial de Deformacion	26.20	cm
Lectura final del Dial de Deformacion	88.00	cm
Cambio de Altura Max (AH)	0.0157	cm
Altura de Solidos (Hs)	1.44	cm
Altura Inicial de Vacios (Hv)	1.10	cm
Relacion de Vacios Inicial (eo)	0.762	
Altura de Vacios final (Hvf)	1.08	cm
Relacion de Vacios final (ef)	0.751	
Contenido de Humedad final (%)	28.4%	
Grado de saturacion	100%	

Factor de brazo	Peso(real) (kg)	Anillo Nro: 1	
		F1 (kg)	Presion (kg/cm2)
CARGA			
10	1.002	10.016	0.316
10	2.007	20.066	0.634
10	4.004	40.036	1.264
10	8.002	80.018	2.527
10	16.001	160.009	5.053
10	32.032	320.319	10.115
DESCARGA			
10	16.001	160.009	5.053
10	8.002	80.018	2.527
10	4.004	40.036	1.264
10	2.007	20.066	0.634
10	1.002	10.016	0.316
10.00	0	0.000	0.000

CARGA DEL ENSAYO DE CONSOLIDACION

	TIEMPO (t)		Lec. del deformimetro: Lec.x(0.0001")x25.4(mm) =			0.000254	mm	
	Minutos	Raiz de (t)	1.00 kg	2.01 kg	4.00 kg	8.00 kg	16.00 kg	32.03 kg
	0		26.20	49.10	67.70	98.30	148.60	222.40
	0.10	0.32	45.30	58.80	81.00	120.00	180.00	258.00
	0.25	0.50	45.30	59.20	82.10	121.60	183.80	263.00
	0.50	0.71	45.30	59.70	83.20	123.80	187.70	269.00
	1.00	1.00	45.30	60.30	84.90	126.70	193.00	276.00
	2.00	1.41	45.30	61.10	87.00	130.00	198.60	284.00
	4.00	2.00	45.50	61.80	88.10	135.00	203.00	289.50
	8.00	2.83	45.80	62.30	89.20	135.50	206.00	293.30
	15.00	3.87	46.00	62.80	90.10	137.30	207.70	295.80
	30.00	5.48	46.30	63.40	91.20	139.10	209.50	298.10
1hr	60.00	7.75	46.70	64.10	92.70	141.00	211.70	300.70
2hr	120.00	10.95	47.30	65.70	94.90	144.20	214.50	304.10
3hr	180.00	13.42	47.40	66.30	96.60	146.30	216.30	306.90
3.5hr	210.00	14.49	47.40	66.90	97.20	147.10	217.30	308.20
4hr	240.00	15.49	47.50	67.20	97.50	147.70	217.70	309.30
5hr	270.00	16.43	47.60	67.40	97.70	148.00	218.40	311.30
6hr	330.00	18.17	47.80	67.50	97.80	148.30	219.00	312.60
24hr	1440.00	37.95	49.10	67.70	98.30	148.60	222.40	317.10

DESCARGA DEL ENSAYO DE CONSOLIDACION

	TIEMPO (t)		Lec. del deformimetro: Lec.x(0.0001")x25.4(mm) =			0.000254	mm	
	Minutos	Raiz de (t)	16.00 kg	8.00 kg	4.00 kg	2.01 kg	1.00 kg	0.00 kg
	0		317.10	278.00	233.40	194.00	162.10	137.40
	0.10	0.32	294.00	261.00	221.60	184.90	155.00	105.60
	0.25	0.50	292.00	256.00	216.60	183.30	153.00	103.60
	0.50	0.71	289.20	253.50	214.10	182.50	152.00	102.60
	1.00	1.00	286.50	249.00	209.60	178.50	150.50	101.10
	2.00	1.41	283.00	243.50	204.10	175.50	148.20	98.80
	4.00	2.00	280.50	239.10	199.70	171.50	145.20	95.80
	8.00	2.83	278.90	235.40	196.00	167.80	142.80	93.40
	15.00	3.87	278.20	233.90	194.50	165.30	141.00	91.60
	30.00	5.48	278.00	233.50	194.10	163.80	139.00	89.60
1hr	60.00	7.75	278.00	233.40	194.00	162.10	137.40	88.00

CALCULO DEL PROCESO DE CARGAS

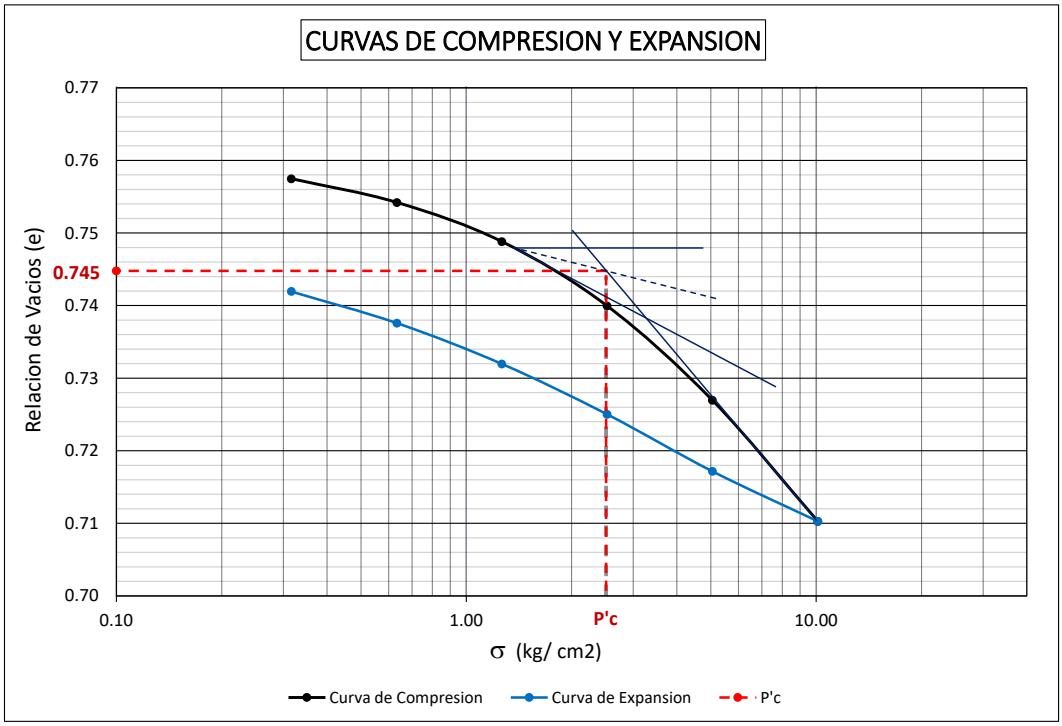
Carga (kg)	Lectura Inicial (mm)	Lectura Final (mm)	ΔH acum (mm)	Cambio en la Relación de Vacíos Δe	Relación de Vacíos e	Esfuerzo P (kg/cm2)
0.00	-	-			0.762	0
1.00	0.0067	0.0125	0.0058	0.0040	0.757	0.316
2.01	0.0125	0.0172	0.0105	0.0073	0.754	0.634
4.00	0.0172	0.0250	0.0183	0.0127	0.749	1.264
8.00	0.0250	0.0377	0.0311	0.0216	0.740	2.527
16.00	0.0377	0.0565	0.0498	0.0346	0.727	5.053
32.03	0.0565	0.0805	0.0739	0.0512	0.710	10.115

CALCULO DEL PROCESO DE DESCARGA

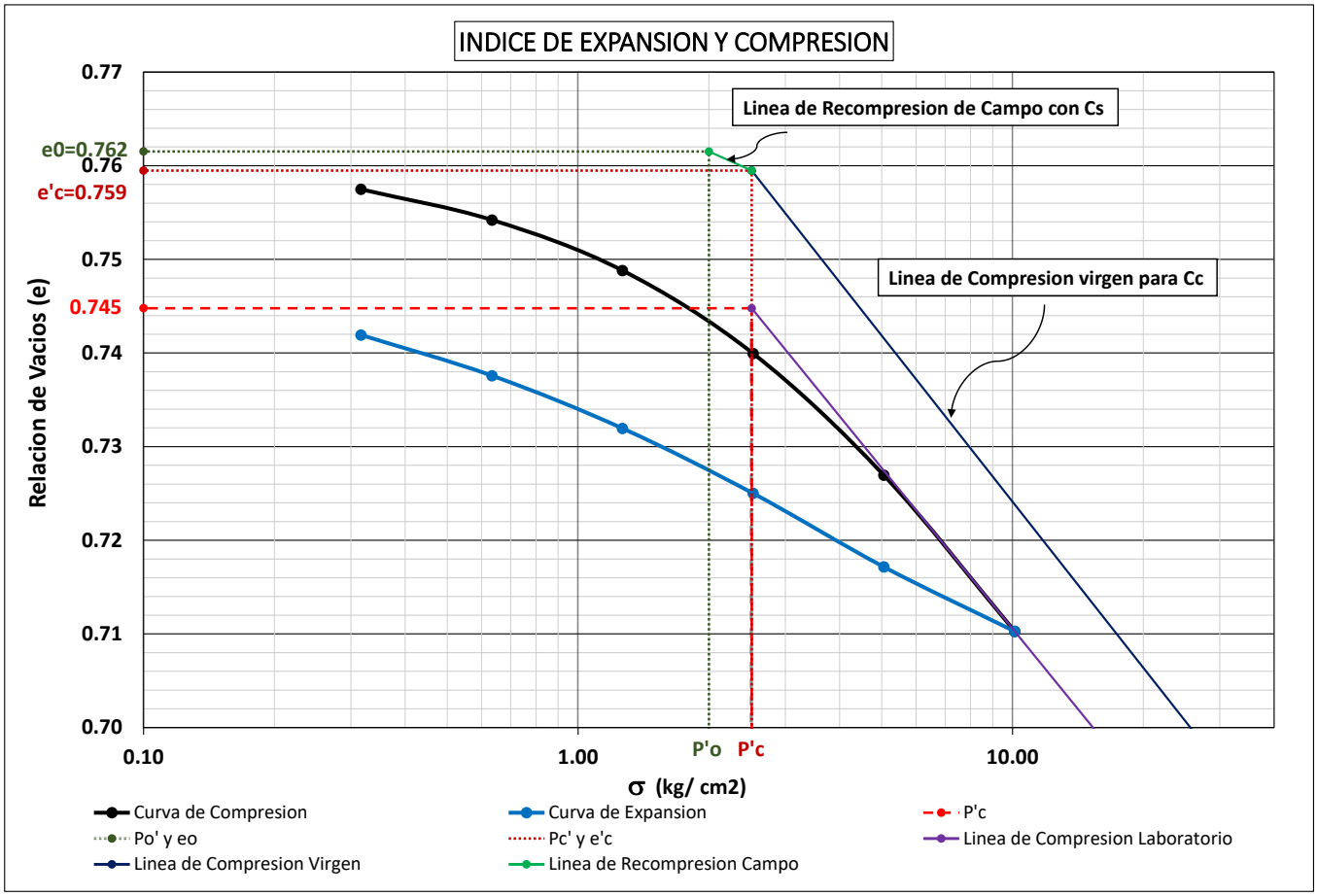
Carga (kg)	Lectura Inicial (mm)	Lectura Final (mm)	ΔH acum (mm)	Cambio en la Relación de Vacíos Δe	Relación de Vacíos e	Esfuerzo P (kg/cm2)
32.03	0.0565	0.0805			0.710	10.115
16.00	0.0805	0.0706	0.0640	0.0444	0.717	5.053
8.00	0.0706	0.0593	0.0526	0.0365	0.725	2.527
4.00	0.0593	0.0493	0.0426	0.0296	0.732	1.264
2.01	0.0493	0.0412	0.0345	0.0239	0.738	0.634
1.00	0.0412	0.0349	0.0282	0.0196	0.742	0.316
0.00	0.0349	0.0224	0.0157	0.0109	0.751	0.000

RELACION DE CARGA APLICADA VS RELACION DE VACIOS

Carga Aplicada (kg/cm²)	Relacion de Vacios *e*
0.000	0.762
0.316	0.757
0.634	0.754
1.264	0.749
2.527	0.740
5.053	0.727
10.11	0.710
5.053	0.717
2.527	0.725
1.264	0.732
0.634	0.738
0.316	0.742
0.000	0.751



Presion de Preconsolidacion	P'c (kg/cm2) =	2.51



Po': Presion Efectiva Vertical Presente (Ver Anexo 6)
Pc': Presion de Preconsolidacion
eo: Relacion de Vacios Inicial}
ec': Relacion de vacios para la presion de Preconsolidacion

Indice de Expansion (Cs) =	**0.0206**

De los resultados de Laboratorio y del grafico se tendra:

Po' (kg/cm2)=	**2.00**
eo	**0.762**

P'c (kg/cm2)=	**2.51**
e'c	**0.759**

0.4*eo	**0.3046**

Indice de Compresion (Cc) =	**0.0589**

RESULTADOS DE ENSAYO:

Indice de Expansion (Cs) =	**0.0206**	
Indice de Compresion (Cc) =	**0.0589**	
Presion de Preconsolidacion	**P'c (kg/cm2) =**	**2.51**
OCR	**1.25**	
	Arcilla Sobreconsolidada	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE SUELOS - NTP 339.139, NTP 339.151

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: 1
Ubiacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 6

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 07/08/2024

CALCULO DE PESO UNITARIO DE CADA ESTRATO

Profundidad de Talud en estudio	13.816	m

NRO DE ESTRATO	PROFUNDIDAD (metros)	ALTURA DE ESTRATO (m)	DESCRIPCION DE SUELO	PESO DE MUESTRA (gr)	DIMENSIONES DE MUESTRA (cm)			PESO ESPECIFICO DE MUESTRA (gr/cm3)	ESFUERZO EFECTIVO DE ESTRATO (kg/cm2)
Estrato 0'	0 - 7.5	7.5	Suelos fino blanco semirigido	427.3	8.5	8.3	5	1.21	0.91
Estrato 0	7.5 - 7.90	0.4	Arcilla de color marron rojizo	710.74	6.5	8	7.1	1.93	0.08
Estrato 1	7.90 - 8.25	0.35	Arena Medianamente densa	928.26	13.5	8	5.5	1.56	0.05
Estrato 2	8.25 - 8.49	0.24	Arena densa	409.68	6.4	7.7	5.5	1.51	0.04
Estrato 3	8.49 - 8.55	0.06	Arcilla de color rojizo	739.23	6	8	8	1.93	0.01
Estrato 4	8.55 - 8.86	0.305	Arena Medianamente densa	443.83	6.7	6	6.5	1.70	0.05
Estrato 5	8.86 - 9.20	0.34	Arcilla de aspecto rojizo	760.55	6.6	8.2	7.3	1.93	0.07
Estrato 6-1	9.20 - 9.31	0.113	Arena densa con finos de aspecto amarillo	633.27	8.7	9.3	5.7	1.37	0.02
Estrato 6-2	9.31 - 9.40	0.09	Arena limosa humeda de aspecto amarillo	613.84	7.9	8.4	6.1	1.52	0.01
Estrato 6-3	9.40 - 9.57	0.17	Arena limosa de aspecto amarillo	532.16	7.1	8	6.2	1.51	0.03
Estrato 7	9.57 - 9.90	0.33	Arcilla de aspecto color rojo	385.81	5.2	5.7	6.4	2.03	0.07
Estrato 8	9.90 - 10.20	0.3	Arcilla roja con arena y limos	465.96	6.8	7.3	5.4	1.74	0.05
Estrato 9	10.20 - 10.53	0.333	Arcilla de Aspecto rojizo	978.55	8.7	8.7	6.3	2.05	0.07
Estrato 10	10.53 - 11.45	0.92	Arcilla de Aspecto rojizo	997.08	6.1	10	8.1	2.02	0.19
Estrato 11	11.45 - 11.57	0.12	Limo con suelo fino de aspecto amarillo	401.11	6.5	6.7	5.1	1.81	0.02
Estrato 12	11.57 - 12.04	0.465	Arcilla con limo y arena	1061.05	7.3	9.9	8	1.84	0.09
Estrato 13	12.04 - 12.33	0.29	Acilla de aspecto rojo	1368.54	7.3	10.1	8.8	2.11	0.06
Estrato 14	12.33 - 12.54	0.215	Arena Limosa	299.43	5	8	4.8	1.56	0.03
Estrato 15	12.54 - 12.91	0.37	Arena Limpia Suelta	575.88	8.7	7.3	6	1.51	0.06
Estrato 16	12.91 - 13.03	0.115	Arena Limpia fina Suelta	266.73	7.6	4.6	4.8	1.59	0.02
Estrato 17	13.03 - 13.11	0.085	Arcilla con arena	841.49	8.7	9.4	5.7	1.81	0.02
Estrato 18	13.11 - 13.22	0.105	Arena Suelta Humeda	510.31	9.5	6.6	5	1.63	0.02
Estrato 19	13.22 - 13.516	0.30	Arcilla Humeda de Color rojo	1196.9	7.3		14.5	1.97	0.06
								TOTAL:	2.00

ESFUERZO VERTICAL EFECTIVO PRESENTE (P'o):	2.00	Kg/cm2

ANEXO A7

ENSAYO DE CORTE TRIAXIAL

MUESTRAS M3, M2 Y M5

(SIN CARGA – DESCARGA)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M3 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 03/10/2024
Hoja Nro: 1

ETAPA DE SATURACION - MUESTRA M3

	INICIAL		FINAL	
PRESION DE CELDA (CP)	40	kPa	240	kPa
CONTRA PRESION (BP)	20	kPa	220	kPa
DIFERENCIA DE PRESION INICIAL	20	kPa	20	kPa
INCREMENTO DE PRESION	20	kPa	20	kPa

Peso de M2	1182.69	gr
Diametro M2	7.29	cm
Altura M2	14.56	cm

Fecha Inicial:	03/10/2024
Hora Inicial:	08:39am
Delta Tiempo para Au:	+-10min

Nro de Incrementos	Tiempo	Valvula (CP)	Presion de Celda (CP)	Valvula (BP)	Contra Presion (BP)	Presion de Poros (u)	Diferencia entre CP Y BP	Cambio en la Presion de Celda (CP)	Cambio en la Presion de Poros (Au)	Parametro de Skempton (B)
			kPa		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	$B(\%)=\frac{\Delta u}{\Delta CP}$
Incremento 01 03/10/24		ABIERTA	**40**	ABIERTA	**20**		20	20	6	**0.30**
	08:39am- 08:49am	ABIERTA	40	CERRADA	20	18				
	08:50am- 09:00am	ABIERTA	60	CERRADA	20	24				
	09:05am	ABIERTA	**60**	ABIERTA	**40**		20			
Incremento 02 09/10/24		ABIERTA	**60**	ABIERTA	**40**		20	20	7	**0.35**
	08:35am- 08:45am	ABIERTA	60	CERRADA	40	42				
	08:47am- 08:58am	ABIERTA	80	CERRADA	40	49				
	09:00am	ABIERTA	**80**	ABIERTA	**60**		20			
Incremento 03 09/10/24		ABIERTA	**80**	ABIERTA	**60**		20	20	9	**0.45**
	13:30Pm- 13:40Pm	ABIERTA	80	CERRADA	60	62				
	13:43Pm- 13:55Pm	ABIERTA	100	CERRADA	60	71				
	13:59Pm	ABIERTA	**100**	ABIERTA	**80**		20			
Incremento 04 10/10/24		ABIERTA	**100**	ABIERTA	**80**		20	20	9	**0.45**
	08:12am- 08:22am	ABIERTA	100	CERRADA	80	82				
	08:23am- 08:34am	ABIERTA	120	CERRADA	80	91				
	08:38am	ABIERTA	**120**	ABIERTA	**100**		20			
Incremento 05 11/10/24		ABIERTA	**120**	ABIERTA	**100**		20	20	10	**0.50**
	08:21am- 08:31am	ABIERTA	120	CERRADA	100	102				
	08:50am- 09:00am	ABIERTA	140	CERRADA	100	112				
	09:05am	ABIERTA	**140**	ABIERTA	**120**		20			
Incremento 06 11/10/24		ABIERTA	**140**	ABIERTA	**120**		20	20	14	**0.70**
	13:36pm- 13:46pm	ABIERTA	140	CERRADA	120	120				
	13:47pm- 13:57pm	ABIERTA	160	CERRADA	120	134				
	14:00pm	ABIERTA	**160**	ABIERTA	**140**		20			
Incremento 07 14/10/24		ABIERTA	**160**	ABIERTA	**140**		20	20	17	**0.85**
	08:05am- 08:15am	ABIERTA	160	CERRADA	140	142				
	08:16am- 08:26am	ABIERTA	180	CERRADA	140	159				
	08:44am	ABIERTA	**180**	ABIERTA	**160**		20			
Incremento 08 14/10/24		ABIERTA	**180**	ABIERTA	**160**		20	20	17	**0.85**
	13:39pm- 13:49pm	ABIERTA	180	CERRADA	160	162				
	13:50pm- 14:00pm	ABIERTA	200	CERRADA	160	179				
	14:00pm	ABIERTA	**200**	ABIERTA	**180**		20			
Incremento 09 15/10/24		ABIERTA	**200**	ABIERTA	**180**		20	20	17	**0.85**
	08:30am- 08:40am	ABIERTA	200	CERRADA	180	182				
	08:42am- 08:55am	ABIERTA	220	CERRADA	180	199				
	09:04am	ABIERTA	**220**	ABIERTA	**200**		20			
Incremento 10 16/10/24		ABIERTA	**220**	ABIERTA	**200**		20	20	19	**0.95**
	08:25am- 08:35am	ABIERTA	220	CERRADA	200	201				
	08:40am- 08:50am	ABIERTA	240	CERRADA	200	220				
	08:56am	ABIERTA	**240**	ABIERTA	**220**		20			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M3
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 2

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 17/10/2024

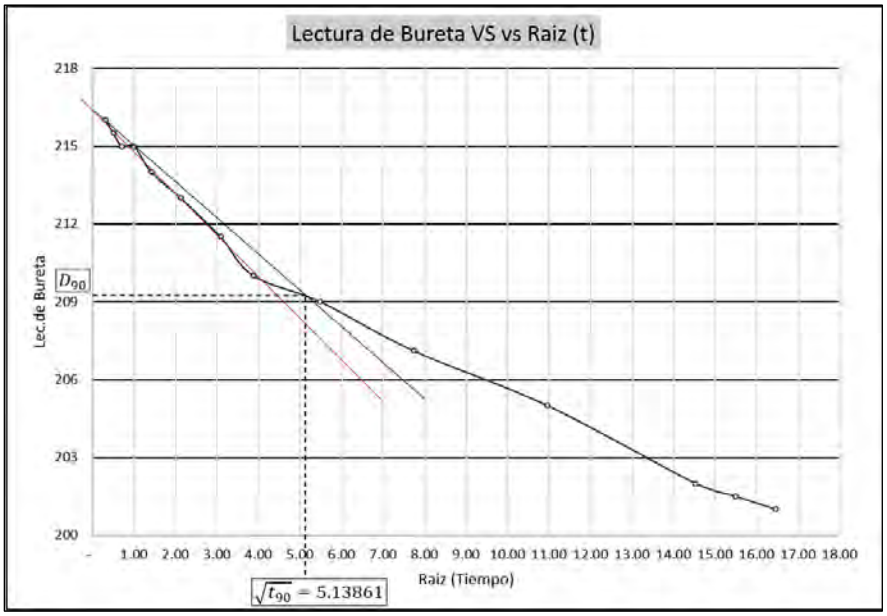
CONSOLIDACION DE MUESTRA M3

Fecha 17/10/24				Cte de Bureta:	0.1	ml
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml	Raiz (Tiempo)
267	217		0	220	22	-
			0.1	216	21.6	0.32
			0.25	215.5	21.55	0.50
			0.5	215	21.5	0.71
			1	215	21.5	1.00
			2	214	21.4	1.41
			4.5	213	21.3	2.12
			9.5	211.5	21.15	3.08
			15	210	21	3.87
			30	209	20.9	5.48
		1:00hr	60	207.1	20.71	7.75
		2:00 hr	120	205	20.5	10.95
			211	202	20.2	14.53
		4:00 hr	240	201.5	20.15	15.49
			271	201	20.1	16.46

Fecha 18/10/24					
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml
267	217	24hrs		208.5	20.85

Por lo tanto se termino de consolidar en 208.5 de Lec de Bureta

Y para el corte se dio con CP=267kPa, BP=217kPa



De acuerdo a lo obtenido en el grafico - Lec. de bureta VS Raiz(t)-

$$\sqrt{t_{90}} = 5.13861 \quad \Rightarrow \quad t_{90} = 5.13861^2$$

Para hallar la Velocidad de Corte se usaran dos formulas:

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{(Tiempo\ de\ corte\ estimado(min))} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(145.6mm)}{(4.5 * 60min)} = 0.0216mm/min$$

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{16 * (t_{90})} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(145.6mm)}{16 * (5.13861^2)} = 0.0138mm/min$$

$$Promediando\ Velocidad\ de\ corte: \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{0.0216 + 0.0138}{2} = 0.0177mm/min$$

Por recomendación se usara una velocidad de 0.015mm/min para que la disipacion de poros sea muy pequeña.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M3
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 3

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 18/10/2024

CURVA ESFUERZO - DEFORMACION - MUESTRA M3

Estado:	Muestra Inalterada

Condicion:	SIN CARGA-DESCARGA	
Lec. Bureta Inicial	220	
Lec. Bureta Final	208.5	
Contenido de Humedad	30.58%	
Peso Humedo	1182.69	gr
Peso Volum. Humedo	1.946	gr/cm3
Peso Seco	902.46	gr
Peso Volum. Seco	1.485	gr/cm3

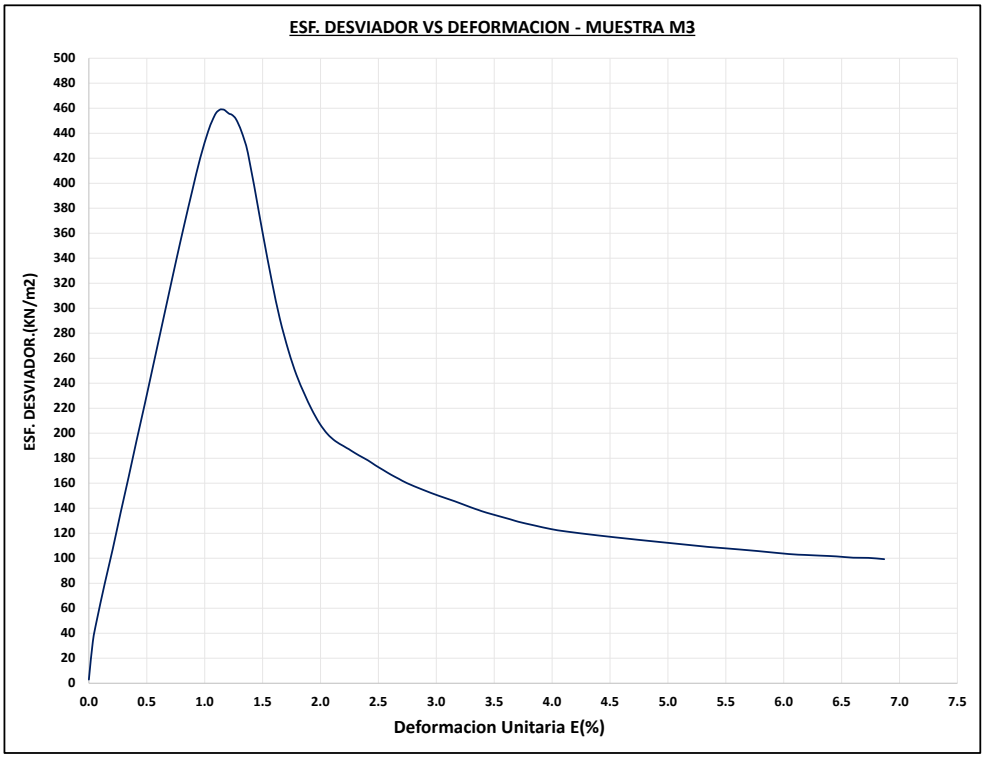
Altura Inicial	0.1456	m
Diametro	0.0729	m
Area Ao	0.0042	m2
Volumen Vo	0.00060772	m3
Area Ac	0.0042	m2

Variacion Volumetrica (ml)	1.15	ml
	0.00115	litros
	0.00000115	m3

Presion de Celda	267	Kpa
Contrapresion	217	Kpa
Presion Efectiva de Cofinamiento σ'_3	50	Kpa

Velocidad	0.015	mm/min
Parametro B	0.95	
Cte de anillo de carga(kgf)=	$y = 0.4039X + 1.2422$	

LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
0	0	0	1.24	0.0122	0.00E+00	0.0000	0.00417	2.93
5	0.05	32	14.17	0.1390	3.43E-04	0.0343	0.00417	33.35
10	0.1	50	21.44	0.2103	6.87E-04	0.0687	0.00417	50.44
20	0.2	81	33.96	0.3331	1.37E-03	0.1374	0.00417	79.85
30	0.3	110	45.67	0.4480	2.06E-03	0.2060	0.00417	107.32
40	0.4	141	58.19	0.5709	2.75E-03	0.2747	0.00418	136.65
50	0.5	171	70.31	0.6897	3.43E-03	0.3434	0.00418	164.99
60	0.6	202	82.83	0.8126	4.12E-03	0.4121	0.00418	194.24
70	0.7	232	94.95	0.9314	4.81E-03	0.4808	0.00419	222.50
80	0.8	263	107.47	1.0543	5.49E-03	0.5495	0.00419	251.67
90	0.9	294	119.99	1.1771	6.18E-03	0.6181	0.00419	280.80
100	1	325	132.51	1.2999	6.87E-03	0.6868	0.00419	309.89
110	1.1	356	145.03	1.4228	7.55E-03	0.7555	0.00420	338.93
120	1.2	386	157.15	1.5416	8.24E-03	0.8242	0.00420	367.00
130	1.3	415	168.86	1.6565	8.93E-03	0.8929	0.00420	394.08
140	1.4	443	180.17	1.7675	9.62E-03	0.9615	0.00421	420.18
150	1.5	466	189.46	1.8586	1.03E-02	1.0302	0.00421	441.54
155	1.55	475	193.09	1.8943	1.06E-02	1.0646	0.00421	449.85
160	1.6	482	195.92	1.9220	1.10E-02	1.0989	0.00421	456.28
165	1.65	485	197.13	1.9339	1.13E-02	1.1332	0.00421	458.94
167.7	1.677	485.2	197.21	1.9347	1.15E-02	1.1518	0.00421	459.044
169.5	1.695	485.1	197.17	1.9343	1.16E-02	1.1641	0.00422	458.89
171.3	1.713	484.5	196.93	1.9319	1.18E-02	1.1765	0.00422	458.27
176	1.76	482	195.92	1.9220	1.21E-02	1.2088	0.00422	455.77
180	1.8	481	195.52	1.9180	1.24E-02	1.2363	0.00422	454.71
185	1.85	477.5	194.10	1.9042	1.27E-02	1.2706	0.00422	451.26
192	1.92	467	189.86	1.8626	1.32E-02	1.3187	0.00422	441.19
200	2	449	182.59	1.7912	1.37E-02	1.3736	0.00422	424.06
215	2.15	394.5	160.58	1.5753	1.48E-02	1.4766	0.00423	372.55
220	2.2	376	153.11	1.5020	1.51E-02	1.5110	0.00423	355.09
230	2.3	340.7	138.85	1.3621	1.58E-02	1.5797	0.00423	321.80
240	2.4	309	126.05	1.2365	1.65E-02	1.6484	0.00424	291.92
251	2.51	281.5	114.94	1.1276	1.72E-02	1.7239	0.00424	265.99
261	2.61	261	106.66	1.0463	1.79E-02	1.7926	0.00424	246.66
271	2.71	245	100.20	0.9829	1.86E-02	1.8613	0.00425	231.55
280	2.8	232	94.95	0.9314	1.92E-02	1.9231	0.00425	219.28
290	2.9	220	90.10	0.8839	1.99E-02	1.9918	0.00425	207.94
300	3	211	86.47	0.8482	2.06E-02	2.0604	0.00425	199.41
310	3.1	205	84.04	0.8244	2.13E-02	2.1291	0.00426	193.68
320	3.2	201	82.43	0.8086	2.20E-02	2.1978	0.00426	189.83
325	3.25	199	81.62	0.8007	2.23E-02	2.2321	0.00426	187.90
326.6	3.266	198.5	81.42	0.7987	2.24E-02	2.2431	0.00426	187.42
330	3.3	197	80.81	0.7928	2.27E-02	2.2665	0.00426	185.98
340	3.4	193	79.19	0.7769	2.34E-02	2.3352	0.00427	182.13
351	3.51	189	77.58	0.7611	2.41E-02	2.4107	0.00427	178.28
360	3.6	185	75.96	0.7452	2.47E-02	2.4725	0.00427	174.45
370	3.7	181	74.35	0.7294	2.54E-02	2.5412	0.00427	170.62
380	3.8	177	72.73	0.7135	2.61E-02	2.6099	0.00428	166.80
390	3.9	173.5	71.32	0.6996	2.68E-02	2.6786	0.00428	163.44
400	4	170	69.91	0.6858	2.75E-02	2.7473	0.00428	160.09
420	4.2	164.5	67.68	0.6640	2.88E-02	2.8846	0.00429	154.78
440	4.4	159.5	65.66	0.6442	3.02E-02	3.0220	0.00430	149.95
460	4.6	155	63.85	0.6263	3.16E-02	3.1593	0.00430	145.59
480	4.8	150	61.83	0.6065	3.30E-02	3.2967	0.00431	140.79
490	4.9	147.7	60.90	0.5974	3.37E-02	3.3654	0.00431	138.57
500	5	145.5	60.01	0.5887	3.43E-02	3.4341	0.00431	136.46
530	5.3	140	57.79	0.5669	3.64E-02	3.6401	0.00432	131.12
540	5.4	138	56.98	0.5590	3.71E-02	3.7088	0.00433	129.20
560	5.6	135	55.77	0.5471	3.85E-02	3.8462	0.00433	126.27
581	5.81	132	54.56	0.5352	3.99E-02	3.9904	0.00434	123.34
601	6.01	130	53.75	0.5273	4.13E-02	4.1277	0.00435	121.34
640	6.4	127	52.54	0.5154	4.40E-02	4.3956	0.00436	118.28
680	6.8	124.3	51.45	0.5047	4.67E-02	4.6703	0.00437	115.49
700	7	123	50.92	0.4995	4.81E-02	4.8077	0.00438	114.14
740	7.4	120.5	49.91	0.4896	5.08E-02	5.0824	0.00439	111.56
772	7.72	118.5	49.10	0.4817	5.30E-02	5.3022	0.00440	109.50
780	7.8	118	48.90	0.4797	5.36E-02	5.3571	0.00440	108.98
801	8.01	117	48.50	0.4758	5.50E-02	5.5014	0.00441	107.92
840	8.4	115	47.69	0.4678	5.77E-02	5.7692	0.00442	105.82
880	8.8	112.6	46.72	0.4583	6.04E-02	6.0440	0.00443	103.37
900	9	112	46.48	0.4560	6.18E-02	6.1813	0.00444	102.68
920	9.2	111.5	46.28	0.4540	6.32E-02	6.3187	0.00445	102.09
940	9.4	111	46.08	0.4520	6.46E-02	6.4560	0.00445	101.49
961	9.61	110	45.67	0.4480	6.60E-02	6.6003	0.00446	100.45
980	9.8	110	45.67	0.4480	6.73E-02	6.7308	0.00447	100.31
1000	10	109	45.27	0.4441	6.87E-02	6.8681	0.00447	99.27


ESF. DESVIADOR VS DEFORMACION - MUESTRA M3
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
7.5
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

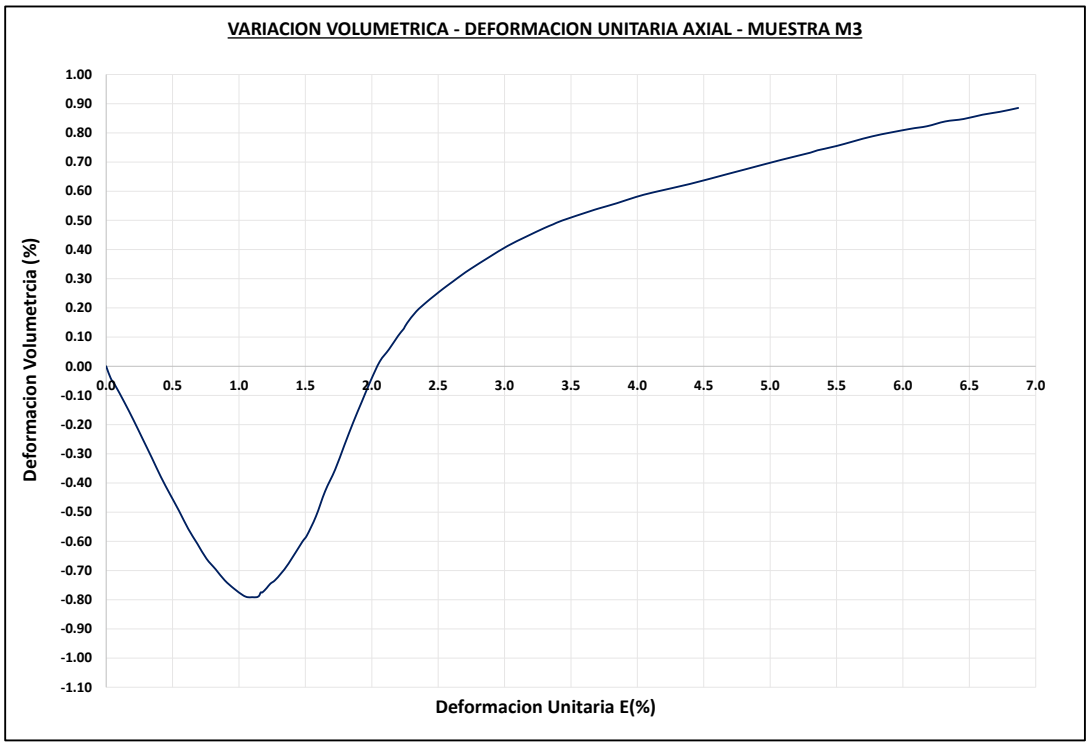
Muestra Nro: M3
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 4

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 18/10/2024

CURVA VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M3

ALTURA INCIAL	0.1456	m	
CTE. BURETA BASE (ml):	0.1	Volumen inicial Vc (cm3):	606.574

LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
0	142	217	0	0	0.000	0.000	0.00
5	139.5	217	2.5	0.25	-0.250	-0.041	0.03
10	138	217	4	0.4	-0.400	-0.066	0.07
20	134.5	217	7.5	0.75	-0.750	-0.124	0.14
30	130.8	217	11.2	1.12	-1.120	-0.185	0.21
40	126.9	217	15.1	1.51	-1.510	-0.249	0.27
50	123	217	19	1.9	-1.900	-0.313	0.34
60	119	217	23	2.3	-2.300	-0.379	0.41
70	115.4	217	26.6	2.66	-2.660	-0.439	0.48
80	111.9	217	30.1	3.01	-3.010	-0.496	0.55
90	108.2	217	33.8	3.38	-3.380	-0.557	0.62
100	105.1	217	36.9	3.69	-3.690	-0.608	0.69
110	102	217	40	4	-4.000	-0.659	0.76
120	99.8	217	42.2	4.22	-4.220	-0.696	0.82
130	97.5	217	44.5	4.45	-4.450	-0.734	0.89
140	95.8	217	46.2	4.62	-4.620	-0.762	0.96
150	94.4	217	47.6	4.76	-4.760	-0.785	1.03
155	94	217	48	4.8	-4.800	-0.791	1.06
160	94	217	48	4.8	-4.800	-0.791	1.10
165	94	217	48	4.8	-4.800	-0.791	1.13
167.7	94.3	217	47.7	4.77	-4.770	-0.786	1.15
169.5	95	217	47	4.7	-4.700	-0.775	1.16
171.3	95	216	47	4.7	-4.700	-0.775	1.18
176	95.9	216	46.1	4.61	-4.610	-0.760	1.21
180	96.8	216	45.2	4.52	-4.520	-0.745	1.24
185	97.5	217	44.5	4.45	-4.450	-0.734	1.27
192	99	217	43	4.3	-4.300	-0.709	1.32
200	101	216	41	4.1	-4.100	-0.676	1.37
215	105.5	216	36.5	3.65	-3.650	-0.602	1.48
220	106.8	216	35.2	3.52	-3.520	-0.580	1.51
230	110.8	216	31.2	3.12	-3.120	-0.514	1.58
240	116	215	26	2.6	-2.600	-0.429	1.65
251	120.5	215	21.5	2.15	-2.150	-0.354	1.72
261	125.5	215	16.5	1.65	-1.650	-0.272	1.79
271	130.4	215	11.6	1.16	-1.160	-0.191	1.86
280	134.5	216	7.5	0.75	-0.750	-0.124	1.92
290	139	215	3	0.3	-0.300	-0.049	1.99
300	143	215	-1	-0.1	0.100	0.016	2.06
310	145.5	215	-3.5	-0.35	0.350	0.058	2.13
320	148.3	215	-6.3	-0.63	0.630	0.104	2.20
325	149.5	215	-7.5	-0.75	0.750	0.124	2.23
326.6	149.9	216	-7.9	-0.79	0.790	0.130	2.24
330	151	216	-9	-0.9	0.900	0.148	2.27
340	153.4	216	-11.4	-1.14	1.140	0.188	2.34
351	155.3	216	-13.3	-1.33	1.330	0.219	2.41
360	156.7	216	-14.7	-1.47	1.470	0.242	2.47
370	158.2	216	-16.2	-1.62	1.620	0.267	2.54
380	159.6	216	-17.6	-1.76	1.760	0.290	2.61
390	161	216	-19	-1.9	1.900	0.313	2.68
400	162.3	216	-20.3	-2.03	2.030	0.335	2.75
420	164.7	216	-22.7	-2.27	2.270	0.374	2.88
440	167	216	-25	-2.5	2.500	0.412	3.02
460	168.9	216	-26.9	-2.69	2.690	0.443	3.16
480	170.7	216	-28.7	-2.87	2.870	0.473	3.30
490	171.5	215	-29.5	-2.95	2.950	0.486	3.37
500	172.3	215	-30.3	-3.03	3.030	0.500	3.43
530	174.2	216	-32.2	-3.22	3.220	0.531	3.64
540	174.8	215	-32.8	-3.28	3.280	0.541	3.71
560	175.9	215	-33.9	-3.39	3.390	0.559	3.85
581	177.2	216	-35.2	-3.52	3.520	0.580	3.99
601	178.2	216	-36.2	-3.62	3.620	0.597	4.13
640	179.9	216	-37.9	-3.79	3.790	0.625	4.40
680	181.9	215	-39.9	-3.99	3.990	0.658	4.67
700	182.9	215	-40.9	-4.09	4.090	0.674	4.81
740	184.9	215	-42.9	-4.29	4.290	0.707	5.08
772	186.4	215	-44.4	-4.44	4.440	0.732	5.30
780	186.9	215	-44.9	-4.49	4.490	0.740	5.36
801	187.8	215	-45.8	-4.58	4.580	0.755	5.50
840	189.8	215	-47.8	-4.78	4.780	0.788	5.77
880	191.3	215	-49.3	-4.93	4.930	0.813	6.04
900	191.9	215	-49.9	-4.99	4.990	0.823	6.18
920	192.9	215	-50.9	-5.09	5.090	0.839	6.32
940	193.4	215	-51.4	-5.14	5.140	0.847	6.46
961	194.3	215	-52.3	-5.23	5.230	0.862	6.60
980	194.9	215	-52.9	-5.29	5.290	0.872	6.73
1000	195.7	215	-53.7	-5.37	5.370	0.885	6.87


VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M3
Deformacion Volumetrcia (%)
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.20
-0.30
-0.40
-0.50
-0.60
-0.70
-0.80
-0.90
-1.00
-1.10
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M2
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 1

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 09/09/2024

ETAPA DE SATURACION - MUESTRA M2

	INICIAL		FINAL	
PRESION DE CELDA (CP)	49	kPa	280	kPa
CONTRA PRESION (BP)	31	kPa	260	kPa
DIFERENCIA DE PRESION INICIAL	18	kPa	20	kPa
INCREMENTO DE PRESION	20	kPa	20	kPa

Peso de M2	1190.7	gr
Diametro M2	7.31	cm
Altura M2	14.5	cm

Fecha Inicial:	09/09/2024
Hora Inicial:	09:10am
Delta Tiempo para Au:	+-10min

Nro de Incrementos	Tiempo	Valvula (CP)	Presion de Celda (CP)	Valvula (BP)	Contra Presion (BP)	Presion de Poros (u)	Diferencia entre CP Y BP	Cambio en la Presion de Celda (CP)	Cambio en la Presion de Poros (Au)	Parametro de Skempton (B)
			kPa		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	$B(\%)=\frac{\Delta u}{\Delta CP}$
Incremento 01 09/09/24		ABIERTA	**49**	ABIERTA	**31**		18	21	6	**0.29**
	09:10am- 09:20am	ABIERTA	49	CERRADA	31	32				
	09:24am- 09:30am	ABIERTA	70	CERRADA	31	38				
	09:35am	ABIERTA	**70**	ABIERTA	**50**		20			
Incremento 02 09/09/24		ABIERTA	**70**	ABIERTA	**50**		20	20	10	**0.50**
	13:25pm- 13:35pm	ABIERTA	70	CERRADA	50	50				
	13:36pm- 13:46pm	ABIERTA	90	CERRADA	50	60				
	13:50pm	ABIERTA	**90**	ABIERTA	**70**		20			
Incremento 03 10/09/24		ABIERTA	**90**	ABIERTA	**70**		20	20	11	**0.55**
	08:05am- 08:15am	ABIERTA	90	CERRADA	70	70				
	08:17am- 08:27am	ABIERTA	110	CERRADA	70	81				
	08:30am	ABIERTA	**110**	ABIERTA	**90**		20			
Incremento 04 10/09/24		ABIERTA	**109**	ABIERTA	**89**		20	21	13	**0.62**
	13:25pm- 13:35pm	ABIERTA	109	CERRADA	89	89				
	13:37pm- 13:47pm	ABIERTA	130	CERRADA	89	102				
	13:50pm	ABIERTA	**130**	ABIERTA	**110**		20			
Incremento 05 11/09/24		ABIERTA	**130**	ABIERTA	**111**		19	20	14	**0.70**
	08:12am- 08:22am	ABIERTA	130	CERRADA	111	109				
	08:24am- 08:34am	ABIERTA	150	CERRADA	111	123				
	08:38am	ABIERTA	**150**	ABIERTA	**130**		20			
Incremento 06 11/09/24		ABIERTA	**150**	ABIERTA	**130**		20	20	15	**0.75**
	13:25pm- 13:35pm	ABIERTA	150	CERRADA	130	129				
	13:51pm- 14:00pm	ABIERTA	170	CERRADA	130	144				
	14:00pm	ABIERTA	**170**	ABIERTA	**150**		20			
Incremento 07 16/09/24		ABIERTA	**170**	ABIERTA	**150**		20	20	15	**0.75**
	08:00am- 08:10am	ABIERTA	170	CERRADA	150	149				
	08:13am- 08:23am	ABIERTA	190	CERRADA	150	164				
	08:26am	ABIERTA	**190**	ABIERTA	**170**		20			
Incremento 08 16/09/24		ABIERTA	**190**	ABIERTA	**170**		20	20	16	**0.80**
	13:25pm- 13:36pm	ABIERTA	190	CERRADA	170	167				
	13:40pm- 13:47pm	ABIERTA	210	CERRADA	170	183				
	14:00pm	ABIERTA	**210**	ABIERTA	**190**		20			
Incremento 09 17/09/24		ABIERTA	**210**	ABIERTA	**190**		20	31	27	**0.87**
	08:49am- 08:59am	ABIERTA	210	CERRADA	190	190				
	09:10am- 09:20am	ABIERTA	241	CERRADA	190	217				
	09:43am	ABIERTA	**240**	ABIERTA	**220**		20			
Incremento 10 17/09/24		ABIERTA	**240**	ABIERTA	**220**		20	20	18	**0.90**
	13:21pm- 13:39pm	ABIERTA	240	CERRADA	220	219				
	13:45pm- 13:56pm	ABIERTA	260	CERRADA	220	237				
	14:00pm	ABIERTA	**260**	ABIERTA	**240**		20			
Incremento 11 18/09/24		ABIERTA	**261**	ABIERTA	**241**		20	19	18	**0.95**
	08:58am- 09:08am	ABIERTA	261	CERRADA	241	240				
	09:14am- 09:24am	ABIERTA	280	CERRADA	241	258				
	09:31am	ABIERTA	**280**	ABIERTA	**260**		20			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M2 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 18/09/2024
Hoja Nro: 2

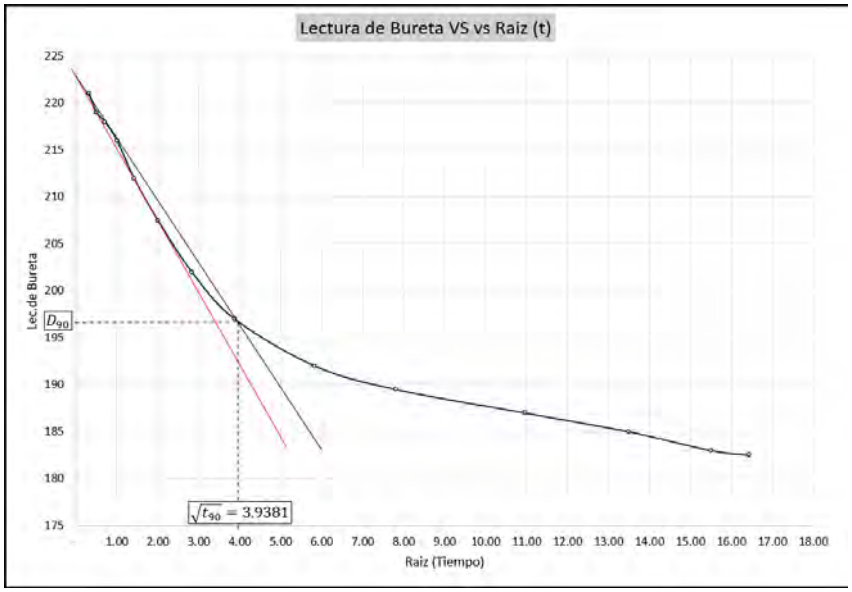
CONSOLIDACION DE MUESTRA M2

Fecha 18/09/24				Cte de Bureta:	0.1	ml
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml	Raiz (Tiempo)
357	268		0	231	23.1	-
			0.1	221	22.1	0.32
			0.25	219	21.9	0.50
			0.5	218	21.8	0.71
			1	216	21.6	1.00
			2	212	21.2	1.41
			4	207.5	20.75	2.00
			8	202	20.2	2.83
			15	197	19.7	3.87
			34	192	19.2	5.83
		1:01hr	61	189.5	18.95	7.81
		2:00 hr	120	187	18.7	10.95
		3:02 hr	182	185	18.5	13.49
		4:00 hr	240	183	18.3	15.49
			270	182.5	18.25	16.43

Fecha 19/09/24					
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml
357	268	24hr		192.5	19.25

Por lo tanto se termino de consolidar en 192.5 de Lec de Bureta

Y para el corte se dio con CP=357kPa, BP=268kPa



De acuerdo a lo obtenido en el grafico - Lec. de bureta VS Raiz(t)-

$$\sqrt{t_{90}} = 3.9381 \quad \Rightarrow \quad t_{90} = 3.9381^2$$

Para hallar la Velocidad de Corte se usaran dos formulas:

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{(Tiempo\ de\ corte\ estimado(min))} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(145mm)}{(4.5 * 60min)} = 0.0215mm/min$$

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{16 * (t_{90})} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(145mm)}{16 * (3.9381^2)} = 0.0234mm/min$$

$$Promediando\ Velocidad\ de\ corte: \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{0.0215 + 0.0234}{2} = 0.0224mm/min$$

Por recomendación se usara una velocidad de 0.02mm/min para que la disipacion de poros sea muy pequeña

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M2
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 3

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 19/09/2024

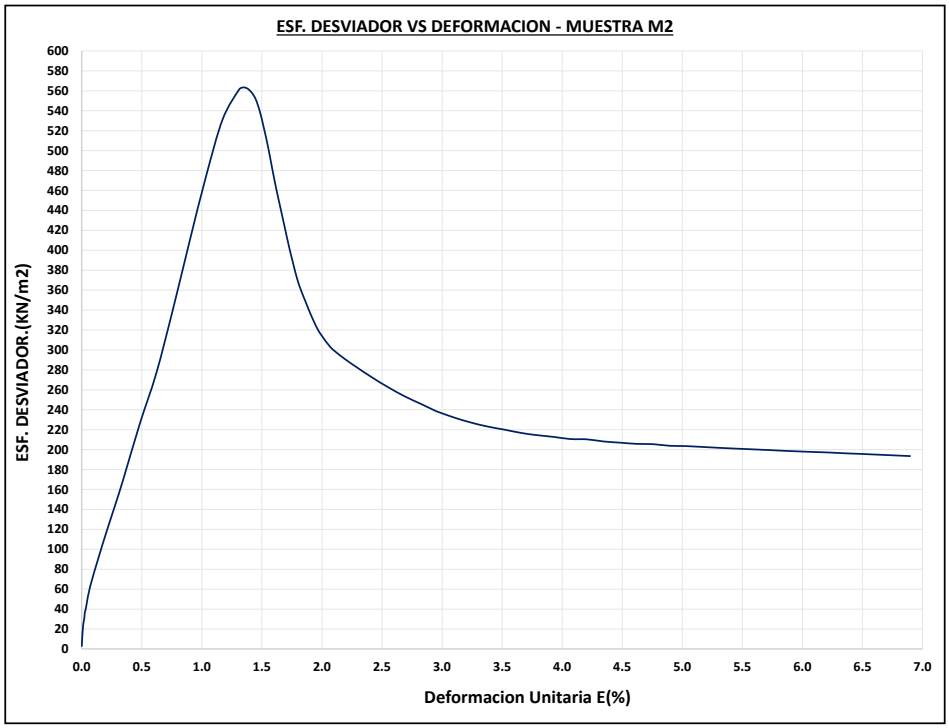
CURVA ESFUERZO - DEFORMACION - MUESTRA M2

Estado:	Muestra Inalterada		Condicion:	SIN CARGA-DESCARGA	
Altura Inicial	0.1450	m	Lec. Bureta Inicial	231	
Diametro	0.0731	m	Lec. Bureta Final	192.5	
Area Ao	0.0042	m2	Contenido de Humedad	30.58%	
Volumen Vo	0.0006	m3	Peso Humedo	1190.7	gr
Area Ac	0.0042	m2	Peso Volum. Humedo	1.957	gr/cm3
			Peso Seco	920.19	gr
Velocidad	0.02	mm/min	Peso Volum. Seco	1.512	gr/cm3
Parametro B	0.95				
Cte de anillo de carga(kgf)=	$y = 0.4039X + 1.2422$				

Variacion Volumetrica (ml)	3.85	ml
	0.00385	litros
	0.00000385	m3

Presion de Celda	357	Kpa
Contrapresion	268	Kpa
Presion Efectiva de Cofinamiento σ'_3	89	Kpa

LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
0	0	0	1.24	0.0122	0.00E+00	0.0000	0.00417	2.92
1	0.01	15	7.30	0.0716	6.90E-05	0.0069	0.00417	17.17
2	0.02	23.9	10.90	0.1069	1.38E-04	0.0138	0.00417	25.63
3	0.03	29	12.96	0.1271	2.07E-04	0.0207	0.00417	30.47
3.5	0.035	34	14.97	0.1469	2.41E-04	0.0241	0.00417	35.22
4	0.04	36.6	16.02	0.1572	2.76E-04	0.0276	0.00417	37.69
5	0.05	40	17.40	0.1707	3.45E-04	0.0345	0.00417	40.91
6	0.06	45	19.42	0.1905	4.14E-04	0.0414	0.00417	45.66
10	0.1	62.5	26.49	0.2598	6.90E-04	0.0690	0.00417	62.26
20	0.2	92.8	38.72	0.3799	1.38E-03	0.1379	0.00418	90.97
30	0.3	121.3	50.24	0.4928	2.07E-03	0.2069	0.00418	117.93
40	0.4	148.4	61.18	0.6002	2.76E-03	0.2759	0.00418	143.52
50	0.5	176.3	72.45	0.7107	3.45E-03	0.3448	0.00418	169.84
70	0.7	235.7	96.44	0.9461	4.83E-03	0.4828	0.00419	225.77
90	0.9	290	118.37	1.1612	6.21E-03	0.6207	0.00420	276.73
110	1.1	358	145.84	1.4307	7.59E-03	0.7586	0.00420	340.46
130	1.3	430.7	175.20	1.7187	8.97E-03	0.8966	0.00421	408.44
150	1.5	501.1	203.64	1.9977	1.03E-02	1.0345	0.00421	474.07
170	1.7	562.7	228.52	2.2417	1.17E-02	1.1724	0.00422	531.25
190	1.9	595.6	241.81	2.3721	1.31E-02	1.3103	0.00423	561.36
195	1.95	598	242.77	2.3816	1.34E-02	1.3448	0.00423	563.409
200	2	597	242.37	2.3777	1.38E-02	1.3793	0.00423	562.27
205	2.05	593	240.75	2.3618	1.41E-02	1.4138	0.00423	558.33
210	2.1	586	237.93	2.3341	1.45E-02	1.4483	0.00423	551.58
215	2.15	573	232.68	2.2826	1.48E-02	1.4828	0.00423	539.22
220	2.2	555	225.41	2.2112	1.52E-02	1.5172	0.00423	522.19
225	2.25	535	217.33	2.1320	1.55E-02	1.5517	0.00424	503.30
230	2.3	512	208.04	2.0409	1.59E-02	1.5862	0.00424	481.62
235	2.35	490	199.15	1.9537	1.62E-02	1.6207	0.00424	460.88
240	2.4	470	191.08	1.8744	1.66E-02	1.6552	0.00424	442.03
245	2.45	450	183.00	1.7952	1.69E-02	1.6897	0.00424	423.20
250	2.5	430	174.92	1.7160	1.72E-02	1.7241	0.00424	404.38
255	2.55	412	167.65	1.6446	1.76E-02	1.7586	0.00424	387.43
260	2.6	395	160.78	1.5773	1.79E-02	1.7931	0.00425	371.43
265	2.65	382	155.53	1.5258	1.83E-02	1.8276	0.00425	359.18
270	2.7	371	151.09	1.4822	1.86E-02	1.8621	0.00425	348.80
275	2.75	360	146.65	1.4386	1.90E-02	1.8966	0.00425	338.42
280	2.8	350	142.61	1.3990	1.93E-02	1.9310	0.00425	328.98
285	2.85	341	138.97	1.3633	1.97E-02	1.9655	0.00425	320.48
290	2.9	334.2	136.23	1.3364	2.00E-02	2.0000	0.00426	314.04
300	3	322.6	131.54	1.2904	2.07E-02	2.0690	0.00426	303.03
310	3.1	315	128.47	1.2603	2.14E-02	2.1379	0.00426	295.75
320	3.2	308.5	125.85	1.2345	2.21E-02	2.2069	0.00426	289.50
330	3.3	302.5	123.42	1.2108	2.28E-02	2.2759	0.00427	283.72
350	3.5	291.0	118.78	1.1652	2.41E-02	2.4138	0.00427	272.66
370	3.7	280.5	114.54	1.1236	2.55E-02	2.5517	0.00428	262.55
390	3.9	271.0	110.70	1.0860	2.69E-02	2.6897	0.00429	253.40
410	4.1	263.0	107.47	1.0543	2.83E-02	2.8276	0.00429	245.65
427	4.27	256.0	104.64	1.0265	2.94E-02	2.9448	0.00430	238.90
430	4.3	255.0	104.24	1.0226	2.97E-02	2.9655	0.00430	237.93
450	4.5	249.0	101.81	0.9988	3.10E-02	3.1034	0.00430	232.07
470	4.7	244.0	99.79	0.9790	3.24E-02	3.2414	0.00431	227.14
490	4.9	240.0	98.18	0.9631	3.38E-02	3.3793	0.00432	223.14
510	5.1	237.0	96.97	0.9512	3.52E-02	3.5172	0.00432	220.08
532	5.32	233.5	95.55	0.9374	3.67E-02	3.6690	0.00433	216.53
551	5.51	231.5	94.75	0.9294	3.80E-02	3.8000	0.00434	214.40
570	5.7	230.0	94.14	0.9235	3.93E-02	3.9310	0.00434	212.74
590	5.9	228.0	93.33	0.9156	4.07E-02	4.0690	0.00435	210.61
610	6.1	228.0	93.33	0.9156	4.21E-02	4.2069	0.00435	210.31
630	6.3	226.0	92.52	0.9077	4.34E-02	4.3448	0.00436	208.19
650	6.5	225.0	92.12	0.9037	4.48E-02	4.4828	0.00437	206.98
670	6.7	224.0	91.72	0.8997	4.62E-02	4.6207	0.00437	205.78
690	6.9	224.0	91.72	0.8997	4.76E-02	4.7586	0.00438	205.48
710	7.1	222.5	91.11	0.8938	4.90E-02	4.8966	0.00439	203.83
730	7.3	222.5	91.11	0.8938	5.03E-02	5.0345	0.00439	203.53
770	7.7	221.2	90.58	0.8886	5.31E-02	5.3103	0.00440	201.77
810	8.1	220.2	90.18	0.8847	5.59E-02	5.5862	0.00442	200.29
830	8.3	219.7	89.98	0.8827	5.72E-02	5.7241	0.00442	199.55
840	8.4	219.4	89.86	0.8815	5.79E-02	5.7931	0.00443	199.13
860	8.6	218.9	89.66	0.8795	5.93E-02	5.9310	0.00443	198.39
880	8.8	218.5	89.49	0.8779	6.07E-02	6.0690	0.00444	197.74
900	9	218.2	89.37	0.8768	6.21E-02	6.2069	0.00445	197.19
920	9.2	217.6	89.13	0.8744	6.34E-02	6.3448	0.00445	196.36
940	9.4	217.2	88.97	0.8728	6.48E-02	6.4828	0.00446	195.72
960	9.6	216.7	88.77	0.8708	6.62E-02	6.6207	0.00447	194.99
980	9.8	216.2	88.57	0.8688	6.76E-02	6.7586	0.00447	194.26
1000	10	215.7	88.36	0.8668	6.90E-02	6.8966	0.00448	193.53


ESF. DESVIADOR VS DEFORMACION - MUESTRA M2
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
600
580
560
540
520
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

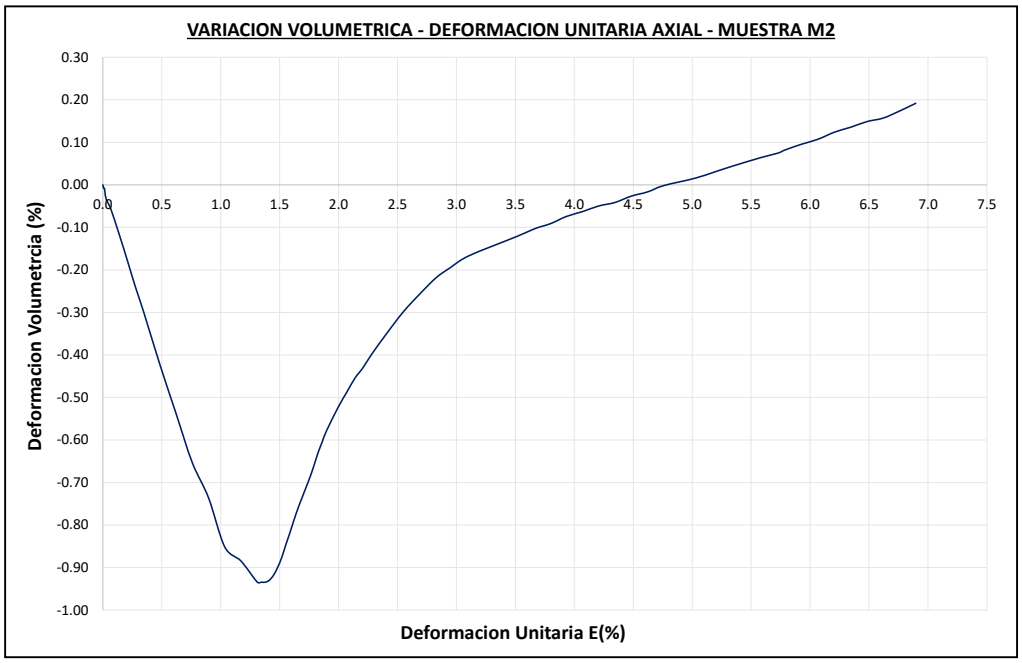
TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M2 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 19/09/2024
Hoja Nro: 4

CURVA VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M2

ALTURA INICIAL	0.145	m	
CTE. BURETA BASE (ml):	0.1	Volumen inicial Vc (cm3):	604.695

LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
0	221.5	268	0	0	0.000	0.000	0.000
1	221	269	0.5	0.05	-0.050	-0.008	0.007
2	221	268	0.5	0.05	-0.050	-0.008	0.014
3	220	269	1.5	0.15	-0.150	-0.025	0.021
3.5	219.8	268	1.7	0.17	-0.170	-0.028	0.024
4	219.5	269	2	0.2	-0.200	-0.033	0.028
5	219.3	268	2.2	0.22	-0.220	-0.036	0.034
6	219	269	2.5	0.25	-0.250	-0.041	0.041
10	218	268	3.5	0.35	-0.350	-0.058	0.069
20	214.5	268	7	0.7	-0.700	-0.116	0.138
30	210.8	267	10.7	1.07	-1.070	-0.177	0.207
40	207	268	14.5	1.45	-1.450	-0.240	0.276
50	203.5	268	18	1.8	-1.800	-0.298	0.345
70	196	267	25.5	2.55	-2.550	-0.422	0.483
90	189	266	32.5	3.25	-3.250	-0.537	0.621
110	182	266	39.5	3.95	-3.950	-0.653	0.759
130	177	264	44.5	4.45	-4.450	-0.736	0.897
150	170	268	51.5	5.15	-5.150	-0.852	1.034
170	168	268	53.5	5.35	-5.350	-0.885	1.172
190	165	268	56.5	5.65	-5.650	-0.934	1.310
195	165	268	56.5	5.65	-5.650	-0.934	1.345
200	165	268	56.5	5.65	-5.650	-0.934	1.379
205	165.3	268	56.2	5.62	-5.620	-0.929	1.414
210	166	268	55.5	5.55	-5.550	-0.918	1.448
215	167.1	268	54.4	5.44	-5.440	-0.900	1.483
220	168.5	268	53	5.3	-5.300	-0.876	1.517
225	170.3	268	51.2	5.12	-5.120	-0.847	1.552
230	172	268	49.5	4.95	-4.950	-0.819	1.586
235	173.8	268	47.7	4.77	-4.770	-0.789	1.621
240	175.5	268	46	4.6	-4.600	-0.761	1.655
245	177	268	44.5	4.45	-4.450	-0.736	1.690
250	178.5	268	43	4.3	-4.300	-0.711	1.724
255	180	268	41.5	4.15	-4.150	-0.686	1.759
260	181.7	268	39.8	3.98	-3.980	-0.658	1.793
265	183.5	268	38	3.8	-3.800	-0.628	1.828
270	185	268	36.5	3.65	-3.650	-0.604	1.862
275	186.5	268	35	3.5	-3.500	-0.579	1.897
290	190	267	31.5	3.15	-3.150	-0.521	2.000
300	192	267	29.5	2.95	-2.950	-0.488	2.069
310	194	267	27.5	2.75	-2.750	-0.455	2.138
320	195.5	267	26	2.6	-2.600	-0.430	2.207
330	197.3	268	24.2	2.42	-2.420	-0.400	2.276
350	200.5	267	21	2.1	-2.100	-0.347	2.414
370	203.5	267	18	1.8	-1.800	-0.298	2.552
390	206	267	15.5	1.55	-1.550	-0.256	2.690
410	208.3	267	13.2	1.32	-1.320	-0.218	2.828
427	209.7	267	11.8	1.18	-1.180	-0.195	2.945
450	211.4	267	10.1	1.01	-1.010	-0.167	3.103
510	214.2	266	7.3	0.73	-0.730	-0.121	3.517
532	215.3	267	6.2	0.62	-0.620	-0.103	3.669
551	216	266	5.5	0.55	-0.550	-0.091	3.800
570	217	266	4.5	0.45	-0.450	-0.074	3.931
590	217.7	266	3.8	0.38	-0.380	-0.063	4.069
610	218.5	266	3	0.3	-0.300	-0.050	4.207
630	219	266	2.5	0.25	-0.250	-0.041	4.345
650	219.9	266	1.6	0.16	-0.160	-0.026	4.483
670	220.5	266	1	0.1	-0.100	-0.017	4.621
690	221.4	266	0.1	0.01	-0.010	-0.002	4.759
730	222.5	265	-1	-0.1	0.100	0.017	5.034
770	224	264	-2.5	-0.25	0.250	0.041	5.310
810	225.4	264	-3.9	-0.39	0.390	0.064	5.586
830	226	266	-4.5	-0.45	0.450	0.074	5.724
840	226.5	266	-5	-0.5	0.500	0.083	5.793
860	227.3	266	-5.8	-0.58	0.580	0.096	5.931
880	228	266	-6.5	-0.65	0.650	0.107	6.069
900	229	268	-7.5	-0.75	0.750	0.124	6.207
920	229.7	268	-8.2	-0.82	0.820	0.136	6.345
940	230.5	268	-9	-0.9	0.900	0.149	6.483
960	231	268	-9.5	-0.95	0.950	0.157	6.621
980	232	268	-10.5	-1.05	1.050	0.174	6.759
1000	233.1	268	-11.6	-1.16	1.160	0.192	6.897


VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M2
Deformacion Volumetrcia (%)
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.20
-0.30
-0.40
-0.50
-0.60
-0.70
-0.80
-0.90
-1.00
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
7.5
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M5 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 24/10/2024
Hoja Nro: 1

ETAPA DE SATURACION - MUESTRA M5

	INICIAL		FINAL	
PRESION DE CELDA (CP)	40	kPa	220	kPa
CONTRA PRESION (BP)	20	kPa	200	kPa
DIFERENCIA DE PRESION INICIAL	20	kPa	20	kPa
INCREMENTO DE PRESION	20	kPa	20	kPa

Peso de M2	1194.5	gr
Diametro M2	7.35	cm
Altura M2	14.55	cm

Fecha Inicial:	24/10/2024
Hora Inicial:	13:25am
Delta Tiempo para Au:	+-10min

Nro de Incrementos	Tiempo	Valvula (CP)	Presion de Celda (CP)	Valvula (BP)	Contra Presion (BP)	Presion de Poros (u)	Diferencia entre CP Y BP	Cambio en la Presion de Celda (CP)	Cambio en la Presion de Poros (Au)	Parametro de Skempton (B)
			kPa		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	$B(\%)=\frac{\Delta u}{\Delta CP}$
Incremento 01 24/10/24		ABIERTA	**40**	ABIERTA	**20**		20	20	6	**0.30**
	13:25pm- 13:35pm	ABIERTA	40	CERRADA	20	18				
	13:37pm- 13:47pm	ABIERTA	60	CERRADA	20	24				
	13:49pm	ABIERTA	**60**	ABIERTA	**40**		20			
Incremento 02 25/10/24		ABIERTA	**60**	ABIERTA	**40**		20	20	10	**0.50**
	08:28am- 08:40am	ABIERTA	60	CERRADA	40	38				
	08:42am- 08:53am	ABIERTA	80	CERRADA	40	48				
	08:55am	ABIERTA	**80**	ABIERTA	**60**		20			
Incremento 03 25/10/24		ABIERTA	**80**	ABIERTA	**60**		20	20	12	**0.60**
	13:25pm- 13:36pm	ABIERTA	80	CERRADA	60	60				
	13:37pm- 13:49pm	ABIERTA	100	CERRADA	60	72				
	13:52pm	ABIERTA	**100**	ABIERTA	**80**		20			
Incremento 04 28/10/24		ABIERTA	**100**	ABIERTA	**80**		20	20	14	**0.70**
	08:41am- 08:51am	ABIERTA	100	CERRADA	80	79				
	08:53am- 09:03am	ABIERTA	120	CERRADA	80	93				
	09:05am	ABIERTA	**120**	ABIERTA	**100**		20			
Incremento 05 28/10/24		ABIERTA	**120**	ABIERTA	**100**		20	20	16	**0.80**
	13:35pm- 13:45pm	ABIERTA	120	CERRADA	100	99				
	13:48pm- 13:58pm	ABIERTA	140	CERRADA	100	115				
	14:00pm	ABIERTA	**140**	ABIERTA	**120**		20			
Incremento 06 29/10/24		ABIERTA	**140**	ABIERTA	**120**		20	20	16	**0.80**
	08:05am- 08:15am	ABIERTA	140	CERRADA	120	118				
	08:18am- 08:28am	ABIERTA	160	CERRADA	120	134				
	08:30am	ABIERTA	**160**	ABIERTA	**140**		20			
Incremento 07 30/10/24		ABIERTA	**160**	ABIERTA	**140**		20	20	17	**0.85**
	08:04am- 08:14am	ABIERTA	160	CERRADA	140	138				
	08:16am- 08:27am	ABIERTA	180	CERRADA	140	155				
	08:28am	ABIERTA	**180**	ABIERTA	**160**		20			
Incremento 08 31/10/24		ABIERTA	**180**	ABIERTA	**160**		20	20	18	**0.90**
	08:01am- 08:11am	ABIERTA	180	CERRADA	160	158				
	08:13am- 08:23am	ABIERTA	200	CERRADA	160	176				
	08:26am	ABIERTA	**200**	ABIERTA	**180**		20			
Incremento 09 04/11/24		ABIERTA	**200**	ABIERTA	**180**		20	20	19	**0.95**
	08:07am- 08:17am	ABIERTA	200	CERRADA	180	178				
	08:21am- 08:31am	ABIERTA	220	CERRADA	180	197				
	08:40am	ABIERTA	**220**	ABIERTA	**200**		20			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M5 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 04/11/2024
Hoja Nro: 2

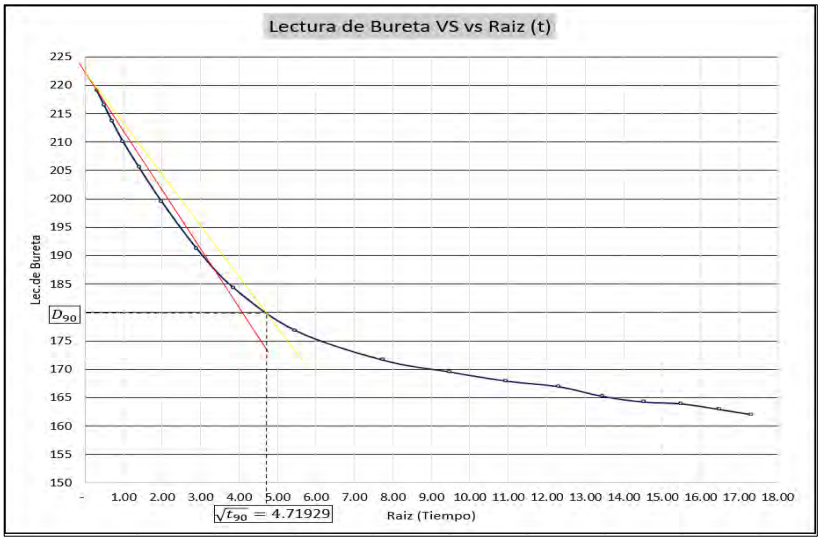
CONSOLIDACION DE MUESTRA M5

Fecha 04/11/24				Cte de Bureta:	0.1	ml
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml	Raiz (Tiempo)
348	198		0	235	23.5	-
			0.1	219	21.9	0.32
			0.25	216.5	21.65	0.50
			0.5	213.7	21.37	0.71
			1	210	21	1.00
			2	205.5	20.55	1.41
			4	199.5	19.95	2.00
			8.5	191.2	19.12	2.92
			15	184.3	18.43	3.87
			30	176.8	17.68	5.48
		1:01hr	60	171.6	17.16	7.75
			90	169.5	16.95	9.49
		2:00 hr	120	167.9	16.79	10.95
			152	166.9	16.69	12.33
		3:01 hr	181	165.2	16.52	13.45
			211	164.2	16.42	14.53
		4:00 hr	240	163.9	16.39	15.49
			272	162.9	16.29	16.49
		5:00 hr	300	162	16.2	17.32

Fecha 07/11/24					
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml
348	198	24hrs		166.1	16.61

Por lo tanto se termino de consolidar en = 166.1 de Lec de Bureta

Y para el corte se dio con CP=348kPa, BP=198kPa



De acuerdo a lo obtenido en el grafico - Lec. de bureta VS Raiz(t)-

$$\sqrt{t_{90}} = 4.71929 \Rightarrow t_{90} = 4.71929^2$$

Para hallar la Velocidad de Corte se usaran dos formulas:

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{(Tiempo\ de\ corte\ estimado(min))} \Rightarrow Vc = \frac{4\%(145.5mm)}{(4.5 * 60min)} = 0.0216mm/min$$

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{16 * (t_{90})} \Rightarrow Vc = \frac{4\%(145.5mm)}{16 * (4.71929^2)} = 0.0163mm/min$$

$$Promediando\ Velocidad\ de\ corte: \Rightarrow Vc = \frac{0.0216 + 0.0163}{2} = 0.0189mm/min$$

Por recomendación se usara una velocidad de 0.015mm/min para que la disipacion de poros sea muy pequeña

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M5
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 3

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 07/11/2024

CURVA ESFUERZO - DEFORMACION - MUESTRA M5

Estado:	Muestra Inalterada

Altura Inicial	0.1455	m
Diametro	0.0735	m
Area Ao	0.0042	m2
Volumen Vo	0.0006	m3
Area Ac	0.0042	m2

Velocidad	0.015	mm/min
Parametro B	0.95	
Cte de anillo de carga(kgf)=	$y = 0.4039X + 1.2422$	

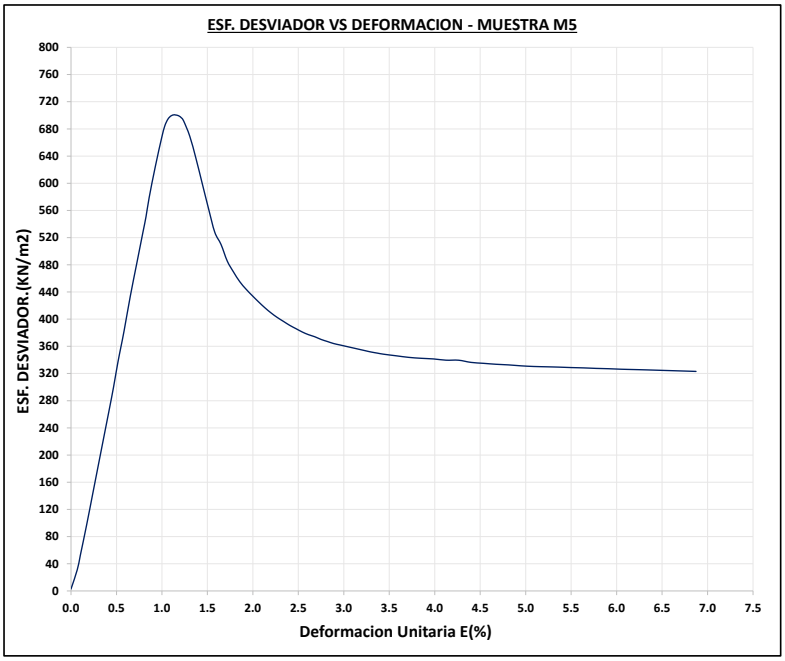
Condicion:	SIN CARGA-DESCARGA

Lec. Bureta Inicial	235	
Lec. Bureta Final	166.1	
Contenido de Humedad	30.58%	
Peso Humedo	1194.5	gr
Peso Volum. Humedo	1.935	gr/cm3
Peso Seco	920.37	gr
Peso Volum. Seco	1.491	gr/cm3

Variacion Volumetrica (ml)	6.89	ml
	0.00689	litros
	0.00000689	m3

Presion de Celda	348	Kpa
Contrapresion	198	Kpa
Presion Efectiva de Cofinamiento σ'_3	150	Kpa

LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
0	0	0	1.24	0.0122	0.00E+00	0.0000	0.00420	2.90
10	0.1	30	13.36	0.1311	6.87E-04	0.0687	0.00420	31.21
15	0.15	53	22.65	0.2222	1.03E-03	0.1031	0.00420	52.90
25	0.25	100	41.63	0.4084	1.72E-03	0.1718	0.00420	97.18
35	0.35	150	61.83	0.6065	2.41E-03	0.2405	0.00421	144.22
45	0.45	200	82.02	0.8046	3.09E-03	0.3093	0.00421	191.19
55	0.55	250	102.22	1.0028	3.78E-03	0.3780	0.00421	238.10
65	0.65	300	122.41	1.2009	4.47E-03	0.4467	0.00421	284.94
70	0.7	327	133.32	1.3078	4.81E-03	0.4811	0.00422	310.22
75	0.75	355	144.63	1.4188	5.15E-03	0.5155	0.00422	336.42
80	0.8	380	154.72	1.5178	5.50E-03	0.5498	0.00422	359.78
85	0.85	405	164.82	1.6169	5.84E-03	0.5842	0.00422	383.13
95	0.95	460	187.04	1.8348	6.53E-03	0.6529	0.00422	434.47
105	1.05	510	207.23	2.0329	7.22E-03	0.7216	0.00423	481.05
115	1.15	560	227.43	2.2311	7.90E-03	0.7904	0.00423	527.56
120	1.2	585	237.52	2.3301	8.25E-03	0.8247	0.00423	550.79
125	1.25	615	249.64	2.4490	8.59E-03	0.8591	0.00423	578.69
135	1.35	665	269.84	2.6471	9.28E-03	0.9278	0.00423	625.07
145	1.45	710	288.01	2.8254	9.97E-03	0.9966	0.00424	666.71
150	1.5	729	295.69	2.9007	1.03E-02	1.0309	0.00424	684.24
155	1.55	740	300.13	2.9443	1.07E-02	1.0653	0.00424	694.28
160	1.6	745.5	302.35	2.9661	1.10E-02	1.0997	0.00424	699.18
164.7	1.647	747.4	303.12	2.9736	1.13E-02	1.1320	0.00424	700.721
167	1.67	747.3	303.08	2.9732	1.15E-02	1.1478	0.00424	700.52
172	1.72	746.4	302.71	2.9696	1.18E-02	1.1821	0.00425	699.43
177	1.77	743	301.34	2.9561	1.22E-02	1.2165	0.00425	696.02
180	1.8	739	299.72	2.9403	1.24E-02	1.2371	0.00425	692.14
190	1.9	715	290.03	2.8452	1.31E-02	1.3058	0.00425	669.29
200	2	680	275.89	2.7065	1.37E-02	1.3746	0.00425	636.22
210	2.1	641	260.14	2.5520	1.44E-02	1.4433	0.00426	599.48
220	2.2	602	244.39	2.3975	1.51E-02	1.5120	0.00426	562.79
230	2.3	565	229.45	2.2509	1.58E-02	1.5808	0.00426	528.01
240	2.4	546	221.77	2.1756	1.65E-02	1.6495	0.00427	509.99
250	2.5	520	211.27	2.0726	1.72E-02	1.7182	0.00427	485.50
260	2.6	503	204.40	2.0052	1.79E-02	1.7869	0.00427	469.39
270	2.7	488	198.35	1.9458	1.86E-02	1.8557	0.00427	455.16
280	2.8	476.5	193.70	1.9002	1.92E-02	1.9244	0.00428	444.19
290	2.9	466.5	189.66	1.8606	1.99E-02	1.9931	0.00428	434.62
300	3	457	185.82	1.8229	2.06E-02	2.0619	0.00428	425.53
310	3.1	448	182.19	1.7873	2.13E-02	2.1306	0.00429	416.92
320	3.2	440	178.96	1.7556	2.20E-02	2.1993	0.00429	409.23
330	3.3	433	176.13	1.7278	2.27E-02	2.2680	0.00429	402.49
340	3.4	427	173.71	1.7041	2.34E-02	2.3368	0.00430	396.67
350	3.5	421	171.28	1.6803	2.41E-02	2.4055	0.00430	390.86
360	3.6	416	169.26	1.6605	2.47E-02	2.4742	0.00430	385.98
370	3.7	411	167.25	1.6407	2.54E-02	2.5430	0.00431	381.11
380	3.8	407	165.63	1.6248	2.61E-02	2.6117	0.00431	377.16
390	3.9	404	164.42	1.6129	2.68E-02	2.6804	0.00431	374.13
400	4	400	162.80	1.5971	2.75E-02	2.7491	0.00431	370.20
410	4.1	397	161.59	1.5852	2.82E-02	2.8179	0.00432	367.18
420	4.2	394	160.38	1.5733	2.89E-02	2.8866	0.00432	364.17
430	4.3	392	159.57	1.5654	2.96E-02	2.9553	0.00432	362.08
440	4.4	390	158.76	1.5575	3.02E-02	3.0241	0.00433	359.99
450	4.5	388	157.96	1.5495	3.09E-02	3.0928	0.00433	357.91
460	4.6	386	157.15	1.5416	3.16E-02	3.1615	0.00433	355.82
470	4.7	384	156.34	1.5337	3.23E-02	3.2302	0.00434	353.74
480	4.8	382	155.53	1.5258	3.30E-02	3.2990	0.00434	351.67
490	4.9	380.5	154.93	1.5198	3.37E-02	3.3677	0.00434	350.05
500	5	379	154.32	1.5139	3.44E-02	3.4364	0.00434	348.43
520	5.2	377	153.51	1.5060	3.57E-02	3.5739	0.00435	346.11
540	5.4	375	152.70	1.4980	3.71E-02	3.7113	0.00436	343.80
560	5.6	374	152.30	1.4941	3.85E-02	3.8488	0.00436	342.40
580	5.8	373.5	152.10	1.4921	3.99E-02	3.9863	0.00437	341.46
600	6	372	151.49	1.4861	4.12E-02	4.1237	0.00438	339.61
620	6.2	372.5	151.69	1.4881	4.26E-02	4.2612	0.00438	339.58
640	6.4	369.5	150.48	1.4762	4.40E-02	4.3986	0.00439	336.38
660	6.6	368.5	150.08	1.4723	4.54E-02	4.5361	0.00439	335.00
680	6.8	367.5	149.68	1.4683	4.67E-02	4.6735	0.00440	333.61
700	7	367	149.47	1.4663	4.81E-02	4.8110	0.00441	332.68
720	7.2	366	149.07	1.4624	4.95E-02	4.9485	0.00441	331.30
740	7.4	365.5	148.87	1.4604	5.09E-02	5.0859	0.00442	330.38
760	7.6	365.5	148.87	1.4604	5.22E-02	5.2234	0.00443	329.90
780	7.8	365.5	148.87	1.4604	5.36E-02	5.3608	0.00443	329.42
800	8	365.3	148.79	1.4596	5.50E-02	5.4983	0.00444	328.76
820	8.2	365.3	148.79	1.4596	5.64E-02	5.6357	0.00445	328.28
840	8.4	365	148.67	1.4584	5.77E-02	5.7732	0.00445	327.54
860	8.6	365	148.67	1.4584	5.91E-02	5.9107	0.00446	327.06
880	8.8	364.7	148.54	1.4572	6.05E-02	6.0481	0.00447	326.32
900	9	364.7	148.54	1.4572	6.19E-02	6.1856	0.00447	325.84
920	9.2	364.7	148.54	1.4572	6.32E-02	6.3230	0.00448	325.36
940	9.4	364.6	148.50	1.4568	6.46E-02	6.4605	0.00449	324.80
960	9.6	364.5	148.46	1.4564	6.60E-02	6.5979	0.00449	324.23
980	9.8	364.4	148.42	1.4560	6.74E-02	6.7354	0.00450	323.67
999.3	9.993	364.3	148.38	1.4556	6.87E-02	6.8680	0.00450	323.12
1000	10	364.3	148.38	1.4556	6.87E-02	6.8729	0.00451	323.10


ESF. DESVIADOR VS DEFORMACION - MUESTRA M5
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
800
760
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
7.5
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

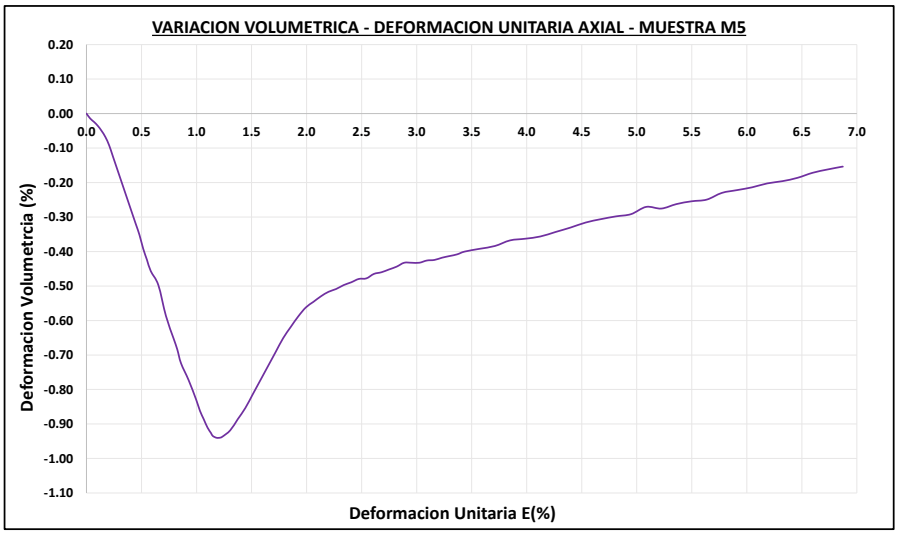
Muestra Nro: M5
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 4

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 07/11/2024

CURVA VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M5

ALTURA INCIAL	0.1455	m	
CTE. BURETA BASE(ml):	0.1	Volumen inicial Vc (cm3):	617.344

LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
0	129.7	198	0	0	0.000	0.000	0.00
5	128.8	198	0.9	0.09	-0.090	-0.015	0.03
10	128.2	198	1.5	0.15	-0.150	-0.024	0.07
15	127.5	198	2.2	0.22	-0.220	-0.036	0.10
20	126.6	198	3.1	0.31	-0.310	-0.050	0.14
25	125.5	198	4.2	0.42	-0.420	-0.068	0.17
30	124	198	5.7	0.57	-0.570	-0.092	0.21
35	122	198	7.7	0.77	-0.770	-0.125	0.24
45	118	198	11.7	1.17	-1.170	-0.190	0.31
55	114	198	15.7	1.57	-1.570	-0.254	0.38
65	110	198	19.7	1.97	-1.970	-0.319	0.45
70	108	198	21.7	2.17	-2.170	-0.352	0.48
75	105.5	198	24.2	2.42	-2.420	-0.392	0.52
80	103.5	198	26.2	2.62	-2.620	-0.424	0.55
85	101.5	198	28.2	2.82	-2.820	-0.457	0.58
95	99	198	30.7	3.07	-3.070	-0.497	0.65
105	93.5	198	36.2	3.62	-3.620	-0.586	0.72
115	89.5	198	40.2	4.02	-4.020	-0.651	0.79
120	87.5	198	42.2	4.22	-4.220	-0.684	0.82
125	85	198	44.7	4.47	-4.470	-0.724	0.86
135	82	198	47.7	4.77	-4.770	-0.773	0.93
145	78.5	198	51.2	5.12	-5.120	-0.829	1.00
150	76.5	198	53.2	5.32	-5.320	-0.862	1.03
155	75	198	54.7	5.47	-5.470	-0.886	1.07
160	73.5	198	56.2	5.62	-5.620	-0.910	1.10
164.7	72.5	198	57.2	5.72	-5.720	-0.927	1.13
167	72	198	57.7	5.77	-5.770	-0.935	1.15
172	71.7	198	58.03	5.803	-5.803	-0.9399939	1.18213
177	71.7	198	58	5.8	-5.800	-0.93951	1.22
180	71.9	198	57.8	5.78	-5.780	-0.936	1.24
190	73	198	56.7	5.67	-5.670	-0.918	1.31
200	75	198	54.7	5.47	-5.470	-0.886	1.37
210	77	198	52.7	5.27	-5.270	-0.854	1.44
220	79.5	198	50.2	5.02	-5.020	-0.813	1.51
230	82	198	47.7	4.77	-4.770	-0.773	1.58
240	84.5	198	45.2	4.52	-4.520	-0.732	1.65
250	87	198	42.7	4.27	-4.270	-0.692	1.72
260	89.5	198	40.2	4.02	-4.020	-0.651	1.79
270	91.5	198	38.2	3.82	-3.820	-0.619	1.86
280	93.4	198	36.3	3.63	-3.630	-0.588	1.92
290	95	198	34.7	3.47	-3.470	-0.562	1.99
300	96	198	33.7	3.37	-3.370	-0.546	2.06
310	97	198	32.7	3.27	-3.270	-0.530	2.13
320	97.8	198	31.9	3.19	-3.190	-0.517	2.20
330	98.3	198	31.4	3.14	-3.140	-0.509	2.27
340	99	198	30.7	3.07	-3.070	-0.497	2.34
350	99.5	198	30.2	3.02	-3.020	-0.489	2.41
360	100.1	198	29.6	2.96	-2.960	-0.479	2.47
370	100.2	198	29.5	2.95	-2.950	-0.478	2.54
380	101	198	28.7	2.87	-2.870	-0.465	2.61
390	101.3	198	28.4	2.84	-2.840	-0.460	2.68
400	101.8	198	27.9	2.79	-2.790	-0.452	2.75
410	102.3	198	27.4	2.74	-2.740	-0.444	2.82
420	103	198	26.7	2.67	-2.670	-0.432	2.89
430	103	198	26.7	2.67	-2.670	-0.432	2.96
440	103	198	26.7	2.67	-2.670	-0.432	3.02
450	103.4	198	26.3	2.63	-2.630	-0.426	3.09
460	103.5	198	26.2	2.62	-2.620	-0.424	3.16
470	103.9	198	25.8	2.58	-2.580	-0.418	3.23
480	104.2	198	25.5	2.55	-2.550	-0.413	3.30
490	104.5	198	25.2	2.52	-2.520	-0.408	3.37
500	105	198	24.7	2.47	-2.470	-0.400	3.44
520	105.5	198	24.2	2.42	-2.420	-0.392	3.57
540	106	198	23.7	2.37	-2.370	-0.384	3.71
560	107	198	22.7	2.27	-2.270	-0.368	3.85
580	107.3	198	22.4	2.24	-2.240	-0.363	3.99
600	107.7	198	22	2.2	-2.200	-0.356	4.12
620	108.5	198	21.2	2.12	-2.120	-0.343	4.26
640	109.3	198	20.4	2.04	-2.040	-0.330	4.40
660	110.2	198	19.5	1.95	-1.950	-0.316	4.54
680	110.8	198	18.9	1.89	-1.890	-0.306	4.67
700	111.3	198	18.4	1.84	-1.840	-0.298	4.81
720	111.7	198	18	1.8	-1.800	-0.292	4.95
740	113	198	16.7	1.67	-1.670	-0.271	5.09
760	112.7	198	17	1.7	-1.700	-0.275	5.22
780	113.5	198	16.2	1.62	-1.620	-0.262	5.36
800	114	198	15.7	1.57	-1.570	-0.254	5.50
820	114.3	198	15.4	1.54	-1.540	-0.249	5.64
840	115.5	198	14.2	1.42	-1.420	-0.230	5.77
860	116	198	13.7	1.37	-1.370	-0.222	5.91
880	116.5	198	13.2	1.32	-1.320	-0.214	6.05
900	117.2	198	12.5	1.25	-1.250	-0.202	6.19
920	117.6	198	12.1	1.21	-1.210	-0.196	6.32
940	118.2	198	11.5	1.15	-1.150	-0.186	6.46
960	119.1	198	10.6	1.06	-1.060	-0.172	6.60
980	119.7	198	10	1	-1.000	-0.162	6.74
999.3	120.2	198	9.5	0.95	-0.950	-0.154	6.87
1000	120.2	198	9.5	0.95	-0.950	-0.154	6.87


VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M5
Deformacion Volumetrcia (%)
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.20
-0.30
-0.40
-0.50
-0.60
-0.70
-0.80
-0.90
-1.00
-1.10
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

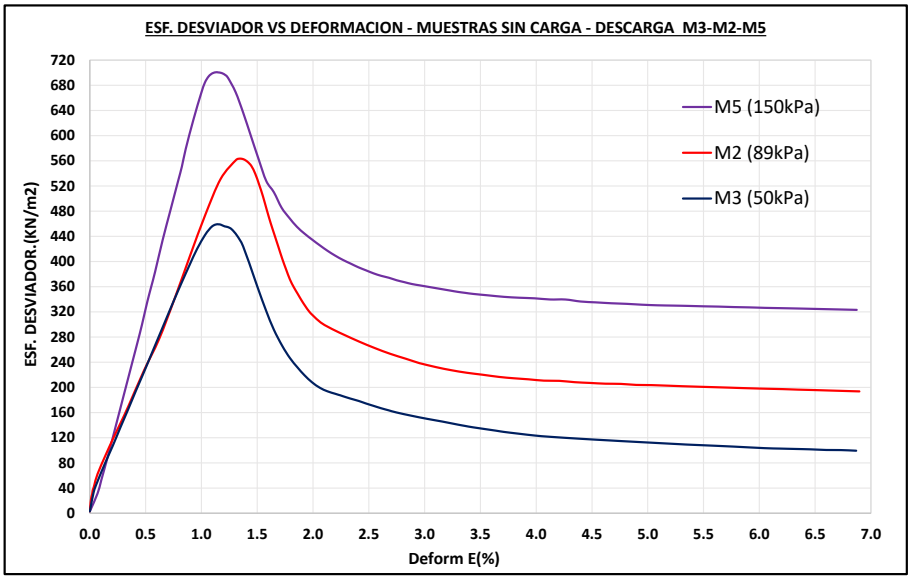
PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

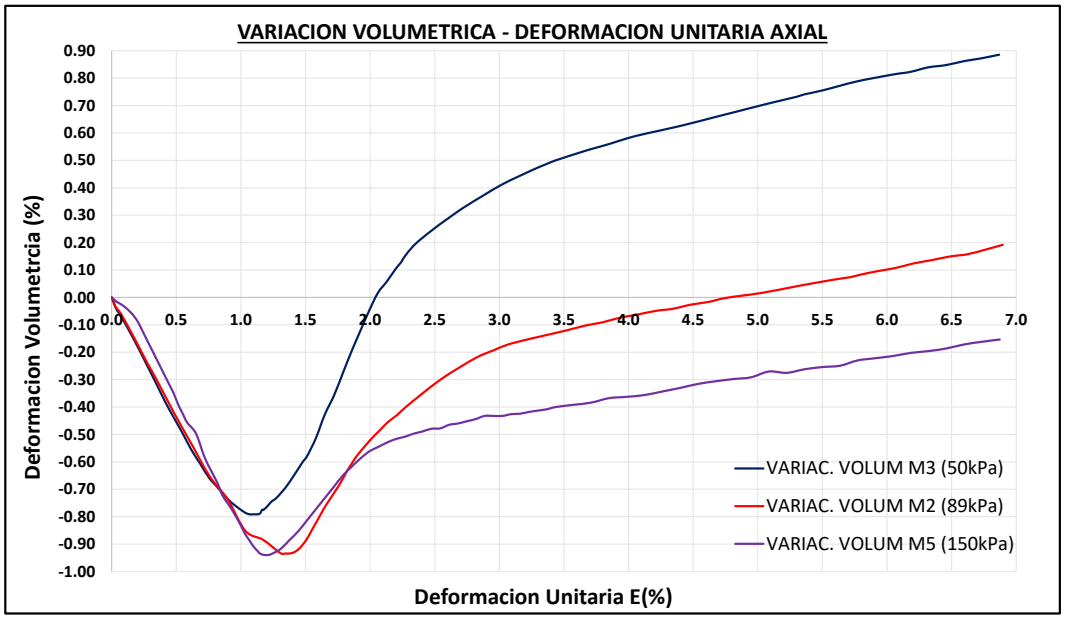
Muestra Nro: M3 - M2 - M5 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Hoja Nro:** 1

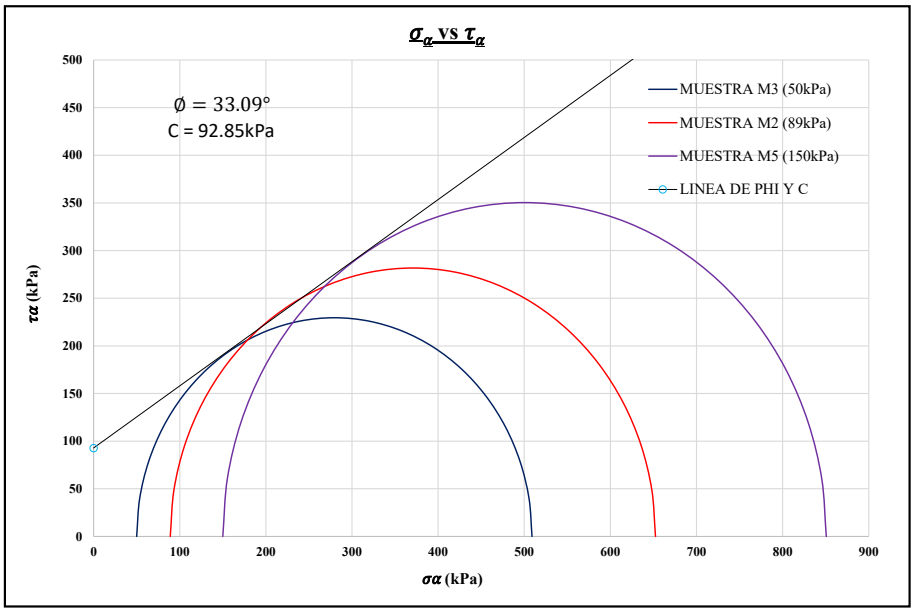
CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION DE MUESTRAS M3 - M2 - M5



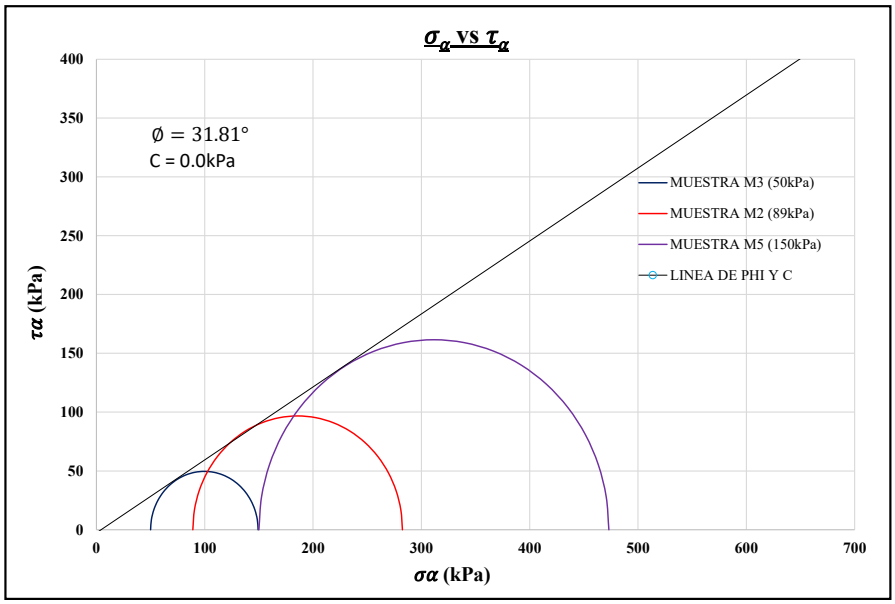
CURVAS DE VARIACION VOLUMETRICA DE MUESTRAS M3 - M2 - M5



CIRCULOS DE MORH Y PARAMETROS DE RESISTENCIA DE MUESTRAS M3-M2-M5



CIRCULOS DE MORH Y PARAMETROS DE RESISTENCIA RESIDUAL DE MUESTRAS M3-M2-M5



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROCEDIMIENTO PARA HALLAR LOS PARAMETROS DE CORTE PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Formulas a Usar (Criterio deL MIT):

$$p = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \qquad q = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \qquad \sigma 1 = Esf.Desv. + \sigma 3$$

$\sigma 3: Esfuerzo\ de\ Confinamiento$
$\sigma 1: Esfuerzo\ Total$

MUESTRA M3 (50kPa)

p	q
51.46	1.46
66.67	16.67
75.22	25.22
89.93	39.93
103.66	53.66
118.33	68.33
132.50	82.50
147.12	97.12
161.25	111.25
175.84	125.84
190.40	140.40
204.94	154.94
219.47	169.47
233.50	183.50
247.04	197.04
260.09	210.09
270.77	220.77
274.93	224.93
278.14	228.14
279.47	229.47
279.52	229.52
279.45	229.45
279.14	229.14
277.89	227.89
277.35	227.35
275.63	225.63
270.59	220.59
262.03	212.03
236.27	186.27
227.54	177.54
210.90	160.90
195.96	145.96
183.00	133.00
173.33	123.33
165.78	115.78
159.64	109.64
153.97	103.97
149.70	99.70
146.84	96.84
144.91	94.91
143.95	93.95
143.71	93.71
142.99	92.99
141.07	91.07
139.14	89.14
137.23	87.23
135.31	85.31
133.40	83.40
131.72	81.72
130.04	80.04
127.39	77.39
124.98	74.98
122.80	72.80
120.39	70.39
119.29	69.29
118.23	68.23
115.56	65.56
114.60	64.60
113.14	63.14
111.67	61.67
110.67	60.67
109.14	59.14
107.74	57.74
107.07	57.07
105.78	55.78
104.75	54.75
104.49	54.49
103.96	53.96
102.91	52.91
101.68	51.68
101.34	51.34
101.04	51.04
100.75	50.75
100.22	50.22
100.15	50.15
99.64	49.64

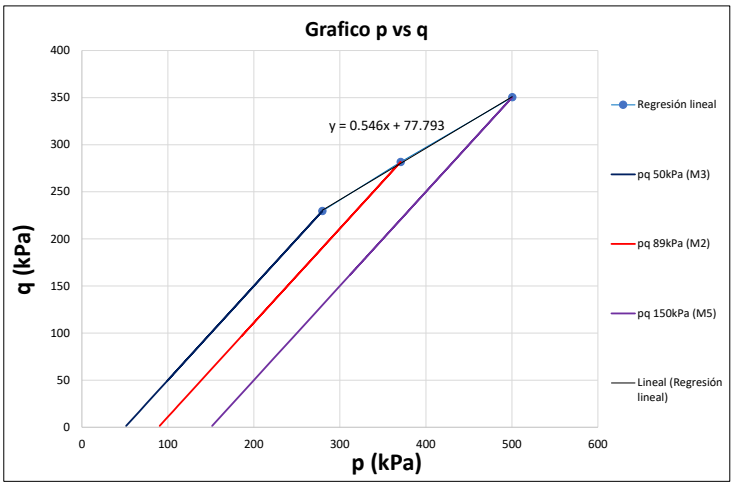
MUESTRA M2 (89kPa)

p	q
90.46	1.46
97.59	8.59
101.81	12.81
104.23	15.23
106.61	17.61
107.84	18.84
109.46	20.46
111.83	22.83
120.13	31.13
134.48	45.48
147.96	58.96
160.76	71.76
173.92	84.92
201.88	112.88
227.36	138.36
259.23	170.23
293.22	204.22
326.03	237.03
354.62	265.62
369.68	280.68
370.70	281.70
370.14	281.14
368.17	279.17
364.79	275.79
358.61	269.61
350.09	261.09
340.65	251.65
329.81	240.81
319.44	230.44
310.02	221.02
300.60	211.60
291.19	202.19
282.72	193.72
274.72	185.72
268.59	179.59
263.40	174.40
258.21	169.21
253.49	164.49
249.24	160.24
246.02	157.02
240.51	151.51
236.87	147.87
233.75	144.75
230.86	141.86
225.33	136.33
220.28	131.28
215.70	126.70
211.83	122.83
208.45	119.45
207.96	118.96
205.03	116.03
202.57	113.57
200.57	111.57
199.04	110.04
197.26	108.26
196.20	107.20
195.37	106.37
194.31	105.31
194.16	105.16
193.10	104.10
192.49	103.49
191.89	102.89
191.74	102.74
190.91	101.91
190.77	101.77
189.89	100.89
189.14	100.14
188.77	99.77
188.57	99.57
188.20	99.20
187.87	98.87
187.59	98.59
187.18	98.18
186.86	97.86
186.49	97.49
186.13	97.13
185.76	96.76

MUESTRA M5 (150kPa)

p	q
151.45	1.45
165.61	15.61
176.45	26.45
198.59	48.59
222.11	72.11
245.59	95.59
269.05	119.05
292.47	142.47
305.11	155.11
318.21	168.21
329.89	179.89
341.57	191.57
367.23	217.23
390.52	240.52
413.78	263.78
425.40	275.40
439.35	289.35
462.54	312.54
483.36	333.36
492.12	342.12
497.14	347.14
499.59	349.59
500.36	350.36
500.26	350.26
499.72	349.72
498.01	348.01
496.07	346.07
484.64	334.64
468.11	318.11
449.74	299.74
431.39	281.39
414.00	264.00
404.99	254.99
392.75	242.75
384.70	234.70
377.58	227.58
372.10	222.10
367.31	217.31
362.77	212.77
358.46	208.46
354.62	204.62
351.24	201.24
348.33	198.33
345.43	195.43
342.99	192.99
340.55	190.55
338.58	188.58
337.07	187.07
335.10	185.10
333.59	183.59
332.09	182.09
331.04	181.04
330.00	180.00
328.95	178.95
327.91	177.91
326.87	176.87
325.83	175.83
325.02	175.02
324.21	174.21
323.06	173.06
321.90	171.90
321.20	171.20
320.73	170.73
319.81	169.81
319.79	169.79
318.19	168.19
317.50	167.50
316.81	166.81
316.34	166.34
315.65	165.65
315.19	165.19
314.95	164.95
314.71	164.71
314.38	164.38
314.14	164.14
313.77	163.77
313.53	163.53
313.16	163.16
312.92	162.92
312.68	162.68
312.40	162.40
312.12	162.12
311.83	161.83
311.56	161.56
311.55	161.55

DIAGRAMA P VS Q PARA HALLAR LOS PARAMETROS DE CORTE PICO PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5



$q = a + p * \tan(\alpha)$

- $\phi = arcsen(\tan(\alpha))$
- $c = \frac{a}{\cos(\phi)}$

$\Leftrightarrow$

$q = p * sin(\phi) + c * \cos(\phi)$

- $\sin(\phi) = (\tan(\alpha))$
- $a = c * cos(\phi)$

	p max	q max
Muestra M3	279.5	229.5
Muestra M2	370.7	281.7
Muestra M5	500.4	350.4

tan (α)		PARAMETROS DE CORTE DEL TRIAXIAL	
0.545988417			
a	ϕ (rad)	ϕ °	c kPa
77.793	0.578	33.09	92.85

$\theta = 45° + \frac{\varphi}{2}$

Angulo de falla:	θ°	61.55
	θ (Rad)	1.07

Para hallar los circulos de Mohr se usaran las dos siguientes ecuaciones donde α' es el angulo que va de 0° a 180°:

$$\sigma_\alpha = \text{pmax} - \text{qmax} \cdot cos(\alpha')$$
$$\tau_\alpha = qmax \cdot sen(\alpha')$$

CIRCULOS DE MORH Y PARAMETROS DE RESISTENCIA DE MUESTRAS M3-M2-M5

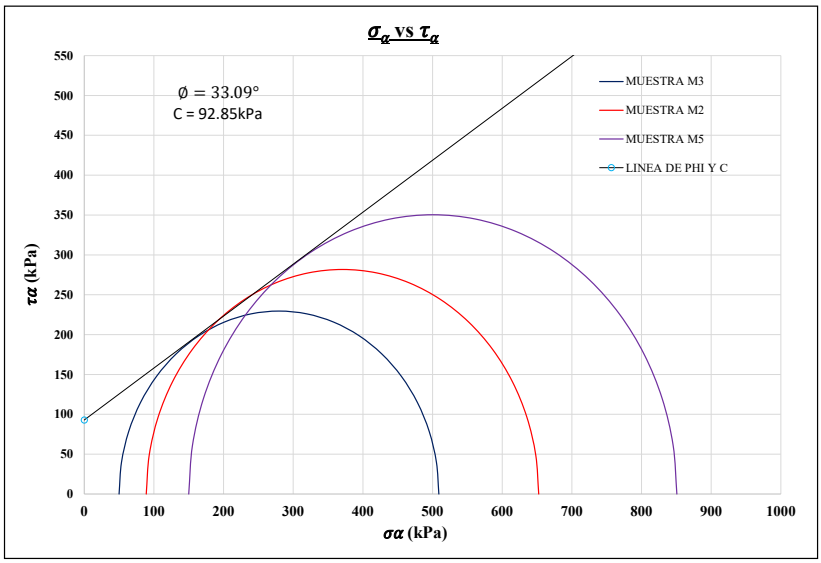
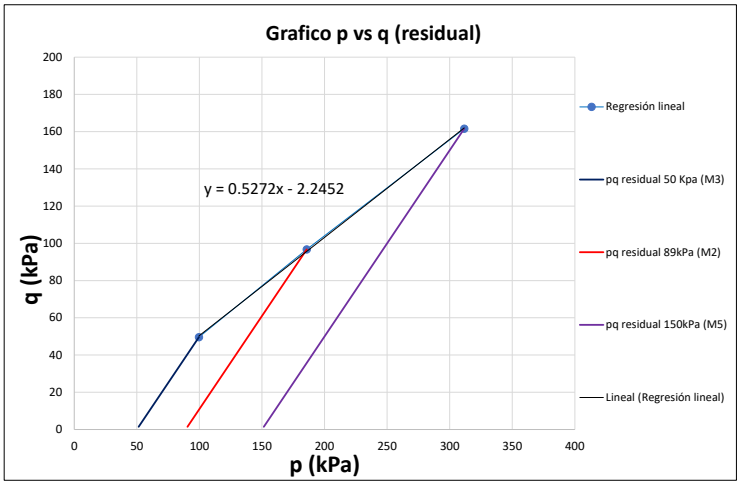


DIAGRAMA P VS Q PARA HALLAR LOS PARAMETROS DE CORTE RESIDUAL PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5



$q = a + p * \tan(\alpha)$

- $\phi = arcsen(\tan(\alpha))$
- $c = \frac{a}{\cos(\phi)}$

$\Leftrightarrow$

$q = p * sin(\phi) + c * \cos(\phi)$

- $\sin(\phi) = (\tan(\alpha))$
- $a = c * cos(\phi)$

	p max residual	q max residual
Muestra M3	99.6	49.6
Muestra M2	185.8	96.8
Muestra M5	311.6	161.6

tan (α)		PARAMETROS DE CORTE RESIDUAL	
0.527155804			
a	ϕ (rad)	ϕ °	c kPa
-2.245	0.555	31.81	0.00

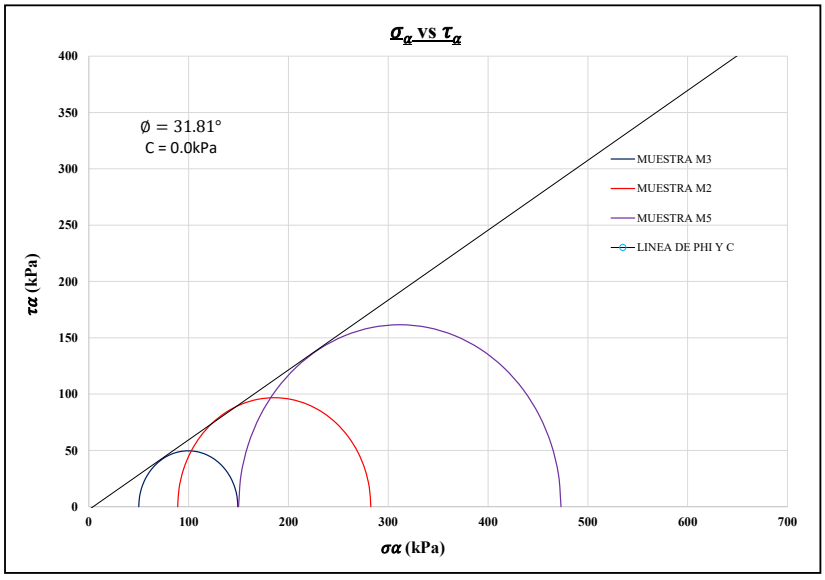
$\theta = 45° + \frac{\varphi}{2}$

Angulo de falla:	θ°	60.91
	θ (Rad)	1.06

Para hallar los circulos de Mohr se usaran las dos siguientes ecuaciones donde α' es el angulo que va de 0° a 180°:

$$\sigma_\alpha = \text{pmax resdual} - \text{qmax residual} \cdot cos(\alpha')$$
$$\tau_\alpha = qmax\ residual \cdot sen(\alpha')$$

CIRCULOS DE MORH Y PARAMETROS DE RESISTENCIA RESIDUAL DE MUESTRAS M3-M2-M5



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

OBTENCION DEL MODULO DE ELASTICIDAD AL 50% DE ESFUERZO MAXIMO PARA LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION SIN CARGA DESCARGA M3 - M2 - M5

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

PARA LA CURVA M3 (50kPa)

σmax (kN/m2)	Def para σmax (%)
459.044	1.152

σmax/2 (kN/m2)	Def para σmax/2 (%)
229.522	0.00498

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}\,(\sigma_{max}/2)}{\varepsilon_{50\%}}$$

E50 (Kn/M2) - M3
46088.753

PARA LA CURVA M2 (89kPa)

σmax (kN/m2)	Def para σmax (%)
563.409	1.345

σmax/2 (kN/m2)	Def para σmax/2 (%)
281.704	0.00633

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}\,(\sigma_{max}/2)}{\varepsilon_{50\%}}$$

E50 (Kn/M2) - M2
44503.046

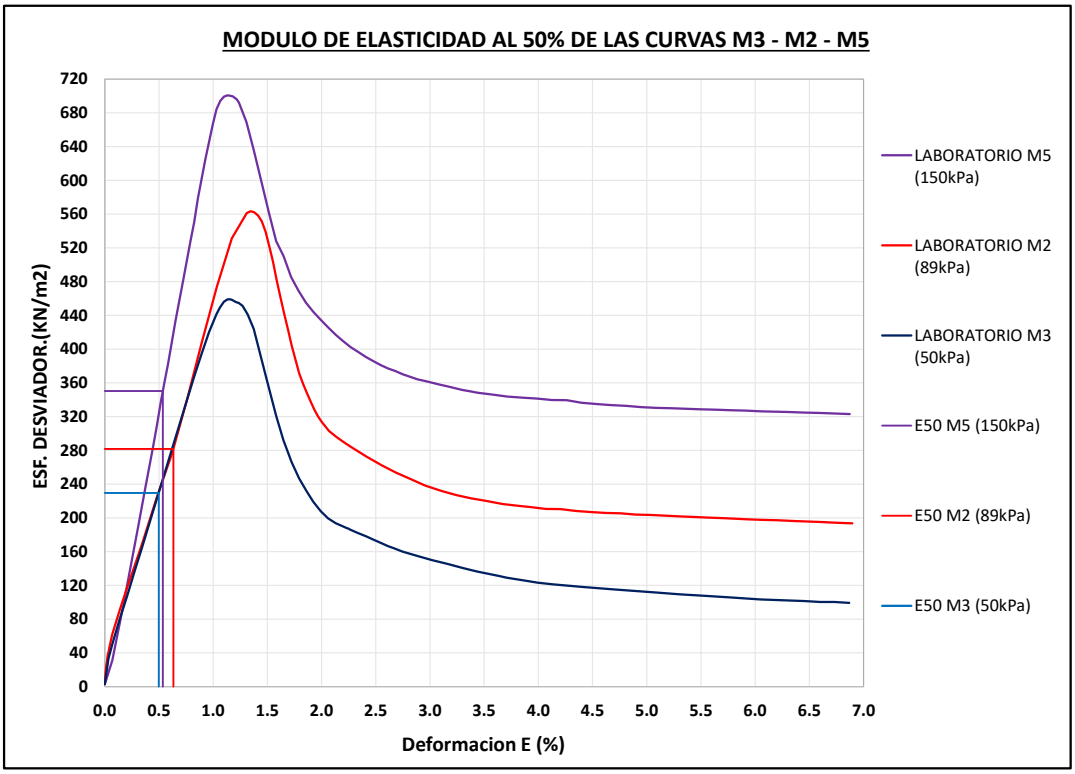
PARA LA CURVA M5 (150kPa)

σmax (kN/m2)	Def para σmax (%)
700.721	1.132

σmax/2 (kN/m2)	Def para σmax/2 (%)
350.360	0.00536

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}\,(\sigma_{max}/2)}{\varepsilon_{50\%}}$$

E50 (Kn/M2) - M5
65426.784



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

OBTENCION DE LA RELACION DE POISSON Y ANGULO DE DILATANCIA PARA M3 - M2 - M5

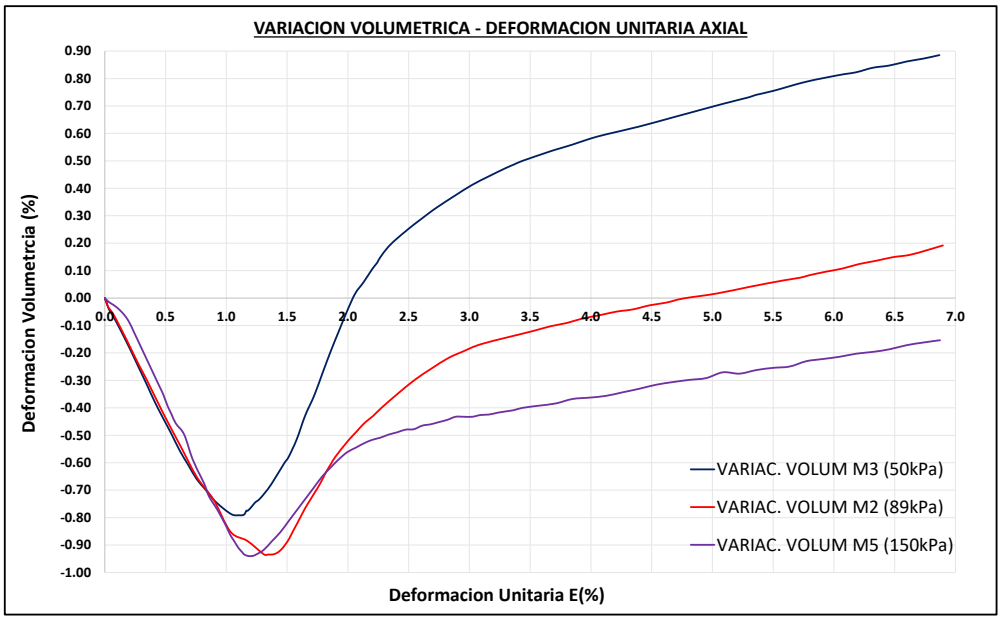
PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M3 - M2 - M5 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

CURVAS DE VARIACION VOLUMETRICA DE MUESTRAS M3-M2-M5



VALORES DE VARIACION VOLUMETRICA PICO MAS BAJO DE LABORATORIO

DE LABORATORIO DE CURVA VOLUM. M3	
Deform (%)	Valor PICO (%)
1.099	-0.791

DE LABORATORIO DE CURVA VOLUM. M2	
Deform (%)	Valor PICO (%)
1.345	-0.934

DE LABORATORIO DE CURVA VOLUM. M5	
Deform (%)	Valor PICO (%)
1.182	-0.940

$$v = \frac{1}{2} * (1 - \frac{Ev}{Ex})$$

Relacion de Poisson M3	
Ev	0.00791
Ex	0.01099
v	0.1399

Relacion de Poisson M2	
Ev	0.00934
Ex	0.01345
v	0.1526

Relacion de Poisson M5	
Ev	0.00940
Ex	0.01182
v	0.1024

$$sen(\psi) = \frac{a}{2+a} \quad ; \quad a = \frac{\Delta Ev\ (variacion\ Volumetrica)}{\Delta Ex\ (Deformacion\ Unitaria)}$$

Angulo de Dilatancia M3	
Ev	Ex
-0.5144	1.5797
-0.4286	1.6484
0.0857	0.0687
a	1.248
Seno (Ang. Dilatancia)	0.384
Ang. Dilatancia	22.599 Grados

Angulo de Dilatancia M2	
Ev	Ex
-0.8765	1.5172
-0.8467	1.5517
0.0298	0.0345
a	0.863
Seno (Ang. Dilatancia)	0.301
Ang. Dilatancia	17.55 Grados

Angulo de Dilatancia M5	
Ev	Ex
-0.8537	1.4433
-0.8132	1.5120
0.0405	0.0687
a	0.589
Seno (Ang. Dilatancia)	0.228
Ang. Dilatancia	13.154 Grados

ANEXO A8

ENSAYO DE CORTE TRIAXIAL

MUESTRAS M4, M1 Y M6

(CON CARGA – DESCARGA)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M4 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 03/10/2024
Hoja Nro: 1

ETAPA DE SATURACION - MUESTRA M4

	INICIAL		FINAL	
PRESION DE CELDA (CP)	40	kPa	260	kPa
CONTRA PRESION (BP)	20	kPa	240	kPa
DIFERENCIA DE PRESION INICIAL	20	kPa	20	kPa
INCREMENTO DE PRESION	20	kPa	20	kPa

Peso de M2	1177.35	gr
Diametro M2	7.27	cm
Altura M2	14.45	cm

Fecha Inicial:	03/10/2024
Hora Inicial:	08:39am
Delta Tiempo para Au:	+-10min

Nro de Incrementos	Tiempo	Valvula (CP)	Presion de Celda (CP)	Valvula (BP)	Contra Presion (BP)	Presion de Poros (u)	Diferencia entre CP Y BP	Cambio en la Presion de Celda (CP)	Cambio en la Presion de Poros (Au)	Parametro de Skempton (B)
			kPa		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	$B(\%)=\frac{\Delta u}{\Delta CP}$
		ABIERTA	**40**	ABIERTA	**20**		20			
Incremento 01	08:39am- 08:49am	ABIERTA	40	CERRADA	20	18		20	5	**0.25**
03/10/24	08:50am- 09:00am	ABIERTA	60	CERRADA	20	23				
	09:05am	ABIERTA	**60**	ABIERTA	**40**		20			
		ABIERTA	**60**	ABIERTA	**40**		20			
Incremento 02	08:35am- 08:45am	ABIERTA	60	CERRADA	40	40		20	5	**0.25**
09/10/24	08:47am- 08:58am	ABIERTA	80	CERRADA	40	45				
	09:00am	ABIERTA	**80**	ABIERTA	**60**		20			
		ABIERTA	**80**	ABIERTA	**60**		20			
Incremento 03	13:30Pm- 13:40Pm	ABIERTA	80	CERRADA	60	60		20	7	**0.35**
09/10/24	13:43Pm- 13:55Pm	ABIERTA	100	CERRADA	60	67				
	13:59Pm	ABIERTA	**100**	ABIERTA	**80**		20			
		ABIERTA	**100**	ABIERTA	**80**		20			
Incremento 04	08:12am- 08:22am	ABIERTA	100	CERRADA	80	80		20	7	**0.35**
10/10/24	08:23am- 08:34am	ABIERTA	120	CERRADA	80	87				
	08:38am	ABIERTA	**120**	ABIERTA	**100**		20			
		ABIERTA	**120**	ABIERTA	**100**		20			
Incremento 05	08:21am- 08:31am	ABIERTA	120	CERRADA	100	100		20	7	**0.35**
11/10/24	08:50am- 09:00am	ABIERTA	140	CERRADA	100	107				
	09:05am	ABIERTA	**140**	ABIERTA	**120**		20			
		ABIERTA	**140**	ABIERTA	**120**		20			
Incremento 06	13:36pm- 13:46pm	ABIERTA	140	CERRADA	120	118		20	13	**0.65**
11/10/24	13:47pm- 13:57pm	ABIERTA	160	CERRADA	120	131				
	14:00pm	ABIERTA	**160**	ABIERTA	**140**		20			
		ABIERTA	**160**	ABIERTA	**140**		20			
Incremento 07	08:05am- 08:15am	ABIERTA	160	CERRADA	140	140		20	15	**0.75**
14/10/24	08:16am- 08:26am	ABIERTA	180	CERRADA	140	155				
	08:44am	ABIERTA	**180**	ABIERTA	**160**		20			
		ABIERTA	**180**	ABIERTA	**160**		20			
Incremento 08	13:39pm- 13:49pm	ABIERTA	180	CERRADA	160	160		20	15	**0.75**
14/10/24	13:50pm- 14:00pm	ABIERTA	200	CERRADA	160	175				
	14:00pm	ABIERTA	**200**	ABIERTA	**180**		20			
		ABIERTA	**200**	ABIERTA	**180**		20			
Incremento 09	08:30am- 08:40am	ABIERTA	200	CERRADA	180	180		20	15	**0.75**
15/10/24	08:42am- 08:55am	ABIERTA	220	CERRADA	180	195				
	09:04am	ABIERTA	**220**	ABIERTA	**200**		20			
		ABIERTA	**220**	ABIERTA	**200**		20			
Incremento 10	08:25am- 08:35am	ABIERTA	220	CERRADA	200	200		20	16	**0.80**
16/10/24	08:40am- 08:50am	ABIERTA	240	CERRADA	200	216				
	08:56am	ABIERTA	**240**	ABIERTA	**220**		20			
		ABIERTA	**240**	ABIERTA	**200**		40			
Incremento 11	13:36pm- 13:47pm	ABIERTA	240	CERRADA	220	222		20	19	**0.95**
18/10/24	13:48pm- 13:58pm	ABIERTA	260	CERRADA	220	241				
	14:00pm	ABIERTA	**260**	ABIERTA	**240**		20			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M4 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 21/10/2024
Hoja Nro: 2

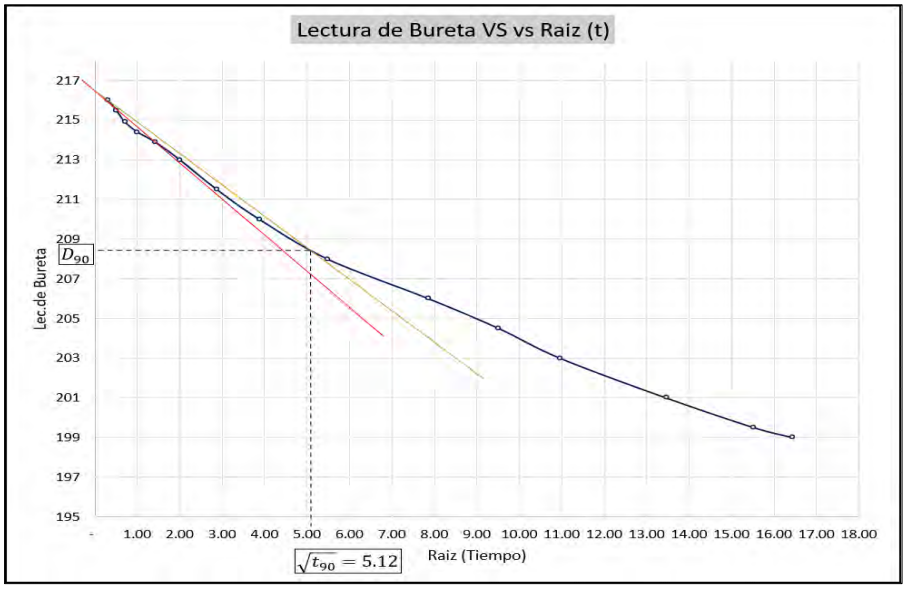
CONSOLIDACION DE MUESTRA M4

Fecha 21/10/24				Cte de Bureta:	0.1	ml
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml	Raiz (Tiempo)
290	240		0	221.5	22.15	-
			0.1	216	21.6	0.32
			0.25	215.5	21.55	0.50
			0.5	214.9	21.49	0.71
			1	214.4	21.44	1.00
			2	213.9	21.39	1.41
			4	213	21.3	2.00
			8.25	211.5	21.15	2.87
			15	210	21	3.87
			30	208	20.8	5.48
		1:01hr	61.8	206	20.6	7.86
			90.5	204.5	20.45	9.51
		2:00 hr	120	203	20.3	10.95
			181	201	20.1	13.45
		4:01 hr	241	199.5	19.95	15.52
			270	199	19.9	16.43

Fecha 22/10/24					
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml
290	240	24hrs		208	20.8

Por lo tanto se termino de consolidar en 208 de Lec de Bureta

Y para el corte se dio con CP=290kPa, BP=240kPa



De acuerdo a lo obtenido en el grafico - Lec. de bureta VS Raiz(t)-

$$\sqrt{t_{90}} = 5.12 \quad \Rightarrow \quad t_{90} = 5.12^2$$

Para hallar la Velocidad de Corte se usaran dos formulas:

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{(Tiempo\ de\ corte\ estimado(min))} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(144.5mm)}{4.5 * (60min)} = 0.0214mm/min$$

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{16 * (t_{90})} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(144.5mm)}{16 * (5.12^2)} = 0.0138mm/min$$

$$Promediando\ Velocidad\ de\ corte: \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{0.0214 + 0.0138}{2} = 0.0176mm/min$$

Por recomendación se usara una velocidad de 0.015mm/min donde la disipacion de poros sera muy pequeña

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M4
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 3

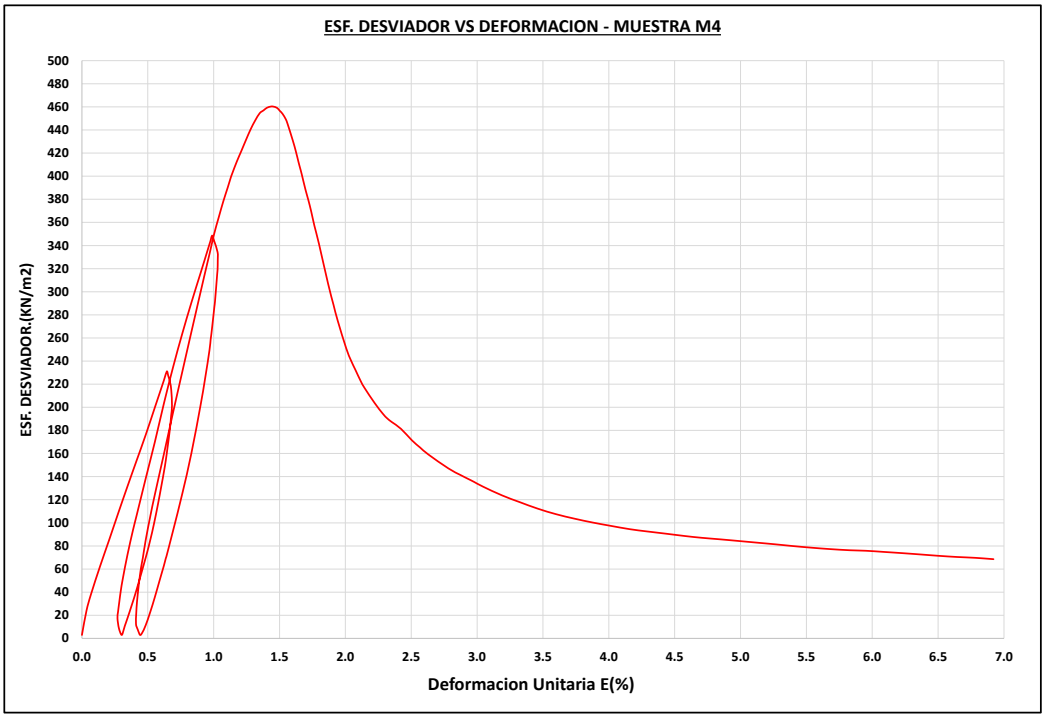
Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 22/10/2024 - 23/10/24

CURVA- ESFUERZO DEFORMACION M4

Estado:	Muestra Inalterada		Condicion:	CON CARGA-DESCARGA			
Altura Inicial	0.1445	m	Lec. Bureta Inicial	221.5		Variacion Volumetrica (ml)	1.35 ml
Diametro	0.0727	m	Lec. Bureta Final	208			0.00135 litros
Area Ao	0.0042	m2	Contenido de Humedad	30.58%			0.00000135 m3
Volumen Vo	0.0006	m3	Peso Humedo	1177.35	gr		
Area Ac	0.0041	m2	Peso Volum. Humedo	1.963	gr/cm3	Presion de Celda	290 Kpa
			Peso Seco	898.62	gr	Contrapresion	240 Kpa
Velocidad	0.015	mm/min	Peso Volum. Seco	1.498	gr/cm3	Presion Efectiva de Cofinamiento σ'_3	50 Kpa
Parametro B	0.95						
Cte de anillo de carga(kgf)=	$y = 0.4039X + 1.2422$						

	LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
carga	0	0.00	0	1.24	0.0122	0.00E+00	0.0000	0.00414	2.94
	5	0.05	22	10.13	0.0994	3.46E-04	0.0346	0.00414	23.98
	10	0.10	37	16.19	0.1588	6.92E-04	0.0692	0.00414	38.31
	20	0.20	62.5	26.49	0.2598	1.38E-03	0.1384	0.00415	62.65
	30	0.30	86.5	36.18	0.3549	2.08E-03	0.2076	0.00415	85.52
	40	0.40	111	46.08	0.4520	2.77E-03	0.2768	0.00415	108.83
	50	0.50	135	55.77	0.5471	3.46E-03	0.3460	0.00416	131.64
	60	0.60	158.5	65.26	0.6402	4.15E-03	0.4152	0.00416	153.93
	70	0.70	182	74.75	0.7333	4.84E-03	0.4844	0.00416	176.20
	80	0.80	207	84.85	0.8324	5.54E-03	0.5536	0.00416	199.86
	90	0.90	232	94.95	0.9314	6.23E-03	0.6228	0.00417	223.49
	93.1	0.93	240	98.18	0.9631	6.44E-03	0.6443	0.00417	231.05
descarga	94.7	0.95	236	96.56	0.9473	6.55E-03	0.6554	0.00417	227.22
	96.7	0.97	230	94.14	0.9235	6.69E-03	0.6692	0.00417	221.48
	98	0.98	223	91.31	0.8958	6.78E-03	0.6782	0.00417	214.81
	98.8	0.99	209	85.66	0.8403	6.84E-03	0.6837	0.00417	201.50
	97.9	0.98	200	82.02	0.8046	6.78E-03	0.6775	0.00417	192.96
	96.8	0.97	190	77.98	0.7650	6.70E-03	0.6699	0.00417	183.47
	95.4	0.95	180	73.94	0.7254	6.60E-03	0.6602	0.00417	173.99
	93.8	0.94	170	69.91	0.6858	6.49E-03	0.6491	0.00417	164.50
	92	0.92	159	65.46	0.6422	6.37E-03	0.6367	0.00417	154.07
	90	0.90	148.8	61.34	0.6018	6.23E-03	0.6228	0.00417	144.39
	87	0.87	135	55.77	0.5471	6.02E-03	0.6021	0.00417	131.30
	83.4	0.83	119	49.31	0.4837	5.77E-03	0.5772	0.00417	116.11
	79	0.79	101	42.04	0.4124	5.47E-03	0.5467	0.00416	99.02
	75	0.75	86.5	36.18	0.3549	5.19E-03	0.5190	0.00416	85.25
	70	0.70	70.4	29.68	0.2911	4.84E-03	0.4844	0.00416	69.95
	60	0.60	41.3	17.92	0.1758	4.15E-03	0.4152	0.00416	42.28
	55	0.55	28	12.55	0.1231	3.81E-03	0.3806	0.00416	29.62
	50	0.50	15.3	7.42	0.0728	3.46E-03	0.3460	0.00416	17.52
	47	0.47	8.1	4.51	0.0443	3.25E-03	0.3253	0.00416	10.66
	45.9	0.46	5	3.26	0.0320	3.18E-03	0.3176	0.00415	7.70
	43.6	0.44	0	1.24	0.0122	3.02E-03	0.3017	0.00415	2.93
recarga	40.6	0.41	6	3.67	0.0360	2.81E-03	0.2810	0.00415	8.66
	39	0.39	15	7.30	0.0716	2.70E-03	0.2699	0.00415	17.25
	39.6	0.40	21	9.72	0.0954	2.74E-03	0.2740	0.00415	22.97
	41	0.41	30	13.36	0.1311	2.84E-03	0.2837	0.00415	31.55
	42.6	0.43	40	17.40	0.1707	2.95E-03	0.2948	0.00415	41.09
	45	0.45	51.8	22.16	0.2174	3.11E-03	0.3114	0.00415	52.33
	50	0.50	73	30.73	0.3014	3.46E-03	0.3460	0.00416	72.53
	56	0.56	95.2	39.69	0.3894	3.88E-03	0.3875	0.00416	93.65
	60	0.60	108.6	45.11	0.4425	4.15E-03	0.4152	0.00416	106.39
	70	0.70	142.4	58.76	0.5764	4.84E-03	0.4844	0.00416	138.50
	80	0.80	175.6	72.17	0.7080	5.54E-03	0.5536	0.00416	169.99
	90	0.90	211	86.47	0.8482	6.23E-03	0.6228	0.00417	203.52
	100	1.00	244	99.79	0.9790	6.92E-03	0.6920	0.00417	234.73
	110	1.10	274.5	112.11	1.0998	7.61E-03	0.7612	0.00417	263.53
	120	1.20	303	123.62	1.2128	8.30E-03	0.8304	0.00418	290.38
	130	1.30	330	134.53	1.3197	9.00E-03	0.8997	0.00418	315.78
	135	1.35	343.6	140.02	1.3736	9.34E-03	0.9343	0.00418	328.56
	141	1.41	360	146.65	1.4386	9.76E-03	0.9758	0.00418	343.95
	142.8	1.43	365	148.67	1.4584	9.88E-03	0.9882	0.00418	348.65
descarga	145.1	1.45	360	146.65	1.4386	1.00E-02	1.0042	0.00418	343.86
	148.8	1.49	350	142.61	1.3990	1.03E-02	1.0298	0.00418	334.30
	149	1.49	342.6	139.62	1.3697	1.03E-02	1.0311	0.00418	327.29
	148.8	1.49	334	136.14	1.3356	1.03E-02	1.0298	0.00418	319.15
	148.4	1.48	330	134.53	1.3197	1.03E-02	1.0270	0.00418	315.37
	146	1.46	305	124.43	1.2207	1.01E-02	1.0104	0.00418	291.75
	145.3	1.45	300	122.41	1.2009	1.01E-02	1.0055	0.00418	287.03
	144	1.44	290	118.37	1.1612	9.97E-03	0.9965	0.00418	277.58
	142	1.42	275	112.31	1.1018	9.83E-03	0.9827	0.00418	263.41
	141.2	1.41	270	110.30	1.0820	9.77E-03	0.9772	0.00418	258.69
	139.9	1.40	260	106.26	1.0424	9.68E-03	0.9682	0.00418	249.24
	135	1.35	233.6	95.59	0.9378	9.34E-03	0.9343	0.00418	224.31
	130	1.30	209.1	85.70	0.8407	9.00E-03	0.8997	0.00418	201.16
	120	1.20	165.5	68.09	0.6679	8.30E-03	0.8304	0.00418	159.93
	110	1.10	128.5	53.14	0.5213	7.61E-03	0.7612	0.00417	124.92
	100	1.00	95.1	39.65	0.3890	6.92E-03	0.6920	0.00417	93.27
	93	0.93	72.5	30.52	0.2994	6.44E-03	0.6436	0.00417	71.84
	92.5	0.93	71	29.92	0.2935	6.40E-03	0.6401	0.00417	70.41
	91.9	0.92	69.5	29.31	0.2876	6.36E-03	0.6360	0.00417	68.99
	90	0.90	63.4	26.85	0.2634	6.23E-03	0.6228	0.00417	63.20
	88.4	0.88	58.8	24.99	0.2452	6.12E-03	0.6118	0.00417	58.83
	85	0.85	49	21.03	0.2063	5.88E-03	0.5882	0.00417	49.53
	80	0.80	34.5	15.18	0.1489	5.54E-03	0.5536	0.00416	35.75
	75	0.75	21	9.72	0.0954	5.19E-03	0.5190	0.00416	22.91
	70	0.70	9	4.88	0.0478	4.84E-03	0.4844	0.00416	11.50
	66.1	0.66	2	2.05	0.0201	4.57E-03	0.4574	0.00416	4.83
	63.8	0.64	0	1.24	0.0122	4.42E-03	0.4415	0.00416	2.93

	LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
recarga	61.2	0.61	5	3.26	0.0320	4.24E-03	0.4235	0.00416	7.69
	59.3	0.59	10	5.28	0.0518	4.10E-03	0.4104	0.00416	12.46
	59.6	0.60	20	9.32	0.0914	4.12E-03	0.4125	0.00416	21.98
	60.4	0.60	30	13.36	0.1311	4.18E-03	0.4180	0.00416	31.51
	62	0.62	43	18.61	0.1826	4.29E-03	0.4291	0.00416	43.89
	63	0.63	50	21.44	0.2103	4.36E-03	0.4360	0.00416	50.55
	64.8	0.65	61	25.88	0.2539	4.48E-03	0.4484	0.00416	61.02
	66.8	0.67	70	29.52	0.2895	4.62E-03	0.4623	0.00416	69.59
	70	0.70	86.5	36.18	0.3549	4.84E-03	0.4844	0.00416	85.28
	75	0.75	108	44.86	0.4401	5.19E-03	0.5190	0.00416	105.71
	80	0.80	127.8	52.86	0.5186	5.54E-03	0.5536	0.00416	124.51
	90	0.90	165	67.89	0.6660	6.23E-03	0.6228	0.00417	159.79
	100	1.00	202.8	83.15	0.8157	6.92E-03	0.6920	0.00417	195.59
	110	1.10	239.6	98.02	0.9615	7.61E-03	0.7612	0.00417	230.39
	120	1.20	276.2	112.80	1.1066	8.30E-03	0.8304	0.00418	264.96
	134	1.34	327	133.32	1.3078	9.27E-03	0.9273	0.00418	312.85
	140	1.40	348.2	141.88	1.3918	9.69E-03	0.9689	0.00418	332.80
	145	1.45	366.4	149.23	1.4640	1.00E-02	1.0035	0.00418	349.92
	150	1.50	381.6	155.37	1.5242	1.04E-02	1.0381	0.00419	364.19
	155.1	1.55	396.6	161.43	1.5836	1.07E-02	1.0734	0.00419	378.25
	160	1.60	409.5	166.64	1.6347	1.11E-02	1.1073	0.00419	390.33
	163	1.63	417.8	169.99	1.6676	1.13E-02	1.1280	0.00419	398.10
	165	1.65	422.6	171.93	1.6866	1.14E-02	1.1419	0.00419	402.58
	170	1.70	433.6	176.37	1.7302	1.18E-02	1.1765	0.00419	412.84
	175	1.75	443.5	180.37	1.7694	1.21E-02	1.2111	0.00419	422.05
	180	1.80	453.6	184.45	1.8095	1.25E-02	1.2457	0.00419	431.45
	185	1.85	463.3	188.37	1.8479	1.28E-02	1.2803	0.00420	440.46
	190	1.90	471.6	191.72	1.8808	1.31E-02	1.3149	0.00420	448.14
	195	1.95	478.5	194.51	1.9081	1.35E-02	1.3495	0.00420	454.49
	198.8	1.99	481	195.52	1.9180	1.38E-02	1.3758	0.00420	456.73
	200	2.00	481.8	195.84	1.9212	1.38E-02	1.3841	0.00420	457.45
	203	2.03	483.8	196.65	1.9291	1.40E-02	1.4048	0.00420	459.24
Pico	207	2.07	485	197.13	1.9339	1.43E-02	1.4325	0.00420	460.239
	210	2.10	485.1	197.17	1.9343	1.45E-02	1.4533	0.00420	460.24
	214.1	2.14	484	196.73	1.9299	1.48E-02	1.4817	0.00420	459.07
	217	2.17	481.5	195.72	1.9200	1.50E-02	1.5017	0.00420	456.62
	220	2.20	478.9	194.67	1.9097	1.52E-02	1.5225	0.00421	454.07
	223.6	2.24	474	192.69	1.8903	1.55E-02	1.5474	0.00421	449.34
	225.5	2.26	470	191.08	1.8744	1.56E-02	1.5606	0.00421	445.52
	231.2	2.31	455	185.02	1.8150	1.60E-02	1.6000	0.00421	431.22
	234.6	2.35	445	180.98	1.7754	1.62E-02	1.6235	0.00421	421.70
	237.6	2.38	435	176.94	1.7358	1.64E-02	1.6443	0.00421	412.20
	239.2	2.39	430	174.92	1.7160	1.66E-02	1.6554	0.00421	407.45
	241.1	2.41	424	172.50	1.6922	1.67E-02	1.6685	0.00421	401.75
	245.2	2.45	410	166.84	1.6367	1.70E-02	1.6969	0.00421	388.47
	248.5	2.49	400	162.80	1.5971	1.72E-02	1.7197	0.00421	378.98
	251.5	2.52	390	158.76	1.5575	1.74E-02	1.7405	0.00422	369.50
	255	2.55	377	153.51	1.5060	1.76E-02	1.7647	0.00422	357.19
	260	2.60	360.5	146.85	1.4406	1.80E-02	1.7993	0.00422	341.56
	270	2.70	324	132.11	1.2960	1.87E-02	1.8685	0.00422	307.06
	276	2.76	304.5	124.23	1.2187	1.91E-02	1.9100	0.00422	288.63
	280.6	2.81	290	118.37	1.1612	1.94E-02	1.9419	0.00422	274.93
	290	2.90	264.5	108.07	1.0602	2.01E-02	2.0069	0.00423	250.84
	295	2.95	253.9	103.79	1.0182	2.04E-02	2.0415	0.00423	240.82
	300	3.00	245	100.20	0.9829	2.08E-02	2.0761	0.00423	232.40
	306	3.06	234.4	95.92	0.9409	2.12E-02	2.1176	0.00423	222.37
	310	3.10	228.5	93.53	0.9176	2.15E-02	2.1453	0.00423	216.79
	321	3.21	214.8	88.00	0.8633	2.22E-02	2.2215	0.00424	203.80
	330	3.30	205	84.04	0.8244	2.28E-02	2.2837	0.00424	194.51
	335	3.35	200.6	82.26	0.8070	2.32E-02	2.3183	0.00424	190.33
	340	3.40	197.3	80.93	0.7939	2.35E-02	2.3529	0.00424	187.18
	350	3.50	191.2	78.47	0.7698	2.42E-02	2.4221	0.00424	181.36
	362	3.62	180.7	74.23	0.7282	2.51E-02	2.5052	0.00425	171.41
	371	3.71	174.1	71.56	0.7020	2.57E-02	2.5675	0.00425	165.15
	380	3.80	167.8	69.02	0.6771	2.63E-02	2.6298	0.00425	159.17
	402	4.02	155.1	63.89	0.6267	2.78E-02	2.7820	0.00426	147.11
	415	4.15	149.2	61.50	0.6034	2.87E-02	2.8720	0.00426	141.49
	425	4.25	145	59.81	0.5867	2.94E-02	2.9412	0.00427	137.49
	430	4.30	142.9	58.96	0.5784	2.98E-02	2.9758	0.00427	135.49
	440	4.40	138.5	57.18	0.5610	3.04E-02	3.0450	0.00427	131.32
	461	4.61	130.5	53.95	0.5293	3.19E-02	3.1903	0.00428	123.71
	480	4.80	124.5	51.53	0.5055	3.32E-02	3.3218	0.00428	117.99
	500	5.00	118.5	49.10	0.4817	3.46E-02	3.4602	0.00429	112.28
	520	5.20	113.5	47.08	0.4619	3.60E-02	3.5986	0.00430	107.51
	540	5.40	109.5	45.47	0.4461	3.74E-02	3.7370	0.00430	103.67
	560	5.60	106	44.06	0.4322	3.88E-02	3.8754	0.00431	100.31
	580	5.80	103	42.84	0.4203	4.01E-02	4.0138	0.00431	97.41
	601	6.01	100	41.63	0.4084	4.16E-02	4.1592	0.00432	94.51
	620	6.20	98	40.82	0.4005	4.29E-02	4.2907	0.00433	92.55
	641	6.41	96	40.02	0.3926	4.44E-02	4.4360	0.00433	90.58
	661	6.61	94	39.21	0.3846	4.57E-02	4.5744	0.00434	88.62
	680	6.80	92.4	38.56	0.3783	4.71E-02	4.7059	0.00435	87.04
	700	7.00	91.1	38.04	0.3731	4.84E-02	4.8443	0.00435	85.73
	724	7.24	89.4	37.35	0.3664	5.01E-02	5.0104	0.00436	84.04
	742	7.42	88.1	36.83	0.3613	5.13E-02	5.1349	0.00437	82.75
	760	7.60	86.8	36.30	0.3561	5.26E-02	5.2595	0.00437	81.46
	780	7.80	85.2	35.65	0.3498	5.40E-02	5.3979	0.00438	79.89
	800	8.00	83.8	35.09	0.3442	5.54E-02	5.5363	0.00438	78.51
	820	8.20	82.6	34.60	0.3395	5.67E-02	5.6747	0.00439	77.31
	842	8.42	81.6	34.20	0.3355	5.83E-02	5.8270	0.00440	76.29
	860	8.60	81.2	34.04	0.3339	5.95E-02	5.9516	0.00440	75.83
	880	8.80	80.2	33.63	0.3300	6.09E-02	6.0900	0.00441	74.82
	901	9.01	79.1	33.19	0.3256	6.24E-02	6.2353	0.00442	73.71
	920	9.20	78	32.75	0.3212	6.37E-02	6.3668	0.00442	72.62
	940	9.40	76.8	32.26	0.3165	6.51E-02	6.5052	0.00443	71.44
	960	9.60	75.8	31.86	0.3125	6.64E-02	6.6436	0.00444	70.44
	980	9.80	75.1	31.58	0.3098	6.78E-02	6.7820	0.00444	69.72
	1000	10.00	73.9	31.09	0.3050	6.92E-02	6.9204	0.00445	68.54


ESF. DESVIADOR VS DEFORMACION - MUESTRA M4
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M4
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 4

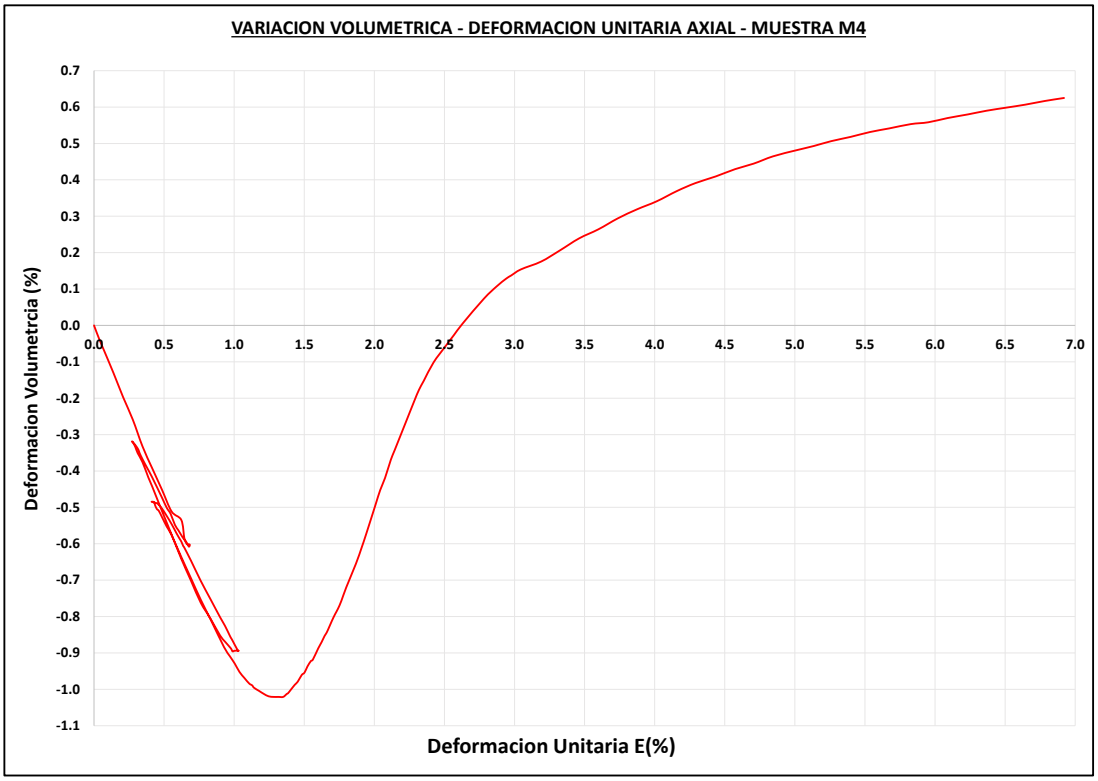
Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 22/10/2024 - 23/10/24

CURVA VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M4

ALTURA INICIAL	0.1445	m	
CTE. BURETA BASE(ml):	0.1	Volumen inicial Vc (cm3):	598.478

	LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
carga	0	150	240	0	0	0.000	0.000	0.000
	5	147.9	240	2.1	0.21	-0.210	-0.035	0.035
	10	146	240	4	0.4	-0.400	-0.067	0.069
	20	142.2	240	7.8	0.78	-0.780	-0.130	0.138
	30	138.2	240	11.8	1.18	-1.180	-0.197	0.208
	40	134.5	240	15.5	1.55	-1.550	-0.259	0.277
	50	130.1	240	19.9	1.99	-1.990	-0.333	0.346
	60	126.5	240	23.5	2.35	-2.350	-0.393	0.415
	70	123	240	27	2.7	-2.700	-0.451	0.484
	80	119.4	240	30.6	3.06	-3.060	-0.511	0.554
	90	118	240	32	3.2	-3.200	-0.535	0.623
	93.1	115	240	35	3.5	-3.500	-0.585	0.644
descarga	94.7	114.5	240	35.5	3.55	-3.550	-0.593	0.655
	96.7	114	240	36	3.6	-3.600	-0.602	0.669
	98	114	240	36	3.6	-3.600	-0.602	0.678
	98.8	113.9	240	36.1	3.61	-3.610	-0.603	0.684
	97.9	113.6	240	36.4	3.64	-3.640	-0.608	0.678
	96.8	113.9	240	36.1	3.61	-3.610	-0.603	0.670
	95.4	114.1	240	35.9	3.59	-3.590	-0.600	0.660
	93.8	114.6	240	35.4	3.54	-3.540	-0.592	0.649
	92	115	240	35	3.5	-3.500	-0.585	0.637
	90	115.5	240	34.5	3.45	-3.450	-0.576	0.623
	87	116.3	240	33.7	3.37	-3.370	-0.563	0.602
	83.4	117.2	240	32.8	3.28	-3.280	-0.548	0.577
	79	119	240	31	3.1	-3.100	-0.518	0.547
	75	120	240	30	3	-3.000	-0.501	0.519
	70	121.7	240	28.3	2.83	-2.830	-0.473	0.484
	60	125	240	25	2.5	-2.500	-0.418	0.415
	55	126.5	240	23.5	2.35	-2.350	-0.393	0.381
	50	128	240	22	2.2	-2.200	-0.368	0.346
	47	129	240	21	2.1	-2.100	-0.351	0.325
	45.9	129.5	240	20.5	2.05	-2.050	-0.343	0.318
	43.6	130.1	240	19.9	1.99	-1.990	-0.333	0.302
recarga	40.6	130.7	240	19.3	1.93	-1.930	-0.322	0.281
	39	130.9	240	19.1	1.91	-1.910	-0.319	0.270
	39.6	130.9	240	19.1	1.91	-1.910	-0.319	0.274
	41	130.5	240	19.5	1.95	-1.950	-0.326	0.284
	42.6	130	240	20	2	-2.000	-0.334	0.295
	45	129	240	21	2.1	-2.100	-0.351	0.311
	50	127.5	240	22.5	2.25	-2.250	-0.376	0.346
	56	125	240	25	2.5	-2.500	-0.418	0.388
	60	123.5	240	26.5	2.65	-2.650	-0.443	0.415
	70	119.5	240	30.5	3.05	-3.050	-0.510	0.484
	80	115.6	240	34.4	3.44	-3.440	-0.575	0.554
	90	111.6	240	38.4	3.84	-3.840	-0.642	0.623
	100	108	240	42	4.2	-4.200	-0.702	0.692
	110	104.4	240	45.6	4.56	-4.560	-0.762	0.761
	120	101.8	240	48.2	4.82	-4.820	-0.805	0.830
	130	99	240	51	5.1	-5.100	-0.852	0.900
	135	98	240	52	5.2	-5.200	-0.869	0.934
	141	96.9	240	53.1	5.31	-5.310	-0.887	0.976
	142.8	96.4	240	53.6	5.36	-5.360	-0.896	0.988
descarga	145.1	96.5	240	53.5	5.35	-5.350	-0.894	1.004
	148.8	96.5	240	53.5	5.35	-5.350	-0.894	1.030
	149	96.5	240	53.5	5.35	-5.350	-0.894	1.031
	148.8	96.5	240	53.5	5.35	-5.350	-0.894	1.030
	148.4	96.5	240	53.5	5.35	-5.350	-0.894	1.027
	146	97.2	240	52.8	5.28	-5.280	-0.882	1.010
	145.3	97.4	240	52.6	5.26	-5.260	-0.879	1.006
	144	97.8	240	52.2	5.22	-5.220	-0.872	0.997
	142	98.4	240	51.6	5.16	-5.160	-0.862	0.983
	141.2	98.6	240	51.4	5.14	-5.140	-0.859	0.977
	139.9	99	240	51	5.1	-5.100	-0.852	0.968
	135	100.6	240	49.4	4.94	-4.940	-0.825	0.934
	130	102	240	48	4.8	-4.800	-0.802	0.900
	120	105	240	45	4.5	-4.500	-0.752	0.830
	110	108	240	42	4.2	-4.200	-0.702	0.761
	100	111.3	240	38.7	3.87	-3.870	-0.647	0.692
	93	113.5	240	36.52	3.65	-3.652	-0.610	0.644
	92.5	113.6	240	36.39	3.64	-3.639	-0.608	0.640
	91.9	113.7	240	36.26	3.63	-3.626	-0.606	0.636
	90	114.5	240	35.55	3.55	-3.555	-0.594	0.623
	88.4	114.9	240	35.13	3.51	-3.513	-0.587	0.612
	85	115.8	240	34.18	3.42	-3.418	-0.571	0.588
	80	117.3	240	32.68	3.27	-3.268	-0.546	0.554
	75	118.7	240	31.35	3.13	-3.135	-0.524	0.519
	70	119.9	240	30.11	3.01	-3.011	-0.503	0.484
	66.1	120.6	240	29.40	2.94	-2.940	-0.491	0.457
	63.8	120.8	240	29.20	2.92	-2.920	-0.488	0.442

	LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
recarga	61.2	120.9	240	29.10	2.91	-2.910	-0.486	0.424
	59.3	121.0	240	29.00	2.90	-2.900	-0.484	0.410
	59.6	121.0	240	29.00	2.90	-2.900	-0.484	0.412
	60.4	121.0	240	29.00	2.90	-2.900	-0.484	0.418
	62	120.9	240	29.10	2.91	-2.910	-0.486	0.429
	63	120.4	240	29.60	2.96	-2.960	-0.495	0.436
	64.8	119.8	240	30.20	3.02	-3.020	-0.505	0.448
	66.8	119.5	240	30.50	3.05	-3.050	-0.510	0.462
	70	118.5	240	31.50	3.15	-3.150	-0.526	0.484
	75	116.9	240	33.10	3.31	-3.310	-0.553	0.519
	80	115.5	240	34.50	3.45	-3.450	-0.576	0.554
	90	111.9	240	38.10	3.81	-3.810	-0.637	0.623
	100	108.4	240	41.60	4.16	-4.160	-0.695	0.692
	110	104.9	240	45.10	4.51	-4.510	-0.754	0.761
	120	101.7	240	48.30	4.83	-4.830	-0.807	0.830
	134	97.1	240	52.90	5.29	-5.290	-0.884	0.927
	140	95.6	240	54.40	5.44	-5.440	-0.909	0.969
	145	94.4	240	55.60	5.56	-5.560	-0.929	1.003
	150	93.0	240	57.00	5.70	-5.700	-0.952	1.038
	155.1	92.0	240	58.00	5.80	-5.800	-0.969	1.073
	160	91.1	240	58.90	5.89	-5.890	-0.984	1.107
	163	90.8	240	59.20	5.92	-5.920	-0.989	1.128
	165	90.4	240	59.60	5.96	-5.960	-0.996	1.142
	170	89.9	240	60.10	6.01	-6.010	-1.004	1.176
	175	89.4	240	60.60	6.06	-6.060	-1.013	1.211
	180	89.0	240	61.00	6.10	-6.100	-1.019	1.246
	185	88.9	240	61.10	6.11	-6.110	-1.021	1.280
	190	88.9	240	61.10	6.11	-6.110	-1.021	1.315
	195	88.9	240	61.10	6.11	-6.110	-1.021	1.349
	198.8	89.4	240	60.60	6.06	-6.060	-1.013	1.376
	200	89.5	240	60.50	6.05	-6.050	-1.011	1.384
	203	90.1	240	59.90	5.99	-5.990	-1.001	1.405
Pico	207	90.9	240	59.10	5.91	-5.910	-0.987	1.433
	210	91.4	240	58.60	5.86	-5.860	-0.979	1.453
	214.1	92.5	240	57.50	5.75	-5.750	-0.961	1.482
	217	92.9	240	57.10	5.71	-5.710	-0.954	1.502
	220	93.9	240	56.10	5.61	-5.610	-0.937	1.522
	223.6	94.8	240	55.20	5.52	-5.520	-0.922	1.547
	225.5	95.0	240	55.00	5.50	-5.500	-0.919	1.561
	231.2	96.9	240	53.10	5.31	-5.310	-0.887	1.600
	234.6	97.9	240	52.10	5.21	-5.210	-0.870	1.624
	237.6	98.9	240	51.10	5.11	-5.110	-0.854	1.644
	239.2	99.3	240	50.70	5.07	-5.070	-0.847	1.655
	241.1	99.9	240	50.10	5.01	-5.010	-0.837	1.669
	245.2	101.4	240	48.60	4.86	-4.860	-0.812	1.697
	248.5	102.5	240	47.50	4.75	-4.750	-0.794	1.720
	251.5	103.4	240	46.60	4.66	-4.660	-0.779	1.740
	255	104.7	240	45.30	4.53	-4.530	-0.757	1.765
	260	106.9	240	43.10	4.31	-4.310	-0.720	1.799
	270	110.8	240	39.20	3.92	-3.920	-0.655	1.869
	276	113.5	240	36.50	3.65	-3.650	-0.610	1.910
	280.6	115.7	240	34.30	3.43	-3.430	-0.573	1.942
	290	120.4	240	29.60	2.96	-2.960	-0.495	2.007
	295	122.9	240	27.10	2.71	-2.710	-0.453	2.042
	300	124.9	240	25.10	2.51	-2.510	-0.419	2.076
	306	127.9	240	22.10	2.21	-2.210	-0.369	2.118
	310	129.5	240	20.50	2.05	-2.050	-0.342	2.145
	321	133.9	240	16.10	1.61	-1.610	-0.269	2.221
	330	137.5	240	12.50	1.25	-1.250	-0.209	2.284
	335	139.4	240	10.60	1.06	-1.060	-0.177	2.318
	340	140.9	240	9.10	0.91	-0.910	-0.152	2.353
	350	143.9	240	6.10	0.61	-0.610	-0.102	2.422
	362	146.5	240	3.50	0.35	-0.350	-0.058	2.505
	371	148.4	240	1.60	0.16	-0.160	-0.027	2.567
	380	150.3	240	-0.30	-0.03	0.030	0.005	2.630
	402	154.4	240	-4.40	-0.44	0.440	0.074	2.782
	415	156.4	240	-6.40	-0.64	0.640	0.107	2.872
	425	157.7	240	-7.70	-0.77	0.770	0.129	2.941
	430	158.2	240	-8.20	-0.82	0.820	0.137	2.976
	440	159.2	240	-9.20	-0.92	0.920	0.154	3.045
	461	160.5	240	-10.50	-1.05	1.050	0.176	3.190
	480	162.3	240	-12.30	-1.23	1.230	0.206	3.322
	500	164.3	240	-14.30	-1.43	1.430	0.239	3.460
	520	165.8	240	-15.80	-1.58	1.580	0.264	3.599
	540	167.6	240	-17.60	-1.76	1.760	0.294	3.737
	560	169.1	240	-19.10	-1.91	1.910	0.319	3.875
	580	170.4	240	-20.40	-2.04	2.040	0.341	4.014
	601	172.1	240	-22.10	-2.21	2.210	0.369	4.159
	620	173.4	240	-23.40	-2.34	2.340	0.391	4.291
	641	174.5	240	-24.50	-2.45	2.450	0.409	4.436
	661	175.7	240	-25.70	-2.57	2.570	0.429	4.574
	680	176.6	240	-26.60	-2.66	2.660	0.445	4.706
	700	177.8	240	-27.80	-2.78	2.780	0.465	4.844
	724	178.8	240	-28.80	-2.88	2.880	0.481	5.010
	742	179.5	240	-29.50	-2.95	2.950	0.493	5.135
	760	180.3	240	-30.30	-3.03	3.030	0.506	5.260
	780	181.0	240	-31.00	-3.10	3.100	0.518	5.398
	800	181.8	240	-31.80	-3.18	3.180	0.531	5.536
	820	182.4	240	-32.40	-3.24	3.240	0.541	5.675
	842	183.1	240	-33.10	-3.31	3.310	0.553	5.827
	860	183.4	240	-33.40	-3.34	3.340	0.558	5.952
	880	184.1	240	-34.10	-3.41	3.410	0.570	6.090
	901	184.7	240	-34.70	-3.47	3.470	0.580	6.235
	920	185.3	240	-35.30	-3.53	3.530	0.590	6.367
	940	185.8	240	-35.80	-3.58	3.580	0.598	6.505
	960	186.3	240	-36.30	-3.63	3.630	0.607	6.644
	980	186.9	240	-36.90	-3.69	3.690	0.617	6.782
	1000	187.4	240	-37.40	-3.74	3.740	0.625	6.920


VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M4
Deformacion Volumetrcia (%)
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
-0.6
-0.7
-0.8
-0.9
-1.0
-1.1
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M1
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 1

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 09/09/2024

ETAPA DE SATURACION - MUESTRA M1

	INICIAL		FINAL	
PRESION DE CELDA (CP)	49	kPa	320	kPa
CONTRA PRESION (BP)	33	kPa	300	kPa
DIFERENCIA DE PRESION INICIAL	16	kPa	20	kPa
INCREMENTO DE PRESION	20	kPa	20	kPa

Peso de M2	1192.1	gr
Diametro M2	7.31	cm
Altura M2	14.52	cm

Fecha Inicial:	09/09/2024
Hora Inicial:	09:10am
Delta Tiempo para Au:	+-10min

Nro de Incrementos	Tiempo	Valvula (CP)	Presion de Celda (CP)	Valvula (BP)	Contra Presion (BP)	Presion de Poros (u)	Diferencia entre CP Y BP	Cambio en la Presion de Celda (CP)	Cambio en la Presion de Poros (Au)	Parametro de Skempton (B)
			kPa		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	$B(\%)=\frac{\Delta u}{\Delta CP}$
Incremento 01 09/09/24		ABIERTA	**49**	ABIERTA	**33**		16	21	5	**0.24**
	09:10am- 09:20am	ABIERTA	49	CERRADA	33	34				
	09:24am- 09:30am	ABIERTA	70	CERRADA	33	39				
	09:35am	ABIERTA	**70**	ABIERTA	**50**		20			
Incremento 02 09/09/24		ABIERTA	**70**	ABIERTA	**50**		20	20	8	**0.40**
	13:25pm- 13:35pm	ABIERTA	70	CERRADA	50	51				
	13:36pm- 13:46pm	ABIERTA	90	CERRADA	50	59				
	13:50pm	ABIERTA	**90**	ABIERTA	**70**		20			
Incremento 03 10/09/24		ABIERTA	**90**	ABIERTA	**70**		20	20	9	**0.45**
	08:05am- 08:15am	ABIERTA	90	CERRADA	70	72				
	08:17am- 08:27am	ABIERTA	110	CERRADA	70	81				
	08:30am	ABIERTA	**110**	ABIERTA	**90**		20			
Incremento 04 10/09/24		ABIERTA	**109**	ABIERTA	**89**		20	21	12	**0.57**
	13:25pm- 13:35pm	ABIERTA	109	CERRADA	89	90				
	13:37pm- 13:47pm	ABIERTA	130	CERRADA	89	102				
	13:50pm	ABIERTA	**130**	ABIERTA	**110**		20			
Incremento 05 11/09/24		ABIERTA	**130**	ABIERTA	**111**		19	20	12	**0.60**
	08:12am- 08:22am	ABIERTA	130	CERRADA	111	112				
	08:24am- 08:34am	ABIERTA	150	CERRADA	111	124				
	08:38am	ABIERTA	**150**	ABIERTA	**130**		20			
Incremento 06 11/09/24		ABIERTA	**150**	ABIERTA	**130**		20	20	13	**0.65**
	13:25pm- 13:35pm	ABIERTA	150	CERRADA	130	131				
	13:51pm- 14:00pm	ABIERTA	170	CERRADA	130	144				
	14:00pm	ABIERTA	**170**	ABIERTA	**150**		20			
Incremento 07 16/09/24		ABIERTA	**170**	ABIERTA	**150**		20	20	14	**0.70**
	08:00am- 08:10am	ABIERTA	170	CERRADA	150	151				
	08:13am- 08:23am	ABIERTA	190	CERRADA	150	165				
	08:26am	ABIERTA	**190**	ABIERTA	**170**		20			
Incremento 08 16/09/24		ABIERTA	**190**	ABIERTA	**170**		20	20	14	**0.70**
	13:25pm- 13:36pm	ABIERTA	190	CERRADA	170	170				
	13:40pm- 13:47pm	ABIERTA	210	CERRADA	170	184				
	14:00pm	ABIERTA	**210**	ABIERTA	**190**		20			
Incremento 09 17/09/24		ABIERTA	**210**	ABIERTA	**190**		20	31	26	**0.84**
	08:49am- 08:59am	ABIERTA	210	CERRADA	190	191				
	09:10am- 09:20am	ABIERTA	241	CERRADA	190	217				
	09:43am	ABIERTA	**240**	ABIERTA	**220**		20			
Incremento 10 17/09/24		ABIERTA	**240**	ABIERTA	**220**		20	20	17	**0.85**
	13:21pm- 13:39pm	ABIERTA	240	CERRADA	220	221				
	13:45pm- 13:55pm	ABIERTA	260	CERRADA	220	238				
	14:00pm	ABIERTA	**260**	ABIERTA	**240**		20			
Incremento 11 18/09/24		ABIERTA	**261**	ABIERTA	**241**		20	19	17	**0.89**
	08:58am- 09:08am	ABIERTA	261	CERRADA	241	242				
	09:14am- 09:24am	ABIERTA	280	CERRADA	241	259				
	09:31am	ABIERTA	**280**	ABIERTA	**260**		20			
Incremento 12 20/09/24		ABIERTA	**300**	ABIERTA	**280**		20	20	19	**0.95**
	08:12am- 08:22am	ABIERTA	300	CERRADA	280	280				
	08:24am- 08:37am	ABIERTA	320	CERRADA	280	299				
		ABIERTA	**320**	ABIERTA	**300**		20			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M1 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 20/09/2024
Hoja Nro: 2

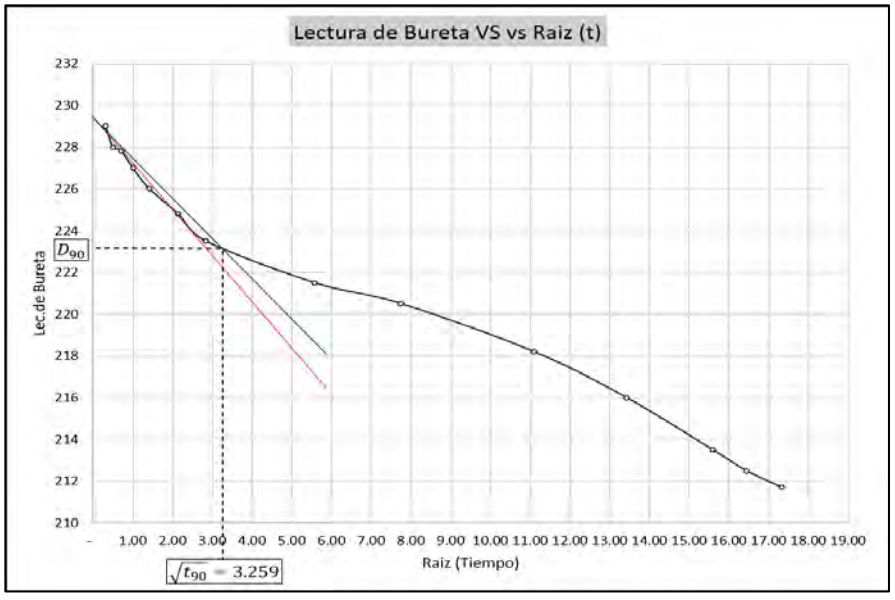
CONSOLIDACION DE MUESTRA M1

Fecha 20/09/24				Cte de Bureta:	0.1	ml
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml	Raiz (Tiempo)
351	262		0	231	23.1	-
			0.1	229	22.9	0.32
			0.25	228	22.8	0.50
			0.5	227.8	22.78	0.71
			1	227	22.7	1.00
			2	226	22.6	1.41
			4.58	224.8	22.48	2.14
			8	223.5	22.35	2.83
			31	221.5	22.15	5.57
		1:01hr	60	220.5	22.05	7.75
		2:03 hr	123	218.2	21.82	11.09
		3:00 hr	180	216	21.6	13.42
		4:03 hr	243	213.5	21.35	15.59
		4:30 hr	270	212.5	21.25	16.43
		5:00 hr	300	211.7	21.17	17.32

Fecha 23/09/24					
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml
351	262	24hr		219	21.9

Por lo tanto se termino de consolidar en 219 de Lec de Bureta

Y para el corte se dio con CP=351kPa, BP=262kPa



De acuerdo a lo obtenido en el grafico - Lec. de bureta VS Raiz(t)-

$$\boxed{\sqrt{t_{90}} = 3.259} \quad \Rightarrow \quad \boxed{t_{90} = 3.259^2}$$

Para hallar la Velocidad de Corte se usaran dos formulas:

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{(Tiempo\ de\ corte\ estimado(min))} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(145.2mm)}{4.5 * 60min} = 0.0215mm/min$$

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{16 * (t_{90}^2)} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(145.2mm)}{16 * (3.259^2)} = 0.0342mm/min$$

$$Promediando\ Velocidad\ de\ corte: \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{0.0215 + 0.0342}{2} = 0.0278mm/min$$

Por recomendación se usara una velocidad de 0.02mm/min para que la disipacion de poros sea muy pequeña

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M1
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 3

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 23/09/2024 - 24/09/24

CURVA- ESFUERZO DEFORMACION M1

Estado:	Muestra Inalterada

Condicion:	CON CARGA-DESCARGA	

Altura Inicial	0.1452	m
Diametro	0.0731	m
Area Ao	0.0042	m2
Volumen Vo	0.0006	m3
Area Ac	0.0042	m2

Lec. Bureta Inicial	231	
Lec. Bureta Final	219	
Contenido de Humedad	30.58%	
Peso Humedo	1192.1	gr
Peso Volum. Humedo	1.956	gr/cm3
Peso Seco	917.7	gr
Peso Volum. Seco	1.506	gr/cm3

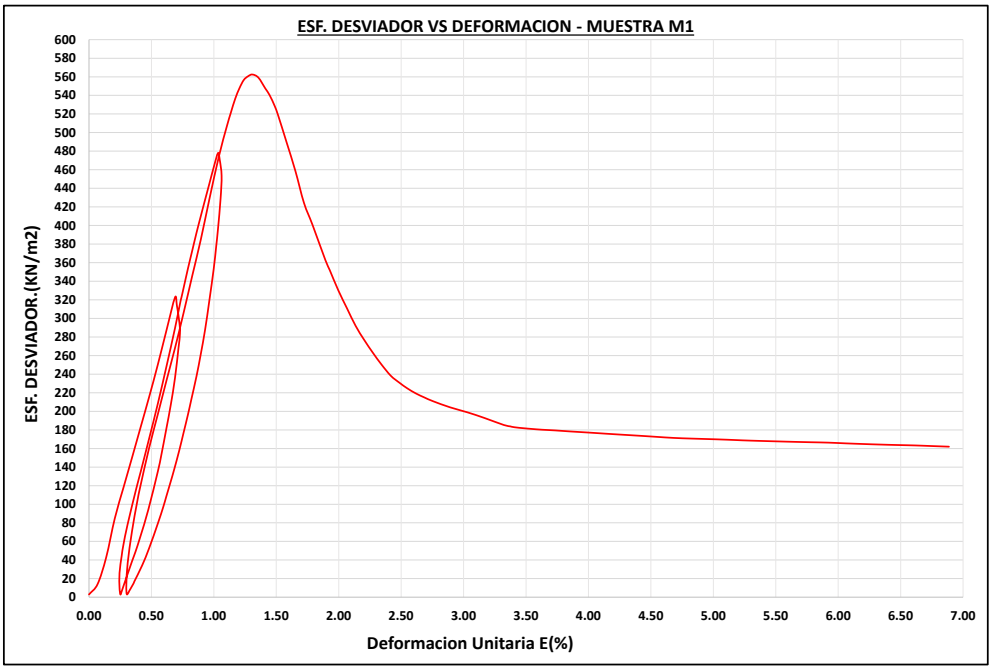
Variacion Volumetrica (ml)	1.20	ml
	0.00120	litros
	0.0000012	m3

Velocidad	0.02	mm/min
Parametro B	0.95	
Cte de anillo de carga(kgf)=	$y = 0.4039X + 1.2422$	

Presion de Celda	351	Kpa
Contrapresion	262	Kpa
Presion Efectiva de Cofinamiento σ'_3	89	Kpa

	LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
carga	0	0.00	0	1.24	0.0122	0.00E+00	0.0000	0.00419	2.91
	10	0.10	11.8	6.01	0.0589	6.89E-04	0.0689	0.00419	14.06
	20	0.20	42.3	18.33	0.1798	1.38E-03	0.1377	0.00419	42.86
	30	0.30	86.7	36.26	0.3557	2.07E-03	0.2066	0.00420	84.75
	40	0.40	121.6	50.36	0.4940	2.75E-03	0.2755	0.00420	117.61
	50	0.50	156	64.25	0.6303	3.44E-03	0.3444	0.00420	149.96
	60	0.60	191	78.39	0.7690	4.13E-03	0.4132	0.00421	182.83
	70	0.70	226	92.52	0.9077	4.82E-03	0.4821	0.00421	215.65
	80	0.80	262.8	107.39	1.0535	5.51E-03	0.5510	0.00421	250.12
	90	0.90	302	123.22	1.2088	6.20E-03	0.6198	0.00421	286.80
	100	1.00	340.3	138.69	1.3605	6.89E-03	0.6887	0.00422	322.58
descarga	102.2	1.02	331.1	134.97	1.3241	7.04E-03	0.7039	0.00422	313.89
	105	1.05	312.5	127.46	1.2504	7.23E-03	0.7231	0.00422	296.36
	105.8	1.06	299.4	122.17	1.1985	7.29E-03	0.7287	0.00422	284.05
	104	1.04	281.9	115.10	1.1291	7.16E-03	0.7163	0.00422	267.65
	100	1.00	248	101.41	0.9948	6.89E-03	0.6887	0.00422	235.87
	95	0.95	216.6	88.73	0.8704	6.54E-03	0.6543	0.00422	206.45
	90	0.90	190	77.98	0.7650	6.20E-03	0.6198	0.00421	181.51
	84	0.84	159	65.46	0.6422	5.79E-03	0.5785	0.00421	152.43
	80	0.80	140.5	57.99	0.5689	5.51E-03	0.5510	0.00421	135.07
	69	0.69	97	40.42	0.3965	4.75E-03	0.4752	0.00421	94.22
	60	0.60	67	28.30	0.2777	4.13E-03	0.4132	0.00421	66.01
	54	0.54	48.6	20.87	0.2048	3.72E-03	0.3719	0.00420	48.70
	50	0.50	37.8	16.51	0.1620	3.44E-03	0.3444	0.00420	38.53
	40	0.40	9.3	5.00	0.0490	2.75E-03	0.2755	0.00420	11.67
	38	0.38	3.5	2.66	0.0261	2.62E-03	0.2617	0.00420	6.20
	36.5	0.37	0	1.24	0.0122	2.51E-03	0.2514	0.00420	2.90
recarga	35.5	0.36	8	4.47	0.0439	2.44E-03	0.2445	0.00420	10.45
	35.5	0.36	24.5	11.14	0.1093	2.44E-03	0.2445	0.00420	26.02
	38	0.38	44	19.01	0.1865	2.62E-03	0.2617	0.00420	44.42
	40	0.40	56.5	24.06	0.2361	2.75E-03	0.2755	0.00420	56.20
	45	0.45	80.5	33.76	0.3311	3.10E-03	0.3099	0.00420	78.81
	55	0.55	121	50.11	0.4916	3.79E-03	0.3788	0.00420	116.93
	60	0.60	139.8	57.71	0.5661	4.13E-03	0.4132	0.00421	134.60
	70	0.70	178.5	73.34	0.7194	4.82E-03	0.4821	0.00421	170.94
	80	0.80	218.1	89.33	0.8764	5.51E-03	0.5510	0.00421	208.07
	90	0.90	260.7	106.54	1.0451	6.20E-03	0.6198	0.00421	247.98
	100	1.00	305	124.43	1.2207	6.89E-03	0.6887	0.00422	289.42
	106.5	1.07	336.5	137.15	1.3455	7.33E-03	0.7335	0.00422	318.87
	107.4	1.07	340	138.57	1.3594	7.40E-03	0.7397	0.00422	322.14
	110	1.10	351.3	143.13	1.4041	7.58E-03	0.7576	0.00422	332.69
	115	1.15	373.5	152.10	1.4921	7.92E-03	0.7920	0.00422	353.41
	120	1.20	394.2	160.46	1.5741	8.26E-03	0.8264	0.00422	372.70
	125	1.25	415	168.86	1.6565	8.61E-03	0.8609	0.00422	392.08
	130	1.30	434.3	176.66	1.7330	8.95E-03	0.8953	0.00423	410.04
	135	1.35	453.3	184.33	1.8083	9.30E-03	0.9298	0.00423	427.70
	140	1.40	472	191.88	1.8824	9.64E-03	0.9642	0.00423	445.07
	145	1.45	490.8	199.48	1.9569	9.99E-03	0.9986	0.00423	462.52
	150	1.50	507.5	206.22	2.0230	1.03E-02	1.0331	0.00423	478.00
descarga	152	1.52	500	203.19	1.9933	1.05E-02	1.0468	0.00423	470.91
	154.2	1.54	481.5	195.72	1.9200	1.06E-02	1.0620	0.00423	453.52
	153	1.53	455	185.02	1.8150	1.05E-02	1.0537	0.00423	428.76
	150	1.50	420.2	170.96	1.6771	1.03E-02	1.0331	0.00423	396.27
	147.9	1.48	400	162.80	1.5971	1.02E-02	1.0186	0.00423	377.41
	145	1.45	374	152.30	1.4941	9.99E-03	0.9986	0.00423	353.14
	140	1.40	338	137.76	1.3514	9.64E-03	0.9642	0.00423	319.53
	135	1.35	304	124.03	1.2167	9.30E-03	0.9298	0.00423	287.78
	130	1.30	276	112.72	1.1058	8.95E-03	0.8953	0.00423	261.63
	125	1.25	250.4	102.38	1.0043	8.61E-03	0.8609	0.00422	237.71
	119	1.19	223.7	91.59	0.8985	8.20E-03	0.8196	0.00422	212.76
	115	1.15	206	84.45	0.8284	7.92E-03	0.7920	0.00422	196.21
	110	1.10	185.5	76.17	0.7472	7.58E-03	0.7576	0.00422	177.03
	105	1.05	165.2	67.97	0.6668	7.23E-03	0.7231	0.00422	158.03
	99	0.99	143	59.00	0.5788	6.82E-03	0.6818	0.00422	137.24
	95	0.95	129.2	53.43	0.5241	6.54E-03	0.6543	0.00422	124.31
	90	0.90	112.5	46.68	0.4579	6.20E-03	0.6198	0.00421	108.65
	86.3	0.86	100	41.63	0.4084	5.94E-03	0.5944	0.00421	96.93
	80	0.80	81	33.96	0.3331	5.51E-03	0.5510	0.00421	79.09
	70	0.70	53.1	22.69	0.2226	4.82E-03	0.4821	0.00421	52.88
	61.8	0.62	33.2	14.65	0.1437	4.26E-03	0.4256	0.00421	34.17
	52.8	0.53	15	7.30	0.0716	3.64E-03	0.3636	0.00420	17.04
	52	0.52	13	6.49	0.0637	3.58E-03	0.3581	0.00420	15.15
	50	0.50	9.5	5.08	0.0498	3.44E-03	0.3444	0.00420	11.86
	48	0.48	6	3.67	0.0360	3.31E-03	0.3306	0.00420	8.56
	46.8	0.47	4	2.86	0.0280	3.22E-03	0.3223	0.00420	6.67
	45.5	0.46	1.5	1.85	0.0181	3.13E-03	0.3134	0.00420	4.31
	44.1	0.44	0	1.24	0.0122	3.04E-03	0.3037	0.00420	2.90

	LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
recarga	43.5	0.44	3.5	2.66	0.0261	3.00E-03	0.2996	0.00420	6.20
	43.5	0.44	13.5	6.69	0.0657	3.00E-03	0.2996	0.00420	15.63
	45	0.45	36.2	15.86	0.1556	3.10E-03	0.3099	0.00420	37.04
	50	0.50	72.1	30.36	0.2979	3.44E-03	0.3444	0.00420	70.87
	56	0.56	105.6	43.89	0.4306	3.86E-03	0.3857	0.00420	102.41
	60	0.60	124.8	51.65	0.5067	4.13E-03	0.4132	0.00421	120.47
	70	0.70	167.8	69.02	0.6771	4.82E-03	0.4821	0.00421	160.86
	80	0.80	206	84.45	0.8284	5.51E-03	0.5510	0.00421	196.69
	90	0.90	244.5	100.00	0.9810	6.20E-03	0.6198	0.00421	232.75
	100	1.00	282.3	115.26	1.1307	6.89E-03	0.6887	0.00422	268.10
	110	1.10	322.8	131.62	1.2912	7.58E-03	0.7576	0.00422	305.93
	120	1.20	365.3	148.79	1.4596	8.26E-03	0.8264	0.00422	345.59
	130	1.30	407.3	165.75	1.6260	8.95E-03	0.8953	0.00423	384.72
	140	1.40	454.2	184.69	1.8118	9.64E-03	0.9642	0.00423	428.40
	151	1.51	503.4	204.57	2.0068	1.04E-02	1.0399	0.00423	474.12
	160	1.60	537.5	218.34	2.1419	1.10E-02	1.1019	0.00424	505.73
	165	1.65	554.6	225.25	2.2097	1.14E-02	1.1364	0.00424	521.55
	170	1.70	570.6	231.71	2.2731	1.17E-02	1.1708	0.00424	536.32
	175	1.75	583.1	236.76	2.3226	1.21E-02	1.2052	0.00424	547.82
	180	1.80	592.7	240.63	2.3606	1.24E-02	1.2397	0.00424	556.60
	185	1.85	597.2	242.45	2.3784	1.27E-02	1.2741	0.00424	560.60
pico	190	1.90	599.4	243.34	2.3872	1.31E-02	1.3085	0.00424	562.462
	197	1.97	596.1	242.01	2.3741	1.36E-02	1.3567	0.00425	559.11
	205	2.05	584	237.12	2.3261	1.41E-02	1.4118	0.00425	547.51
	210	2.10	576.5	234.09	2.2964	1.45E-02	1.4463	0.00425	540.33
	216	2.16	564	229.04	2.2469	1.49E-02	1.4876	0.00425	528.45
	220	2.20	553.3	224.72	2.2045	1.52E-02	1.5152	0.00425	518.34
	230	2.30	522	212.08	2.0805	1.58E-02	1.5840	0.00426	488.83
	240	2.40	490	199.15	1.9537	1.65E-02	1.6529	0.00426	458.72
	250	2.50	453.3	184.33	1.8083	1.72E-02	1.7218	0.00426	424.28
	260	2.60	428	174.11	1.7080	1.79E-02	1.7906	0.00426	400.48
	275	2.75	387.5	157.75	1.5476	1.89E-02	1.8939	0.00427	362.47
	280	2.80	376.2	153.19	1.5028	1.93E-02	1.9284	0.00427	351.86
	290	2.90	352.9	143.78	1.4105	2.00E-02	1.9972	0.00427	330.01
	300	3.00	332.5	135.54	1.3296	2.07E-02	2.0661	0.00428	310.88
	310	3.10	312.4	127.42	1.2500	2.13E-02	2.1350	0.00428	292.06
	320	3.20	296.2	120.88	1.1858	2.20E-02	2.2039	0.00428	276.86
	330	3.30	281.6	114.98	1.1280	2.27E-02	2.2727	0.00429	263.17
	340	3.40	268.1	109.53	1.0745	2.34E-02	2.3416	0.00429	250.52
	351	3.51	255	104.24	1.0226	2.42E-02	2.4174	0.00429	238.23
	361	3.61	247.1	101.05	0.9913	2.49E-02	2.4862	0.00430	230.77
	370	3.70	240.8	98.50	0.9663	2.55E-02	2.5482	0.00430	224.82
	380	3.80	235	96.16	0.9433	2.62E-02	2.6171	0.00430	219.32
	390	3.90	230.4	94.30	0.9251	2.69E-02	2.6860	0.00430	214.93
	400	4.00	226.2	92.60	0.9084	2.75E-02	2.7548	0.00431	210.91
	420	4.20	219.3	89.82	0.8811	2.89E-02	2.8926	0.00431	204.27
	440	4.40	213.8	87.60	0.8593	3.03E-02	3.0303	0.00432	198.94
	460	4.60	207.4	85.01	0.8340	3.17E-02	3.1680	0.00433	192.79
	482.5	4.83	199.5	81.82	0.8027	3.32E-02	3.3230	0.00433	185.26
	490	4.90	198	81.21	0.7967	3.37E-02	3.3747	0.00433	183.79
	492	4.92	197.5	81.01	0.7947	3.39E-02	3.3884	0.00434	183.31
	500	5.00	196.5	80.61	0.7908	3.44E-02	3.4435	0.00434	182.29
	520	5.20	195	80.00	0.7848	3.58E-02	3.5813	0.00434	180.66
	532	5.32	194.4	79.76	0.7824	3.66E-02	3.6639	0.00435	179.96
	542	5.42	194	79.60	0.7809	3.73E-02	3.7328	0.00435	179.47
	560	5.60	193	79.19	0.7769	3.86E-02	3.8567	0.00436	178.33
	581	5.81	192	78.79	0.7729	4.00E-02	4.0014	0.00436	177.15
	600	6.00	191	78.39	0.7690	4.13E-02	4.1322	0.00437	176.00
	620	6.20	190	77.98	0.7650	4.27E-02	4.2700	0.00438	174.84
	641	6.41	189	77.58	0.7611	4.41E-02	4.4146	0.00438	173.68
	660	6.60	188	77.18	0.7571	4.55E-02	4.5455	0.00439	172.53
	680	6.80	187	76.77	0.7531	4.68E-02	4.6832	0.00439	171.38
	701	7.01	186.5	76.57	0.7511	4.83E-02	4.8278	0.00440	170.67
	730	7.30	186	76.37	0.7492	5.03E-02	5.0275	0.00441	169.87
	750	7.50	185.5	76.17	0.7472	5.17E-02	5.1653	0.00442	169.17
	760	7.60	185.2	76.04	0.7460	5.23E-02	5.2342	0.00442	168.78
	780	7.80	184.8	75.88	0.7444	5.37E-02	5.3719	0.00443	168.18
	800	8.00	184.5	75.76	0.7432	5.51E-02	5.5096	0.00443	167.66
	821	8.21	184.2	75.64	0.7420	5.65E-02	5.6543	0.00444	167.14
	840	8.40	184	75.56	0.7412	5.79E-02	5.7851	0.00445	166.73
	860	8.60	183.8	75.48	0.7404	5.92E-02	5.9229	0.00445	166.31
	880	8.80	183.2	75.24	0.7381	6.06E-02	6.0606	0.00446	165.53
	900	9.00	182.7	75.03	0.7361	6.20E-02	6.1983	0.00447	164.84
	920	9.20	182.3	74.87	0.7345	6.34E-02	6.3361	0.00447	164.25
	940	9.40	182	74.75	0.7333	6.47E-02	6.4738	0.00448	163.74
	960	9.60	181.8	74.67	0.7325	6.61E-02	6.6116	0.00449	163.32
	980	9.80	181.3	74.47	0.7305	6.75E-02	6.7493	0.00449	162.64
	1000	10.00	180.8	74.27	0.7286	6.89E-02	6.8871	0.00450	161.96


ESF. DESVIADOR VS DEFORMACION - MUESTRA M1
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
600
580
560
540
520
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0.00
0.50
1.00
1.50
2.00
2.50
3.00
3.50
4.00
4.50
5.00
5.50
6.00
6.50
7.00
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

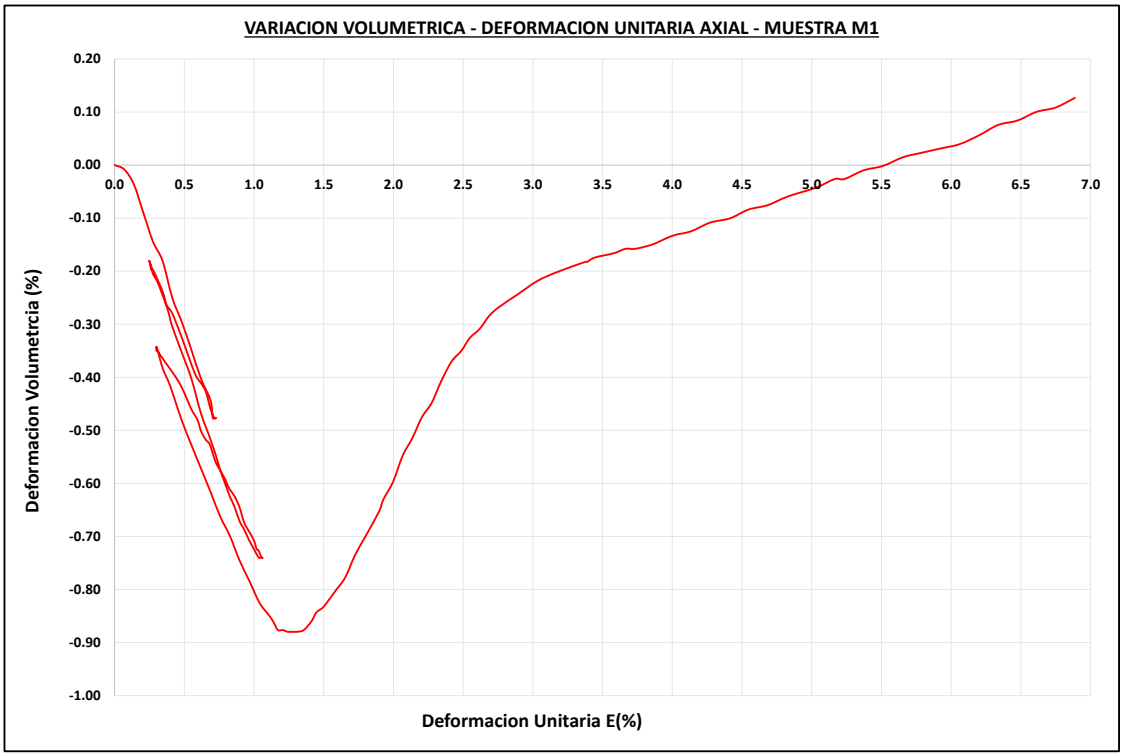
Muestra Nro: M1 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 23/09/2024 - 24/09/24
Hoja Nro: 4

CURVA VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M1

ALTURA INCIAL	0.1452	m	
CTE. BURETA BASE(ml):	0.1	Volumen inicial Vc (cm3):	608.184

	LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
carga	0	219	263	0	0	0.000	0.000	0.000
	10	218.5	263	0.5	0.05	-0.050	-0.008	0.069
	20	216.8	264	2.2	0.22	-0.220	-0.036	0.138
	30	213.5	264	5.5	0.55	-0.550	-0.090	0.207
	40	210.2	264	8.8	0.88	-0.880	-0.145	0.275
	50	208	264	11	1.1	-1.100	-0.181	0.344
	60	203.8	264	15.2	1.52	-1.520	-0.250	0.413
	70	201	264	18	1.8	-1.800	-0.296	0.482
	80	197.8	264	21.2	2.12	-2.120	-0.349	0.551
	90	194.5	264	24.5	2.45	-2.450	-0.403	0.620
	100	192	263	27	2.7	-2.700	-0.444	0.689
Descarga	102.2	190	263	29	2.9	-2.900	-0.477	0.704
	105	190	263	29	2.9	-2.900	-0.477	0.723
	105.8	190	263	29	2.9	-2.900	-0.477	0.729
	104	190	262	29	2.9	-2.900	-0.477	0.716
	100	191	263	28	2.8	-2.800	-0.460	0.689
	95	193	264	26	2.6	-2.600	-0.428	0.654
	90	194	262	25	2.5	-2.500	-0.411	0.620
	84	195	262	24	2.4	-2.400	-0.395	0.579
	69	199.5	262	19.5	1.95	-1.950	-0.321	0.475
	60	202	262	17	1.7	-1.700	-0.280	0.413
	54	203	263	16	1.6	-1.600	-0.263	0.372
	50	204.5	262	14.5	1.45	-1.450	-0.238	0.344
	40	207	263	12	1.2	-1.200	-0.197	0.275
	38	207	262	12	1.2	-1.200	-0.197	0.262
	36.5	208	262	11	1.1	-1.100	-0.181	0.251
recarga	35.5	208	263	11	1.1	-1.100	-0.181	0.244
	35.5	208	262	11	1.1	-1.100	-0.181	0.244
	38	207.5	263	11.5	1.15	-1.150	-0.189	0.262
	40	206.5	262	12.5	1.25	-1.250	-0.206	0.275
	45	205.5	262	13.5	1.35	-1.350	-0.222	0.310
	55	202.5	262	16.5	1.65	-1.650	-0.271	0.379
	60	200.5	262	18.5	1.85	-1.850	-0.304	0.413
	70	197.5	262	21.5	2.15	-2.150	-0.354	0.482
	80	194.5	262	24.5	2.45	-2.450	-0.403	0.551
	90	190.5	262	28.5	2.85	-2.850	-0.469	0.620
	100	187.5	262	31.5	3.15	-3.150	-0.518	0.689
	107.4	185	262	34	3.4	-3.400	-0.559	0.740
	110	184	262	35	3.5	-3.500	-0.575	0.758
	115	182.5	262	36.5	3.65	-3.650	-0.600	0.792
	120	181	262	38	3.8	-3.800	-0.625	0.826
	125	179.8	262	39.2	3.92	-3.920	-0.645	0.861
	130	178.2	262	40.8	4.08	-4.080	-0.671	0.895
	135	177.2	262	41.8	4.18	-4.180	-0.687	0.930
	140	176	262	43	4.3	-4.300	-0.707	0.964
	145	175	262	44	4.4	-4.400	-0.723	0.999
	150	174	262	45	4.5	-4.500	-0.740	1.033
descarga	152	174	262	45	4.5	-4.500	-0.740	1.047
	154.2	174	262	45	4.5	-4.500	-0.740	1.062
	153	174	262	45	4.5	-4.500	-0.740	1.054
	150	174.8	262	44.2	4.42	-4.420	-0.727	1.033
	147.9	175	262	44	4.4	-4.400	-0.723	1.019
	145	176	262	43	4.3	-4.300	-0.707	0.999
	140	177	262	42	4.2	-4.200	-0.691	0.964
	135	178	262	41	4.1	-4.100	-0.674	0.930
	130	179.8	262	39.2	3.92	-3.920	-0.645	0.895
	125	181	262	38	3.8	-3.800	-0.625	0.861
	119	182	262	37	3.7	-3.700	-0.608	0.820
	115	183	262	36	3.6	-3.600	-0.592	0.792
	110	184	262	35	3.5	-3.500	-0.575	0.758
	105	185	262	34	3.4	-3.400	-0.559	0.723
	99	187	262	32	3.2	-3.200	-0.526	0.682
	95	187.5	262	31.5	3.15	-3.150	-0.518	0.654
	90	188.5	262	30.5	3.05	-3.050	-0.501	0.620
	86.3	189.8	262	29.2	2.92	-2.920	-0.480	0.594
	80	191	262	28	2.8	-2.800	-0.460	0.551
	70	193.5	262	25.5	2.55	-2.550	-0.419	0.482
	61.8	195	262	24	2.4	-2.400	-0.395	0.426
	52.8	196.38	262	22.62	2.262	-2.262	-0.372	0.364
	52	196.52	263	22.48	2.248	-2.248	-0.370	0.358
	50	196.85	262	22.15	2.215	-2.215	-0.364	0.344
	48	197.15	263	21.85	2.185	-2.185	-0.359	0.331
	46.8	197.36	262	21.64	2.164	-2.164	-0.356	0.322
	45.5	197.6	262	21.4	2.14	-2.140	-0.352	0.313
	44.1	197.7	263	21.3	2.13	-2.130	-0.350	0.304

	LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
carga	43.5	197.7	263	21.3	2.13	-2.130	-0.350	0.2995868
	43.5	198.2	263	20.8	2.08	-2.080	-0.342	0.300
	45	197.7	263	21.3	2.13	-2.130	-0.350	0.310
	50	195.7	262	23.3	2.33	-2.330	-0.383	0.344
	56	194.2	262	24.8	2.48	-2.480	-0.408	0.386
	60	193	262	26	2.6	-2.600	-0.428	0.413
	70	189.7	263	29.3	2.93	-2.930	-0.482	0.482
	80	186.9	262	32.1	3.21	-3.210	-0.528	0.551
	90	184.2	262	34.8	3.48	-3.480	-0.572	0.620
	100	181.5	262	37.5	3.75	-3.750	-0.617	0.689
	110	178.7	262	40.3	4.03	-4.030	-0.663	0.758
	120	176.5	262	42.5	4.25	-4.250	-0.699	0.826
	130	173.7	262	45.3	4.53	-4.530	-0.745	0.895
	140	171.4	262	47.6	4.76	-4.760	-0.783	0.964
	151	168.8	262	50.2	5.02	-5.020	-0.825	1.040
	160	167.5	262	51.5	5.15	-5.150	-0.847	1.102
	165	166.7	262	52.3	5.23	-5.230	-0.860	1.136
	170	165.7	262	53.3	5.33	-5.330	-0.876	1.171
	175	165.7	262	53.3	5.33	-5.330	-0.876	1.205
	180	165.5	262	53.5	5.35	-5.350	-0.880	1.240
	185	165.5	262	53.5	5.35	-5.350	-0.880	1.274
pico	190	165.5	262	53.5	5.35	-5.350	-0.880	1.309
	197	165.7	262	53.3	5.33	-5.330	-0.876	1.357
	205	166.7	262	52.3	5.23	-5.230	-0.860	1.412
	210	167.7	262	51.3	5.13	-5.130	-0.843	1.446
	216	168.2	261	50.8	5.08	-5.080	-0.835	1.488
	220	168.7	262	50.3	5.03	-5.030	-0.827	1.515
	230	170.2	262	48.8	4.88	-4.880	-0.802	1.584
	240	171.7	262	47.3	4.73	-4.730	-0.778	1.653
	250	174.2	262	44.8	4.48	-4.480	-0.737	1.722
	260	176.2	261	42.8	4.28	-4.280	-0.704	1.791
	275	179.2	262	39.8	3.98	-3.980	-0.654	1.894
	280	180.7	261	38.3	3.83	-3.830	-0.630	1.928
	290	182.7	261	36.3	3.63	-3.630	-0.597	1.997
	300	185.7	261	33.3	3.33	-3.330	-0.548	2.066
	310	187.7	261	31.3	3.13	-3.130	-0.515	2.135
	320	190.1	261	28.9	2.89	-2.890	-0.475	2.204
	330	191.7	261	27.3	2.73	-2.730	-0.449	2.273
	340	194.2	261	24.8	2.48	-2.480	-0.408	2.342
	351	196.5	261	22.5	2.25	-2.250	-0.370	2.417
	361	197.7	261	21.3	2.13	-2.130	-0.350	2.486
	370	199.2	261	19.8	1.98	-1.980	-0.326	2.548
	380	200.2	261	18.8	1.88	-1.880	-0.309	2.617
	390	201.7	261	17.3	1.73	-1.730	-0.284	2.686
	400	202.7	261	16.3	1.63	-1.630	-0.268	2.755
	420	204.2	261	14.8	1.48	-1.480	-0.243	2.893
	440	205.7	261	13.3	1.33	-1.330	-0.219	3.030
	460	206.7	262	12.3	1.23	-1.230	-0.202	3.168
	490	207.9	261	11.1	1.11	-1.110	-0.183	3.375
	492	207.9	262	11.1	1.11	-1.110	-0.183	3.388
	500	208.4	262	10.6	1.06	-1.060	-0.174	3.444
	520	208.9	262	10.1	1.01	-1.010	-0.166	3.581
	532	209.4	262	9.6	0.96	-0.960	-0.158	3.664
	542	209.4	262	9.6	0.96	-0.960	-0.158	3.733
	560	209.9	262	9.1	0.91	-0.910	-0.150	3.857
	581	210.9	262	8.1	0.81	-0.810	-0.133	4.001
	600	211.4	262	7.6	0.76	-0.760	-0.125	4.132
	620	212.4	262	6.6	0.66	-0.660	-0.109	4.270
	641	212.9	261	6.1	0.61	-0.610	-0.100	4.415
	660	213.9	261	5.1	0.51	-0.510	-0.084	4.545
	680	214.4	261	4.6	0.46	-0.460	-0.076	4.683
	701	215.4	262	3.6	0.36	-0.360	-0.059	4.828
	730	216.4	261	2.6	0.26	-0.260	-0.043	5.028
	750	217.4	261	1.6	0.16	-0.160	-0.026	5.165
	760	217.4	261	1.6	0.16	-0.160	-0.026	5.234
	780	218.4	261	0.6	0.06	-0.060	-0.010	5.372
	800	218.9	261	0.1	0.01	-0.010	-0.002	5.510
	821	219.9	261	-0.9	-0.09	0.090	0.015	5.654
	840	220.4	261	-1.4	-0.14	0.140	0.023	5.785
	860	220.9	261	-1.9	-0.19	0.190	0.031	5.923
	880	221.4	261	-2.4	-0.24	0.240	0.039	6.061
	900	222.4	261	-3.4	-0.34	0.340	0.056	6.198
	920	223.6	261	-4.6	-0.46	0.460	0.076	6.336
	940	224.1	261	-5.1	-0.51	0.510	0.084	6.474
	960	225.1	261	-6.1	-0.61	0.610	0.100	6.612
	980	225.6	261	-6.6	-0.66	0.660	0.109	6.749
	1000	226.7	261	-7.7	-0.77	0.770	0.127	6.887


VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M1
Deformacion Volumetrcia (%)
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.20
-0.30
-0.40
-0.50
-0.60
-0.70
-0.80
-0.90
-1.00
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M6 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 24/10/2024
Hoja Nro: 1

ETAPA DE SATURACION - MUESTRA M6

	INICIAL		FINAL	
PRESION DE CELDA (CP)	40	kPa	220	kPa
CONTRA PRESION (BP)	20	kPa	200	kPa
DIFERENCIA DE PRESION INICIAL	20	kPa	20	kPa
INCREMENTO DE PRESION	20	kPa	20	kPa

Peso de M2	1189.35	gr
Diametro M2	7.26	cm
Altura M2	14.6	cm

Fecha Inicial:	24/10/2024
Hora Inicial:	13:25am
Delta Tiempo para Au:	+-10min

Nro de Incrementos	Tiempo	Valvula (CP)	Presion de Celda (CP)	Valvula (BP)	Contra Presion (BP)	Presion de Poros (u)	Diferencia entre CP Y BP	Cambio en la Presion de Celda (CP)	Cambio en la Presion de Poros (Au)	Parametro de Skempton (B)
			kPa		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	$B(\%)=\frac{\Delta u}{\Delta CP}$
Incremento 01 24/10/24		ABIERTA	**40**	ABIERTA	**20**		20	20	6	**0.30**
	13:25pm- 13:35pm	ABIERTA	40	CERRADA	20	21				
	13:37pm- 13:47pm	ABIERTA	60	CERRADA	20	27				
	13:49pm	ABIERTA	**60**	ABIERTA	**40**		20			
Incremento 02 25/10/24		ABIERTA	**60**	ABIERTA	**40**		20	20	9	**0.45**
	08:28am- 08:40am	ABIERTA	60	CERRADA	40	42				
	08:42am- 08:53am	ABIERTA	80	CERRADA	40	51				
	08:55am	ABIERTA	**80**	ABIERTA	**60**		20			
Incremento 03 25/10/24		ABIERTA	**80**	ABIERTA	**60**		20	20	11	**0.55**
	13:25pm- 13:36pm	ABIERTA	80	CERRADA	60	62				
	13:37pm- 13:49pm	ABIERTA	100	CERRADA	60	73				
	13:52pm	ABIERTA	**100**	ABIERTA	**80**		20			
Incremento 04 28/10/24		ABIERTA	**100**	ABIERTA	**80**		20	20	13	**0.65**
	08:41am- 08:51am	ABIERTA	100	CERRADA	80	82				
	08:53am- 09:03am	ABIERTA	120	CERRADA	80	95				
	09:05am	ABIERTA	**120**	ABIERTA	**100**		20			
Incremento 05 28/10/24		ABIERTA	**120**	ABIERTA	**100**		20	20	16	**0.80**
	13:35pm- 13:45pm	ABIERTA	120	CERRADA	100	101				
	13:48pm- 13:58pm	ABIERTA	140	CERRADA	100	117				
	14:00pm	ABIERTA	**140**	ABIERTA	**120**		20			
Incremento 06 29/10/24		ABIERTA	**140**	ABIERTA	**120**		20	20	16	**0.80**
	08:05am- 08:15am	ABIERTA	140	CERRADA	120	121				
	08:18am- 08:28am	ABIERTA	160	CERRADA	120	137				
	08:30am	ABIERTA	**160**	ABIERTA	**140**		20			
Incremento 07 30/10/24		ABIERTA	**160**	ABIERTA	**140**		20	20	17	**0.85**
	08:04am- 08:14am	ABIERTA	160	CERRADA	140	141				
	08:16am- 08:27am	ABIERTA	180	CERRADA	140	158				
	08:28am	ABIERTA	**180**	ABIERTA	**160**		20			
Incremento 08 31/10/24		ABIERTA	**180**	ABIERTA	**160**		20	20	18	**0.90**
	08:01am- 08:11am	ABIERTA	180	CERRADA	160	161				
	08:13am- 08:23am	ABIERTA	200	CERRADA	160	179				
	08:26am	ABIERTA	**200**	ABIERTA	**180**		20			
Incremento 09 04/11/24		ABIERTA	**200**	ABIERTA	**180**		20	20	19	**0.95**
	08:07am- 08:17am	ABIERTA	200	CERRADA	180	180				
	08:21am- 08:31am	ABIERTA	220	CERRADA	180	199				
	08:40am	ABIERTA	**220**	ABIERTA	**200**		20			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M6
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 2

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 08/11/2024

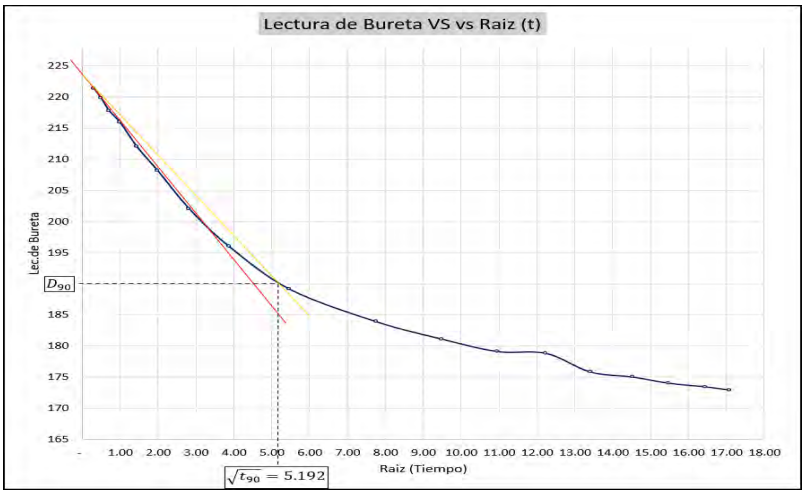
CONSOLIDACION DE MUESTRA M6

Fecha 08/11/24				Cte de Bureta:	0.1	ml
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml	Raiz (Tiempo)
353	203		0	229.7	22.97	-
			0.1	221.3	22.13	0.32
			0.25	219.8	21.98	0.50
			0.5	217.8	21.78	0.71
			1	215.9	21.59	1.00
			2.1	212	21.2	1.44
			4	208.1	20.81	2.00
			8	202	20.2	2.83
			15	196	19.6	3.87
			30	189.1	18.91	5.48
		1:02hr	60.2	183.9	18.39	7.76
			90	181.1	18.11	9.49
		2:00 hr	120	179.1	17.91	10.95
			150	178.8	17.88	12.25
		3:00 hr	180	175.8	17.58	13.42
			211	175	17.5	14.53
		4:00 hr	240	174	17.4	15.49
			271	173.4	17.34	16.46
			292	172.9	17.29	17.09

Fecha 11/11/24					
Presion CP	Presion BP	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Lec.de Bureta	Lec. de Bureta *0.1ml
353	203	24hrs		177.5	17.75

Por lo tanto se termino de consolidar en 177.5 de Lec de Bureta

Y para el corte se dio con CP=353kPa, BP=203kPa



De acuerdo a lo obtenido en el grafico - Lec. de bureta VS Raiz(t)-

$$\sqrt{t_{90}} = 5.192 \quad \Rightarrow \quad t_{90} = 5.192^2$$

Para hallar la Velocidad de Corte se usaran dos formulas:

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{(Tiempo\ de\ corte\ estimado(min))} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(146mm)}{4.5 * (60min)} = 0.0216mm/min$$

$$Vc = \frac{4\%(Ho)}{16 * (t_{90})} \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{4\%(146.0mm)}{16 * (5.192^2)} = 0.0135mm/min$$

$$Promediando\ Velocidad\ de\ corte: \quad \Rightarrow \quad Vc = \frac{0.0216 + 0.0135}{2} = 0.0176mm/min$$

Por recomendación se usara una velocidad de 0.015mm/min donde la disipacion de poros sera muy pequeña

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M6
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian
Hoja Nro: 3

Solicitado por: Alexander Mejia Seca
Fecha: 11/11/2024 - 12/11/24

CURVA- ESFUERZO DEFORMACION M6

Estado:	Muestra Inalterada

Altura Inicial	0.1460	m
Diametro	0.0726	m
Area Ao	0.0041	m2
Volumen Vo	0.0006	m3
Area Ac	0.0041	m2

Velocidad	0.015	mm/min
Parametro B	0.95	
Cte de anillo de carga(kgf)=	$y = 0.4039X + 1.2422$	

Condicion:	CON CARGA-DESCARGA

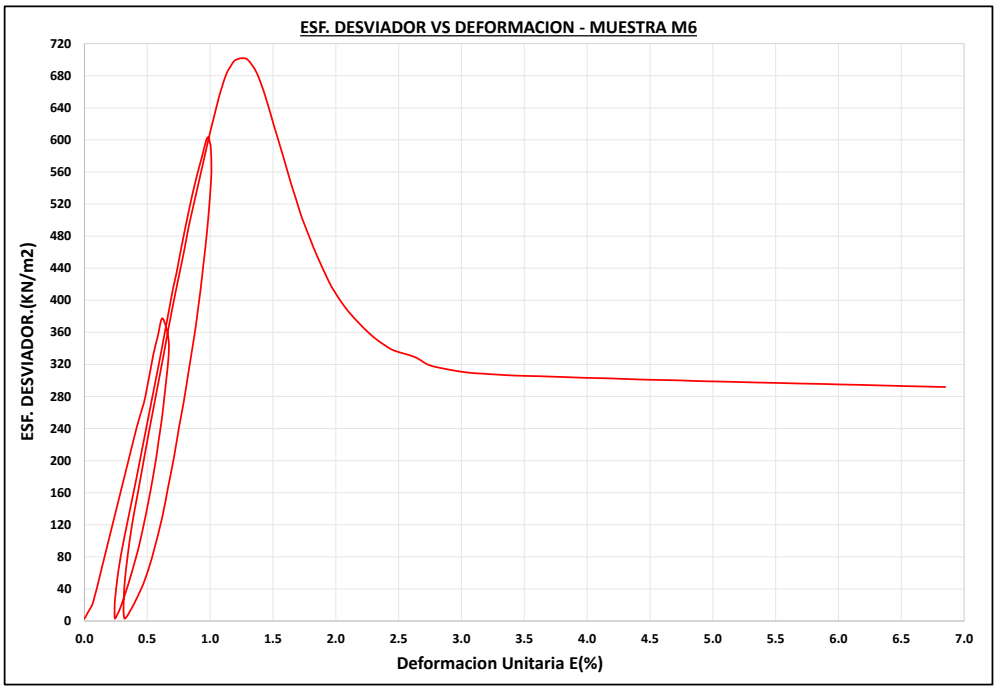
Lec. Bureta Inicial	229.7	
Lec. Bureta Final	177.5	
Contenido de Humedad	30.58%	
Peso Humedo	1189.35	gr
Peso Volum. Humedo	1.968	gr/cm3
Peso Seco	911.06	gr
Peso Volum. Seco	1.507	gr/cm3

Variacion Volumetrica (ml)	5.22	ml
	0.00522	litros
	0.00000522	m3

Presion de Celda	353	Kpa
Contrapresion	203	Kpa
Presion Efectiva de Cofinamiento σ'_3	150	Kpa

	LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
carga	0	0.00	0	1.24	0.0122	0.00E+00	0.0000	0.00410	2.97
	5	0.05	10	5.28	0.0518	3.42E-04	0.0342	0.00411	12.62
	10	0.10	21	9.72	0.0954	6.85E-04	0.0685	0.00411	23.23
	20	0.20	65	27.50	0.2697	1.37E-03	0.1370	0.00411	65.64
	30	0.30	110	45.67	0.4480	2.05E-03	0.2055	0.00411	108.95
	40	0.40	155	63.85	0.6263	2.74E-03	0.2740	0.00412	152.20
	50	0.50	200	82.02	0.8046	3.42E-03	0.3425	0.00412	195.40
	60	0.60	245	100.20	0.9829	4.11E-03	0.4110	0.00412	238.53
	65	0.65	265	108.28	1.0622	4.45E-03	0.4452	0.00412	257.67
	70.7	0.71	288	117.57	1.1533	4.84E-03	0.4842	0.00412	279.67
	80	0.80	343	139.78	1.3712	5.48E-03	0.5479	0.00413	332.30
	85	0.85	366	149.07	1.4624	5.82E-03	0.5822	0.00413	354.26
	90	0.90	390	158.76	1.5575	6.16E-03	0.6164	0.00413	377.17
descarga	95	0.95	378	153.92	1.5099	6.51E-03	0.6507	0.00413	365.53
	98	0.98	360	146.65	1.4386	6.71E-03	0.6712	0.00413	348.19
	97.5	0.98	338	137.76	1.3514	6.68E-03	0.6678	0.00413	327.11
	95	0.95	310	126.45	1.2405	6.51E-03	0.6507	0.00413	300.30
	93	0.93	290	118.37	1.1612	6.37E-03	0.6370	0.00413	281.16
	90.5	0.91	265	108.28	1.0622	6.20E-03	0.6199	0.00413	257.22
	88	0.88	245	100.20	0.9829	6.03E-03	0.6027	0.00413	238.07
	86	0.86	230	94.14	0.9235	5.89E-03	0.5890	0.00413	223.71
	83.5	0.84	210	86.06	0.8443	5.72E-03	0.5719	0.00413	204.55
	80.5	0.81	190	77.98	0.7650	5.51E-03	0.5514	0.00413	185.38
	79	0.79	180	73.94	0.7254	5.41E-03	0.5411	0.00413	175.80
	74	0.74	150	61.83	0.6065	5.07E-03	0.5068	0.00412	147.04
	68.5	0.69	120	49.71	0.4877	4.69E-03	0.4692	0.00412	118.27
	63.5	0.64	95	39.61	0.3886	4.35E-03	0.4349	0.00412	94.28
	60	0.60	80	33.55	0.3292	4.11E-03	0.4110	0.00412	79.88
	51	0.51	45	19.42	0.1905	3.49E-03	0.3493	0.00412	46.25
	42	0.42	15	7.30	0.0716	2.88E-03	0.2877	0.00412	17.40
	38	0.38	5	3.26	0.0320	2.60E-03	0.2603	0.00411	7.78
	35.5	0.36	0	1.24	0.0122	2.43E-03	0.2432	0.00411	2.96
recarga	35	0.35	4	2.86	0.0280	2.40E-03	0.2397	0.00411	6.81
	35	0.35	10	5.28	0.0518	2.40E-03	0.2397	0.00411	12.59
	35.2	0.35	20	9.32	0.0914	2.41E-03	0.2411	0.00411	22.23
	36	0.36	30	13.36	0.1311	2.47E-03	0.2466	0.00411	31.86
	38	0.38	50	21.44	0.2103	2.60E-03	0.2603	0.00411	51.11
	42	0.42	80	33.55	0.3292	2.88E-03	0.2877	0.00412	79.98
	49	0.49	120	49.71	0.4877	3.36E-03	0.3356	0.00412	118.43
	54.5	0.55	150	61.83	0.6065	3.73E-03	0.3733	0.00412	147.24
	60	0.60	180	73.94	0.7254	4.11E-03	0.4110	0.00412	176.03
	67	0.67	220	90.10	0.8839	4.59E-03	0.4589	0.00412	214.39
	74	0.74	260	106.26	1.0424	5.07E-03	0.5068	0.00412	252.71
	81	0.81	300	122.41	1.2009	5.55E-03	0.5548	0.00413	290.99
	88	0.88	340	138.57	1.3594	6.03E-03	0.6027	0.00413	329.24
	93	0.93	370	150.69	1.4782	6.37E-03	0.6370	0.00413	357.91
	98	0.98	400	162.80	1.5971	6.71E-03	0.6712	0.00413	386.55
	103	1.03	430	174.92	1.7160	7.05E-03	0.7055	0.00413	415.18
	107	1.07	450	183.00	1.7952	7.33E-03	0.7329	0.00413	434.23
	112	1.12	480	195.11	1.9141	7.67E-03	0.7671	0.00414	462.83
	121	1.21	530	215.31	2.1122	8.29E-03	0.8288	0.00414	510.41
	129	1.29	570	231.47	2.2707	8.84E-03	0.8836	0.00414	548.41
	136	1.36	600	243.58	2.3895	9.32E-03	0.9315	0.00414	576.84
	142.5	1.43	627	254.49	2.4965	9.76E-03	0.9760	0.00414	602.39
descarga	146	1.46	620	251.66	2.4688	1.00E-02	1.0000	0.00415	595.56
	147	1.47	610	247.62	2.4292	1.01E-02	1.0068	0.00415	585.96
	147.5	1.48	590	239.54	2.3499	1.01E-02	1.0103	0.00415	566.82
	147	1.47	570	231.47	2.2707	1.01E-02	1.0068	0.00415	547.73
	144	1.44	525	213.29	2.0924	9.86E-03	0.9863	0.00414	504.82
	141	1.41	490	199.15	1.9537	9.66E-03	0.9658	0.00414	471.46
	138	1.38	460	187.04	1.8348	9.45E-03	0.9452	0.00414	442.87
	135	1.35	430	174.92	1.7160	9.25E-03	0.9247	0.00414	414.26
	131.5	1.32	400	162.80	1.5971	9.01E-03	0.9007	0.00414	385.66
	129.2	1.29	380	154.72	1.5178	8.85E-03	0.8849	0.00414	366.58
	125	1.25	350	142.61	1.3990	8.56E-03	0.8562	0.00414	337.97
	120	1.20	315	128.47	1.2603	8.22E-03	0.8219	0.00414	304.57
	115	1.15	280	114.33	1.1216	7.88E-03	0.7877	0.00414	271.15
	110	1.10	250	102.22	1.0028	7.53E-03	0.7534	0.00414	242.50
	104	1.04	210	86.06	0.8443	7.12E-03	0.7123	0.00413	204.26
	97	0.97	170	69.91	0.6858	6.64E-03	0.6644	0.00413	165.99
	90	0.90	130	53.75	0.5273	6.16E-03	0.6164	0.00413	127.69
	81	0.81	90	37.59	0.3688	5.55E-03	0.5548	0.00413	89.36
	76	0.76	70	29.52	0.2895	5.21E-03	0.5205	0.00413	70.19
	70	0.70	50	21.44	0.2103	4.79E-03	0.4795	0.00412	51.00
	66.4	0.66	40	17.40	0.1707	4.55E-03	0.4548	0.00412	41.40
	58	0.58	20	9.32	0.0914	3.97E-03	0.3973	0.00412	22.19
	53	0.53	10	5.28	0.0518	3.63E-03	0.3630	0.00412	12.58
	50	0.50	4	2.86	0.0280	3.42E-03	0.3425	0.00412	6.81
	46.6	0.47	0	1.24	0.0122	3.19E-03	0.3192	0.00412	2.96

	LEC. DEFORM	LEC. DEFORM*0.01mm	LEC.CARGA	LEC.CARGA*CTE(kgf)	LEC.CARGA*CTE(KN)	Deform. E	Deform. E(%)	A'(m2)	ESF. DESVIADOR(KN/m2)
recarga	45.7	0.46	5	3.26	0.0320	3.13E-03	0.3130	0.00412	7.77
	45.4	0.45	10	5.28	0.0518	3.11E-03	0.3110	0.00412	12.58
	45.8	0.46	30	13.36	0.1311	3.14E-03	0.3137	0.00412	31.83
	47	0.47	50	21.44	0.2103	3.22E-03	0.3219	0.00412	51.08
	50	0.50	80	33.55	0.3292	3.42E-03	0.3425	0.00412	79.93
	55	0.55	120	49.71	0.4877	3.77E-03	0.3767	0.00412	118.38
	61.5	0.62	160	65.87	0.6461	4.21E-03	0.4212	0.00412	156.78
	68	0.68	200	82.02	0.8046	4.66E-03	0.4658	0.00412	195.15
	74.5	0.75	240	98.18	0.9631	5.10E-03	0.5103	0.00412	233.49
	83	0.83	290	118.37	1.1612	5.68E-03	0.5685	0.00413	281.35
	91.5	0.92	340	138.57	1.3594	6.27E-03	0.6267	0.00413	329.16
	98	0.98	380	154.72	1.5178	6.71E-03	0.6712	0.00413	367.37
	105	1.05	420	170.88	1.6763	7.19E-03	0.7192	0.00413	405.54
	110.5	1.11	450	183.00	1.7952	7.57E-03	0.7568	0.00414	434.13
	116	1.16	480	195.11	1.9141	7.95E-03	0.7945	0.00414	462.70
	121	1.21	510	207.23	2.0329	8.29E-03	0.8288	0.00414	491.26
	127	1.27	540	219.35	2.1518	8.70E-03	0.8699	0.00414	519.77
	133	1.33	570	231.47	2.2707	9.11E-03	0.9110	0.00414	548.26
	139	1.39	600	243.58	2.3895	9.52E-03	0.9521	0.00414	576.72
	143	1.43	620	251.66	2.4688	9.79E-03	0.9795	0.00414	595.68
	146.3	1.46	636	258.12	2.5322	1.00E-02	1.0021	0.00415	610.84
	150.5	1.51	655	265.80	2.6075	1.03E-02	1.0308	0.00415	628.81
	156.7	1.57	682.7	276.98	2.7172	1.07E-02	1.0733	0.00415	655.00
	160	1.60	695	281.95	2.7660	1.10E-02	1.0959	0.00415	666.60
	165	1.65	712	288.82	2.8333	1.13E-02	1.1301	0.00415	682.59
	171.8	1.72	725.5	294.27	2.8868	1.18E-02	1.1767	0.00415	695.15
	175	1.75	730	296.09	2.9046	1.20E-02	1.1986	0.00415	699.29
Pico	183	1.83	733.1	297.34	2.9169	1.25E-02	1.2534	0.00416	701.8598
	190	1.90	731	296.49	2.9086	1.30E-02	1.3014	0.00416	699.52
	200	2.00	715	290.03	2.8452	1.37E-02	1.3699	0.00416	683.80
	210	2.10	685	277.91	2.7263	1.44E-02	1.4384	0.00416	654.77
	220	2.20	647	262.57	2.5758	1.51E-02	1.5068	0.00417	618.18
	230	2.30	610	247.62	2.4292	1.58E-02	1.5753	0.00417	582.59
	240.1	2.40	571	231.87	2.2746	1.64E-02	1.6445	0.00417	545.15
	245	2.45	554	225.00	2.2073	1.68E-02	1.6781	0.00417	528.82
	251.1	2.51	532	216.12	2.1201	1.72E-02	1.7199	0.00418	507.72
	255	2.55	520	211.27	2.0726	1.75E-02	1.7466	0.00418	496.20
	262.7	2.63	498	202.38	1.9854	1.80E-02	1.7993	0.00418	475.08
	270	2.70	478	194.31	1.9061	1.85E-02	1.8493	0.00418	455.88
	283.5	2.84	445	180.98	1.7754	1.94E-02	1.9418	0.00419	424.21
	290	2.90	432	175.73	1.7239	1.99E-02	1.9863	0.00419	411.72
	300	3.00	415	168.86	1.6565	2.05E-02	2.0548	0.00419	395.35
	309.2	3.09	402	163.61	1.6050	2.12E-02	2.1178	0.00419	382.81
	320	3.20	389	158.36	1.5535	2.19E-02	2.1918	0.00420	370.25
	330	3.30	378	153.92	1.5099	2.26E-02	2.2603	0.00420	359.61
	338.5	3.39	370	150.69	1.4782	2.32E-02	2.3185	0.00420	351.85
	350	3.50	361	147.05	1.4426	2.40E-02	2.3973	0.00420	343.08
	360	3.60	355	144.63	1.4188	2.47E-02	2.4658	0.00421	337.19
	383.9	3.84	347	141.40	1.3871	2.63E-02	2.6295	0.00421	329.11
	400	4.00	337	137.36	1.3475	2.74E-02	2.7397	0.00422	319.34
	420	4.20	332	135.34	1.3277	2.88E-02	2.8767	0.00423	314.20
	444.6	4.45	328	133.72	1.3118	3.05E-02	3.0452	0.00423	309.92
	460	4.60	327	133.32	1.3078	3.15E-02	3.1507	0.00424	308.64
	480	4.80	326	132.91	1.3039	3.29E-02	3.2877	0.00424	307.27
	500	5.00	325.2	132.59	1.3007	3.42E-02	3.4247	0.00425	306.09
	525.4	5.25	325	132.51	1.2999	3.60E-02	3.5986	0.00426	305.35
	540	5.40	324.8	132.43	1.2991	3.70E-02	3.6986	0.00426	304.85
	560	5.60	324.5	132.31	1.2979	3.84E-02	3.8356	0.00427	304.14
	580	5.80	324.1	132.15	1.2964	3.97E-02	3.9726	0.00427	303.34
	607.2	6.07	324	132.11	1.2960	4.16E-02	4.1589	0.00428	302.65
	620	6.20	323.8	132.03	1.2952	4.25E-02	4.2466	0.00429	302.19
	640	6.40	323.4	131.86	1.2936	4.38E-02	4.3836	0.00429	301.39
	660	6.60	323.2	131.78	1.2928	4.52E-02	4.5205	0.00430	300.77
	687.1	6.87	323.2	131.78	1.2928	4.71E-02	4.7062	0.00431	300.19
	700	7.00	323	131.70	1.2920	4.79E-02	4.7945	0.00431	299.73
	720	7.20	322.7	131.58	1.2908	4.93E-02	4.9315	0.00432	299.02
	740	7.40	322.7	131.58	1.2908	5.07E-02	5.0685	0.00432	298.59
	767.9	7.68	322.5	131.50	1.2900	5.26E-02	5.2596	0.00433	297.81
	780	7.80	322.4	131.46	1.2896	5.34E-02	5.3425	0.00434	297.45
	800	8.00	322.4	131.46	1.2896	5.48E-02	5.4795	0.00434	297.02
	828.5	8.29	322.2	131.38	1.2888	5.67E-02	5.6747	0.00435	296.23
	840	8.40	322.2	131.38	1.2888	5.75E-02	5.7534	0.00435	295.98
	860	8.60	322.2	131.38	1.2888	5.89E-02	5.8904	0.00436	295.55
	880	8.80	322	131.30	1.2880	6.03E-02	6.0274	0.00437	294.94
	905	9.05	322	131.30	1.2880	6.20E-02	6.1986	0.00438	294.40
	920	9.20	321.8	131.22	1.2872	6.30E-02	6.3014	0.00438	293.90
	940	9.40	321.7	131.18	1.2868	6.44E-02	6.4384	0.00439	293.38
	960	9.60	321.5	131.10	1.2861	6.58E-02	6.5753	0.00439	292.77
	980	9.80	321.5	131.10	1.2861	6.71E-02	6.7123	0.00440	292.34
	990.2	9.90	321.4	131.06	1.2857	6.78E-02	6.7822	0.00440	292.03
	1000	10.00	321.3	131.02	1.2853	6.85E-02	6.8493	0.00441	291.73


ESF. DESVIADOR VS DEFORMACION - MUESTRA M6
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

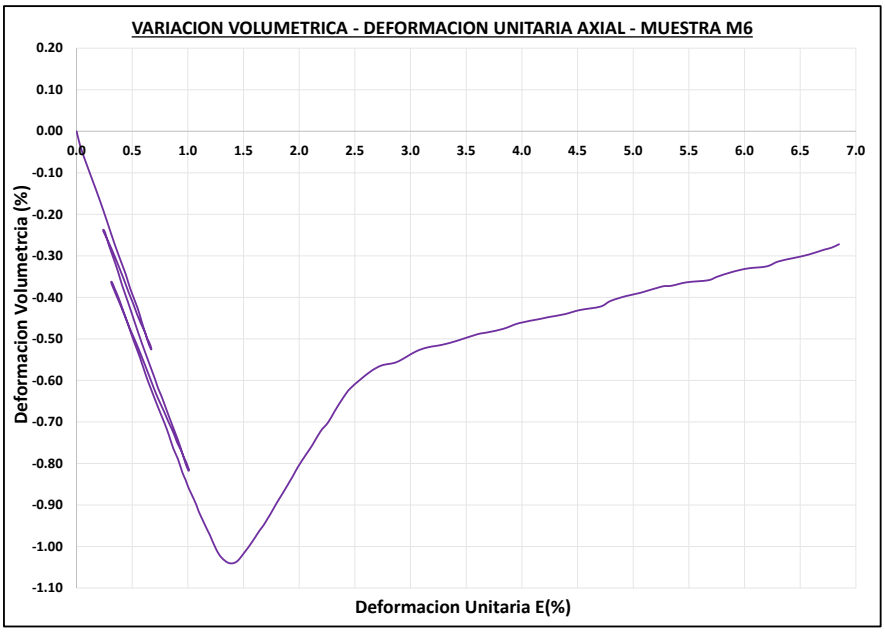
Muestra Nro: M6 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca
Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Fecha:** 11/11/2024 - 12/11/24
Hoja Nro: 4

CURVA VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M6

ALTURA INCIAL	0.146	m	
CTE. BURETA BASE(ml):	0.1	Volumen inicial Vc (cm3):	599.168

	LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
carga	0	99.8	203	0	0	0.000	0.000	0.000
	5	97.6	203	2.2	0.22	-0.220	-0.037	0.034
	6	97.3	203	2.5	0.25	-0.250	-0.042	0.041
	10	96	203	3.8	0.38	-0.380	-0.063	0.068
	20	93	203	6.8	0.68	-0.680	-0.113	0.137
	30	90	203	9.8	0.98	-0.980	-0.164	0.205
	40	86.8	203	13	1.3	-1.300	-0.217	0.274
	50	83.5	203	16.3	1.63	-1.630	-0.272	0.342
	60	80.5	203	19.3	1.93	-1.930	-0.322	0.411
	65	79	203	20.8	2.08	-2.080	-0.347	0.445
	70.7	77	203	22.8	2.28	-2.280	-0.381	0.484
	80	74.3	203	25.5	2.55	-2.550	-0.426	0.548
	85	72.5	203	27.3	2.73	-2.730	-0.456	0.582
	90	70.7	203	29.1	2.91	-2.910	-0.486	0.616
descarga	95	69	203	30.8	3.08	-3.080	-0.514	0.651
	98	68.3	203	31.5	3.15	-3.150	-0.526	0.671
	97.5	68.7	203	31.1	3.11	-3.110	-0.519	0.668
	95	69.4	203	30.4	3.04	-3.040	-0.507	0.651
	93	69.8	203	30	3	-3.000	-0.501	0.637
	90.5	70.6	203	29.2	2.92	-2.920	-0.487	0.620
	88	71.2	203	28.6	2.86	-2.860	-0.477	0.603
	86	71.7	203	28.1	2.81	-2.810	-0.469	0.589
	83.5	72.3	203	27.5	2.75	-2.750	-0.459	0.572
	80.5	73.1	203	26.7	2.67	-2.670	-0.446	0.551
	79	73.5	203	26.3	2.63	-2.630	-0.439	0.541
	74	75	203	24.8	2.48	-2.480	-0.414	0.507
	68.5	76.5	203	23.3	2.33	-2.330	-0.389	0.469
	63.5	78	203	21.8	2.18	-2.180	-0.364	0.435
	60	79	203	20.8	2.08	-2.080	-0.347	0.411
	51	81.5	203	18.3	1.83	-1.830	-0.305	0.349
	42	83.8	203	16	1.6	-1.600	-0.267	0.288
	38	84.7	203	15.1	1.51	-1.510	-0.252	0.260
	35.5	85.3	203	14.5	1.45	-1.450	-0.242	0.243
recarga	35	85.4	203	14.4	1.44	-1.440	-0.240	0.240
	35	85.5	203	14.3	1.43	-1.430	-0.239	0.240
	35.2	85.6	203	14.2	1.42	-1.420	-0.237	0.241
	36	85.5	203	14.3	1.43	-1.430	-0.239	0.247
	38	85	203	14.8	1.48	-1.480	-0.247	0.260
	42	83.5	203	16.3	1.63	-1.630	-0.272	0.288
	49	81.3	203	18.5	1.85	-1.850	-0.309	0.336
	54.5	79.5	203	20.3	2.03	-2.030	-0.339	0.373
	60	77.5	203	22.3	2.23	-2.230	-0.372	0.411
	67	75.3	203	24.5	2.45	-2.450	-0.409	0.459
	74	73	203	26.8	2.68	-2.680	-0.447	0.507
	81	70.7	203	29.1	2.91	-2.910	-0.486	0.555
	88	68.5	203	31.3	3.13	-3.130	-0.522	0.603
	93	67	203	32.8	3.28	-3.280	-0.547	0.637
	98	65.5	203	34.3	3.43	-3.430	-0.572	0.671
	103	64	203	35.8	3.58	-3.580	-0.597	0.705
	107	62.7	203	37.1	3.71	-3.710	-0.619	0.733
	112	61.4	203	38.4	3.84	-3.840	-0.641	0.767
	121	58.7	203	41.1	4.11	-4.110	-0.686	0.829
	129	56.4	203	43.4	4.34	-4.340	-0.724	0.884
	136	54.3	203	45.5	4.55	-4.550	-0.759	0.932
	142.5	52	203	47.8	4.78	-4.780	-0.798	0.976
descarga	146	51	203	48.8	4.88	-4.880	-0.814	1.000
	147	50.8	203	49	4.9	-4.900	-0.818	1.007
	147.5	51	203	48.8	4.88	-4.880	-0.814	1.010
	147	51.1	203	48.7	4.87	-4.870	-0.813	1.007
	144	52	203	47.8	4.78	-4.780	-0.798	0.986
	141	52.7	203	47.1	4.71	-4.710	-0.786	0.966
	138	53.5	203	46.3	4.63	-4.630	-0.773	0.945
	135	54.2	203	45.6	4.56	-4.560	-0.761	0.925
	131.5	55	203	44.8	4.48	-4.480	-0.748	0.901
	129.2	55.7	203	44.1	4.41	-4.410	-0.736	0.885
	125	56.8	203	43	4.3	-4.300	-0.718	0.856
	120	58	203	41.8	4.18	-4.180	-0.698	0.822
	115	59.3	203	40.5	4.05	-4.050	-0.676	0.788
	110	60.5	203	39.3	3.93	-3.930	-0.656	0.753
	104	62	203	37.8	3.78	-3.780	-0.631	0.712
	97	64	203	35.8	3.58	-3.580	-0.597	0.664
	90	66	203	33.8	3.38	-3.380	-0.564	0.616
	81	68.5	203	31.3	3.13	-3.130	-0.522	0.555
	76	69.8	203	30	3	-3.000	-0.501	0.521
	70	71.3	203	28.5	2.85	-2.850	-0.476	0.479
	66.4	72.3	203	27.5	2.75	-2.750	-0.459	0.455
	58	74.6	203	25.2	2.52	-2.520	-0.421	0.397
	53	75.9	203	23.9	2.39	-2.390	-0.399	0.363
	50	76.7	203	23.1	2.31	-2.310	-0.386	0.342
	46.6	77.6	203	22.2	2.22	-2.220	-0.371	0.319

	LEC. DE DEFORMACION	LEC. DE BURETA BASE	PRESION POROS (kPa)	LEC VARIAC. VOLUM.	VARIAC. VOLUM.(ml)	VARIAC. VOLUM.(cm3)	AV/Vc (%)	DEFOR. UNITARIA E(%)
recarga	45.7	77.9	203	21.9	2.19	-2.190	-0.366	0.313
	45.4	78	203	21.8	2.18	-2.180	-0.364	0.311
	45.8	78.1	203	21.7	2.17	-2.170	-0.362	0.314
	47	77.9	203	21.9	2.19	-2.190	-0.366	0.322
	50	77.1	203	22.7	2.27	-2.270	-0.379	0.342
	55	75.8	203	24	2.4	-2.400	-0.401	0.377
	61.5	73.8	203	26	2.6	-2.600	-0.434	0.421
	68	71.8	203	28	2.8	-2.800	-0.467	0.466
	74.5	69.7	203	30.1	3.01	-3.010	-0.502	0.510
	83	67.2	203	32.6	3.26	-3.260	-0.544	0.568
	91.5	64.4	203	35.4	3.54	-3.540	-0.591	0.627
	98	62.5	203	37.3	3.73	-3.730	-0.623	0.671
	105	60.5	203	39.3	3.93	-3.930	-0.656	0.719
	110.5	59	203	40.8	4.08	-4.080	-0.681	0.757
	116	57.5	203	42.3	4.23	-4.230	-0.706	0.795
	121	56	203	43.8	4.38	-4.380	-0.731	0.829
	127	54	203	45.8	4.58	-4.580	-0.764	0.870
	133	52.5	203	47.3	4.73	-4.730	-0.789	0.911
	139	50.5	203	49.3	4.93	-4.930	-0.823	0.952
	143	49.5	203	50.3	5.03	-5.030	-0.839	0.979
	146.3	48.5	203	51.3	5.13	-5.130	-0.856	1.002
	150.5	47.5	203	52.3	5.23	-5.230	-0.873	1.031
	156.7	46	203	53.8	5.38	-5.380	-0.898	1.073
	160	45	203	54.8	5.48	-5.480	-0.915	1.096
	165	43.8	203	56	5.6	-5.600	-0.935	1.130
	171.8	42.2	203	57.6	5.76	-5.760	-0.961	1.177
	175	41.5	203	58.3	5.83	-5.830	-0.973	1.199
Pico	183	39.5	203	60.3	6.03	-6.030	-1.006	1.253
	190	38.3	203	61.5	6.15	-6.150	-1.026	1.301
	200	37.49	203	62.31	6.23	-6.231	-1.040	1.3699
	210	37.7	203	62.1	6.21	-6.210	-1.036	1.438
	220	39	203	60.8	6.08	-6.080	-1.015	1.507
	230	40.5	203	59.3	5.93	-5.930	-0.990	1.575
	240.1	42.2	203	57.6	5.76	-5.760	-0.961	1.645
	245	42.9	203	56.9	5.69	-5.690	-0.950	1.678
	251.1	44	203	55.8	5.58	-5.580	-0.931	1.720
	255	44.7	203	55.1	5.51	-5.510	-0.920	1.747
	262.7	46.2	203	53.6	5.36	-5.360	-0.895	1.799
	270	47.5	203	52.3	5.23	-5.230	-0.873	1.849
	283.5	50	203	49.8	4.98	-4.980	-0.831	1.942
	290	51.3	203	48.5	4.85	-4.850	-0.809	1.986
	300	53	203	46.8	4.68	-4.680	-0.781	2.055
	309.2	54.5	203	45.3	4.53	-4.530	-0.756	2.118
	320	56.5	203	43.3	4.33	-4.330	-0.723	2.192
	330	57.8	203	42	4.2	-4.200	-0.701	2.260
	338.5	59.4	203	40.4	4.04	-4.040	-0.674	2.318
	350	61.4	203	38.4	3.84	-3.840	-0.641	2.397
	360	62.8	203	37	3.7	-3.700	-0.618	2.466
	383.9	65	203	34.8	3.48	-3.480	-0.581	2.629
	400	66	203	33.8	3.38	-3.380	-0.564	2.740
	420	66.5	203	33.3	3.33	-3.330	-0.556	2.877
	444.6	68	203	31.8	3.18	-3.180	-0.531	3.045
	460	68.6	203	31.2	3.12	-3.120	-0.521	3.151
	480	69	203	30.8	3.08	-3.080	-0.514	3.288
	500	69.6	203	30.2	3.02	-3.020	-0.504	3.425
	525.4	70.5	203	29.3	2.93	-2.930	-0.489	3.599
	540	70.8	203	29	2.9	-2.900	-0.484	3.699
	560	71.3	203	28.5	2.85	-2.850	-0.476	3.836
	580	72.1	203	27.7	2.77	-2.770	-0.462	3.973
	607.2	72.7	203	27.1	2.71	-2.710	-0.452	4.159
	620	73	203	26.8	2.68	-2.680	-0.447	4.247
	640	73.4	203	26.4	2.64	-2.640	-0.441	4.384
	660	74	203	25.8	2.58	-2.580	-0.431	4.521
	687.1	74.5	203	25.3	2.53	-2.530	-0.422	4.706
	700	75.3	203	24.5	2.45	-2.450	-0.409	4.795
	720	76	203	23.8	2.38	-2.380	-0.397	4.932
	740	76.5	203	23.3	2.33	-2.330	-0.389	5.068
	767.9	77.4	203	22.4	2.24	-2.240	-0.374	5.260
	780	77.5	203	22.3	2.23	-2.230	-0.372	5.342
	800	78	203	21.8	2.18	-2.180	-0.364	5.479
	828.5	78.3	203	21.5	2.15	-2.150	-0.359	5.675
	840	78.8	203	21	2.1	-2.100	-0.350	5.753
	860	79.5	203	20.3	2.03	-2.030	-0.339	5.890
	880	80	203	19.8	1.98	-1.980	-0.330	6.027
	905	80.3	203	19.5	1.95	-1.950	-0.325	6.199
	920	81	203	18.8	1.88	-1.880	-0.314	6.301
	940	81.5	203	18.3	1.83	-1.830	-0.305	6.438
	960	82	203	17.8	1.78	-1.780	-0.297	6.575
	980	82.7	203	17.1	1.71	-1.710	-0.285	6.712
	990.2	83	203	16.8	1.68	-1.680	-0.280	6.782
	1000	83.5	203	16.3	1.63	-1.630	-0.272	6.849


VARIACION VOLUMETRICA - DEFORMACION UNITARIA AXIAL - MUESTRA M6
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.20
-0.30
-0.40
-0.50
-0.60
-0.70
-0.80
-0.90
-1.00
-1.10
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion Volumetrcia (%)
Deformacion Unitaria E(%)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL DRENADO CONSOLIDADO PARA SUELOS - ASTM D7181

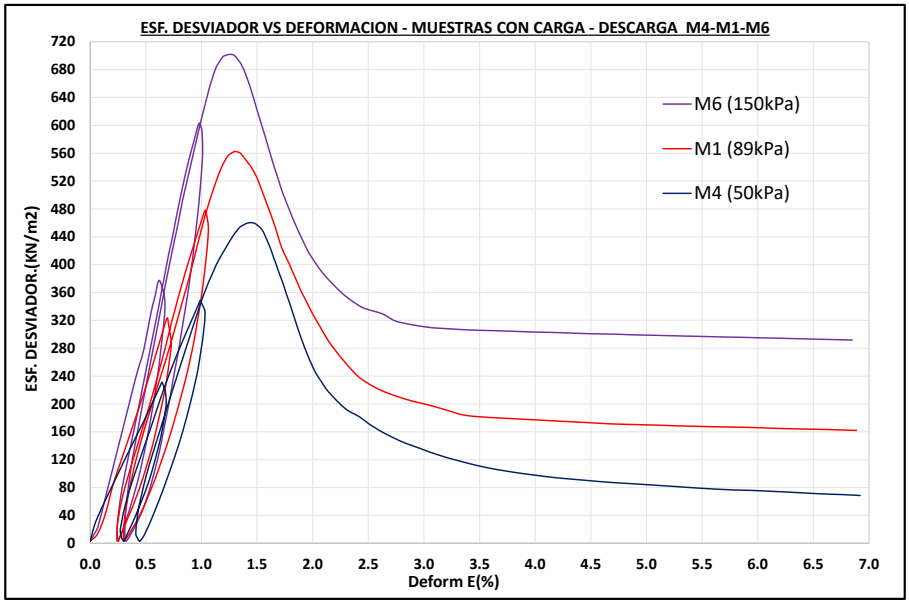
PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

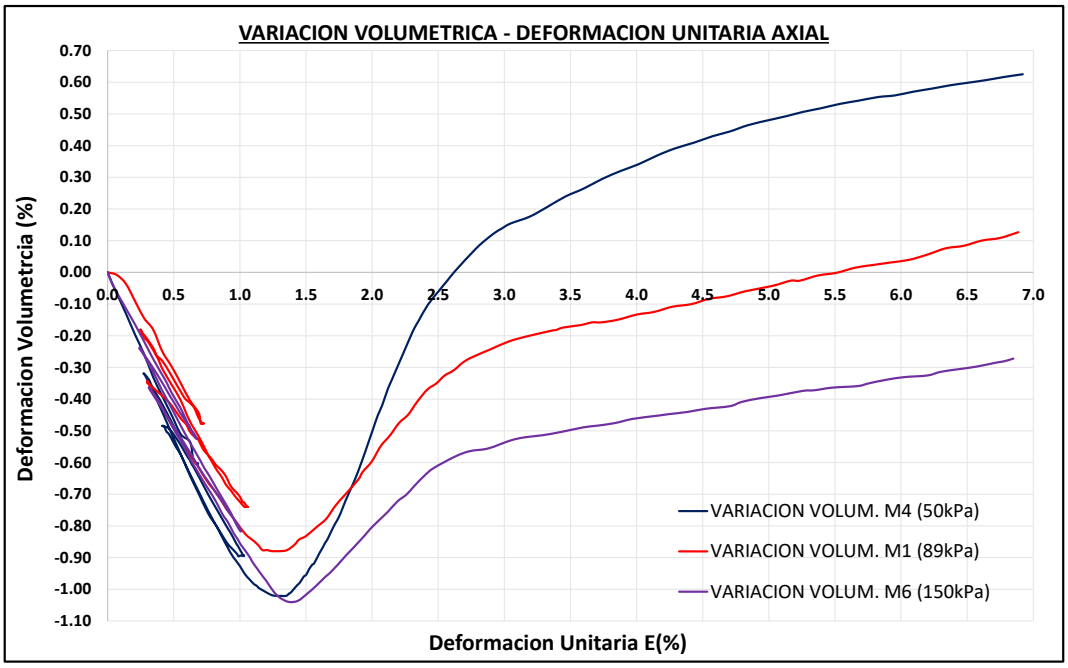
Muestra Nro: M4 - M1 - M6 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian **Hoja Nro:** 1

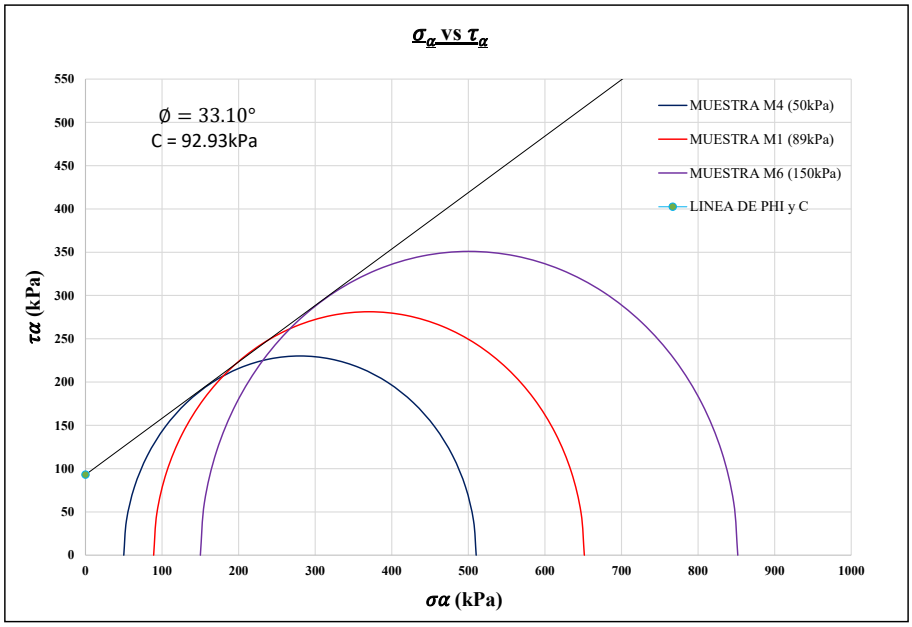
CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION DE MUESTRAS M4-M1-M6



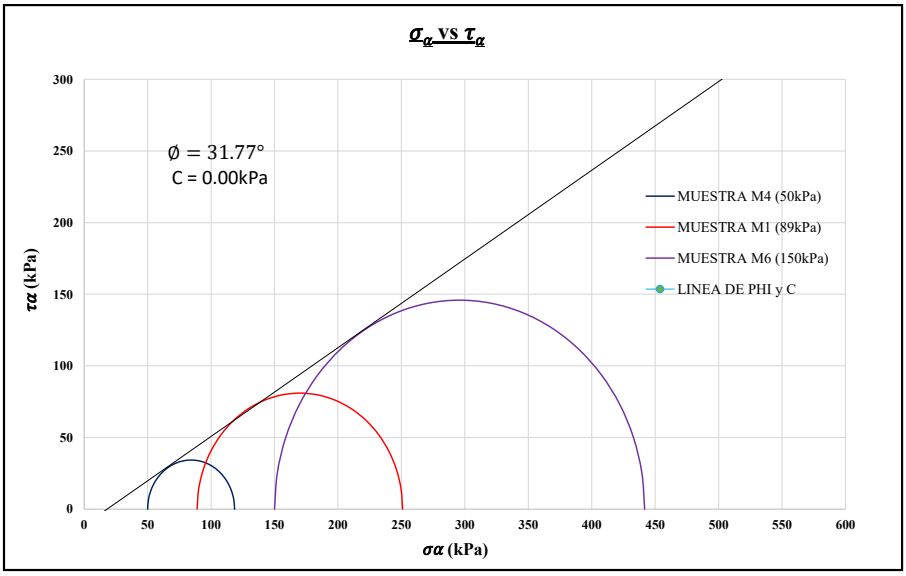
CURVAS DE VARIACION VOLUMETRICA DE MUESTRAS M4-M1-M6



CIRCULOS DE MORH Y PARAMETROS DE RESISTENCIA DE MUESTRAS M4-M1-M6



CIRCULOS DE MORH Y PARAMETROS DE RESISTENCIA RESIDUAL DE MUESTRAS M4-M1-M6



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROCEDIMIENTO PARA HALLAR LOS PARAMETROS DE CORTE PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Formulas a Usar (Criterio deL MIT):

$$p = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \qquad q = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \qquad \sigma 1 = Es.f\ Desv. + \sigma 3$$

$\sigma 3$: $Esfuerzo\ de\ Confinamiento$
$\sigma 1$: $Esfuerzo\ Total$

MUESTRA M4 (50kPa)

p	q
51.47	1.47
61.99	11.99
69.16	19.16
81.32	31.32
92.76	42.76
104.42	54.42
115.82	65.82
126.97	76.97
138.10	88.10
149.93	99.93
161.74	111.74
165.52	115.52
163.61	113.61
160.74	110.74
157.41	107.41
150.75	100.75
146.48	96.48
141.74	91.74
136.99	86.99
132.25	82.25
127.03	77.03
122.19	72.19
115.65	65.65
108.06	58.06
99.51	49.51
92.62	42.62
84.98	34.98
71.14	21.14
64.81	14.81
58.76	8.76
55.33	5.33
53.85	3.85
51.47	1.47
54.33	4.33
58.62	8.62
61.48	11.48
65.78	15.78
70.54	20.54
76.17	26.17
86.26	36.26
96.83	46.83
103.20	53.20
119.25	69.25
134.99	84.99
151.76	101.76
167.37	117.37
181.76	131.76
195.19	145.19
207.89	157.89
214.28	164.28
221.98	171.98
224.32	174.32
221.93	171.93
217.15	167.15
213.64	163.64
209.57	159.57
207.69	157.69
195.87	145.87
193.51	143.51
188.79	138.79
181.71	131.71
179.35	129.35
174.62	124.62
162.15	112.15
150.58	100.58
129.97	79.97
112.46	62.46
96.64	46.64
85.92	35.92
85.21	35.21
84.49	34.49
81.60	31.60
79.42	29.42
74.76	24.76
67.87	17.87
61.46	11.46
55.75	5.75
52.42	2.42
51.46	1.46
53.85	3.85
56.23	6.23
60.99	10.99
65.76	15.76
71.94	21.94
75.28	25.28
80.51	30.51

MUESTRA M1 (89kPa)

p	q
90.45	1.45
96.03	7.03
110.43	21.43
131.37	42.37
147.81	58.81
163.98	74.98
180.41	91.41
196.83	107.83
214.06	125.06
232.40	143.40
250.29	161.29
245.95	156.95
237.18	148.18
231.02	142.02
222.82	133.82
206.94	117.94
192.22	103.22
179.76	90.76
165.22	76.22
156.53	67.53
136.11	47.11
122.01	33.01
113.35	24.35
108.27	19.27
94.84	5.84
92.10	3.10
90.45	1.45
94.23	5.23
102.01	13.01
111.21	22.21
117.10	28.10
128.41	39.41
147.46	58.46
156.30	67.30
174.47	85.47
193.04	104.04
212.99	123.99
233.71	144.71
248.43	159.43
250.07	161.07
255.34	166.34
265.70	176.70
275.35	186.35
285.04	196.04
294.02	205.02
302.85	213.85
311.54	222.54
320.26	231.26
328.00	239.00
324.45	235.45
315.76	226.76
303.38	214.38
287.13	198.13
277.71	188.71
265.57	176.57
248.77	159.77
232.89	143.89
219.82	130.82
207.86	118.86
195.38	106.38
187.11	98.11
177.52	88.52
168.02	79.02
157.62	68.62
151.15	62.15
143.33	54.33
137.46	48.46
128.55	39.55
115.44	26.44
106.08	17.08
97.52	8.52
96.58	7.58
94.93	5.93
93.28	4.28
92.34	3.34
91.16	2.16
90.45	1.45
92.10	3.10
96.82	7.82
107.52	18.52
124.43	35.43
140.20	51.20
149.23	60.23
169.43	80.43
187.34	98.34
205.37	116.37

MUESTRA M6 (150kPa)

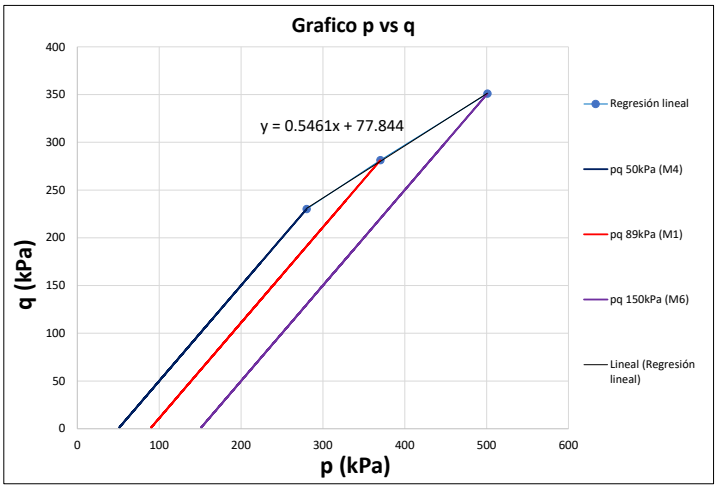
p	q
151.48	1.48
156.31	6.31
161.61	11.61
182.82	32.82
204.47	54.47
226.10	76.10
247.70	97.70
269.26	119.26
278.84	128.84
289.83	139.83
316.15	166.15
327.13	177.13
338.59	188.59
332.76	182.76
324.10	174.10
313.55	163.55
300.15	150.15
290.58	140.58
278.61	128.61
269.04	119.04
261.85	111.85
252.27	102.27
242.69	92.69
237.90	87.90
223.52	73.52
209.14	59.14
197.14	47.14
189.94	39.94
173.13	23.13
158.70	8.70
153.89	3.89
151.48	1.48
153.41	3.41
156.30	6.30
161.11	11.11
165.93	15.93
175.56	25.56
189.99	39.99
209.21	59.21
223.62	73.62
238.02	88.02
257.19	107.19
276.35	126.35
295.50	145.50
314.62	164.62
328.95	178.95
343.28	193.28
357.59	207.59
367.12	217.12
381.41	231.41
405.21	255.21
424.20	274.20
438.42	288.42
451.20	301.20
447.78	297.78
442.98	292.98
433.41	283.41
423.86	273.86
402.41	252.41
385.73	235.73
371.43	221.43
357.13	207.13
342.83	192.83
333.29	183.29
318.99	168.99
302.29	152.29
285.58	135.58
271.25	121.25
252.13	102.13
233.00	83.00
213.85	63.85
194.68	44.68
185.09	35.09
175.50	25.50
170.70	20.70
161.10	11.10
156.29	6.29
153.40	3.40
151.48	1.48
153.89	3.89
156.29	6.29
165.92	15.92
175.54	25.54
189.97	39.97
209.19	59.19
228.39	78.39

84.79	34.79
92.64	42.64
102.86	52.86
112.26	62.26
129.90	79.90
147.80	97.80
165.20	115.20
182.48	132.48
206.42	156.42
216.40	166.40
224.96	174.96
232.09	182.09
239.13	189.13
245.16	195.16
249.05	199.05
251.29	201.29
256.42	206.42
261.03	211.03
265.72	215.72
270.23	220.23
274.07	224.07
277.25	227.25
278.36	228.36
278.72	228.72
279.62	229.62
280.12	230.12
280.12	230.12
279.53	229.53
278.31	228.31
277.04	227.04
274.67	224.67
272.76	222.76
265.61	215.61
260.85	210.85
256.10	206.10
253.73	203.73
250.88	200.88
244.24	194.24
239.49	189.49
234.75	184.75
228.60	178.60
220.78	170.78
203.53	153.53
194.31	144.31
187.47	137.47
175.42	125.42
170.41	120.41
166.20	116.20
161.19	111.19
158.39	108.39
151.90	101.90
147.26	97.26
145.17	95.17
143.59	93.59
140.68	90.68
135.70	85.70
132.57	82.57
129.59	79.59
123.56	73.56
120.75	70.75
118.75	68.75
117.75	67.75
115.66	65.66
111.86	61.86
109.00	59.00
106.14	56.14
103.76	53.76
101.84	51.84
100.15	50.15
98.70	48.70
97.25	47.25
96.27	46.27
95.29	45.29
94.31	44.31
93.52	43.52
92.87	42.87
92.02	42.02
91.37	41.37
90.73	40.73
89.95	39.95
89.25	39.25
88.66	38.66
88.14	38.14
87.91	37.91
87.41	37.41
86.86	36.86
86.31	36.31
85.72	35.72
85.22	35.22
84.86	34.86
84.27	34.27

223.05	134.05
241.97	152.97
261.79	172.79
281.36	192.36
303.20	214.20
326.06	237.06
341.86	252.86
349.77	260.77
357.16	268.16
362.91	273.91
367.30	278.30
369.30	280.30
370.23	281.23
368.55	279.55
362.76	273.76
359.16	270.16
353.23	264.23
348.17	259.17
333.42	244.42
318.36	229.36
301.14	212.14
289.24	200.24
270.24	181.24
264.93	175.93
254.01	165.01
244.44	155.44
235.03	146.03
227.43	138.43
220.59	131.59
214.26	125.26
208.11	119.11
204.39	115.39
201.41	112.41
198.66	109.66
196.46	107.46
194.46	105.46
191.14	102.14
188.47	99.47
185.40	96.40
181.63	92.63
180.90	91.90
180.65	91.65
180.15	91.15
179.33	90.33
178.98	89.98
178.73	89.73
178.16	89.16
177.58	88.58
177.00	88.00
176.42	87.42
175.84	86.84
175.27	86.27
174.69	85.69
174.34	85.34
173.93	84.93
173.59	84.59
173.39	84.39
173.09	84.09
172.83	83.83
172.57	83.57
172.36	83.36
172.15	83.15
171.77	82.77
171.42	82.42
171.12	82.12
170.87	81.87
170.66	81.66
170.32	81.32
169.98	80.98

247.58	97.58
266.74	116.74
290.68	140.68
314.58	164.58
333.69	183.69
352.77	202.77
367.06	217.06
381.35	231.35
395.63	245.63
409.89	259.89
424.13	274.13
438.36	288.36
447.84	297.84
455.42	305.42
464.41	314.41
477.50	327.50
483.30	333.30
491.30	341.30
497.58	347.58
499.65	349.65
500.93	350.93
499.76	349.76
491.90	341.90
477.39	327.39
459.09	309.09
441.30	291.30
422.57	272.57
414.41	264.41
403.86	253.86
398.10	248.10
387.54	237.54
377.94	227.94
362.11	212.11
355.86	205.86
347.68	197.68
341.41	191.41
335.12	185.12
329.80	179.80
325.92	175.92
321.54	171.54
318.60	168.60
314.55	164.55
309.67	159.67
307.10	157.10
304.96	154.96
304.32	154.32
303.64	153.64
303.05	153.05
302.68	152.68
302.43	152.43
302.07	152.07
301.67	151.67
301.33	151.33
301.10	151.10
300.70	150.70
300.39	150.39
300.10	150.10
299.86	149.86
299.51	149.51
299.30	149.30
298.90	148.90
298.73	148.73
298.51	148.51
298.11	148.11
297.99	147.99
297.78	147.78
297.47	147.47
297.20	147.20
296.95	146.95
296.69	146.69
296.38	146.38
296.17	146.17
296.02	146.02
295.86	145.86

DIAGRAMA P VS Q PARA HALLAR LOS PARAMETROS DE CORTE PICO PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6



$q = a + p * \tan(\alpha)$

- $\phi = arcsen(\tan(\alpha))$
- $c = \frac{a}{\cos(\phi)}$

$\Leftrightarrow$

$q = p * sin(\phi) + c * \cos(\phi)$

- $\sin(\phi) = (\tan(\alpha))$
- $a = c * cos(\phi)$

	p max	q max
Muestra M4	280.1	230.1
Muestra M1	370.2	281.2
Muestra M6	500.9	350.9

tan (α)		PARAMETROS DE CORTE DEL TRIAXIAL	
0.546129858			
a	ϕ (rad)	ϕ °	c kPa
77.844	0.578	33.10	92.93

$\theta = 45° + \frac{\varphi}{2}$

Angulo de falla:	θ°	61.55
	θ (Rad)	1.07

Para hallar los circulos de Mohr se usaran las dos siguientes ecuaciones donde α' es el angulo que va de 0° a 180°:

$$\sigma_\alpha = \text{pmax} - \text{qmax} \cdot cos(\alpha')$$
$$\tau_\alpha = qmax \cdot sen(\alpha')$$

CIRCULOS DE MORH Y PARAMETROS DE RESISTENCIA DE MUESTRAS M4-M1-M6

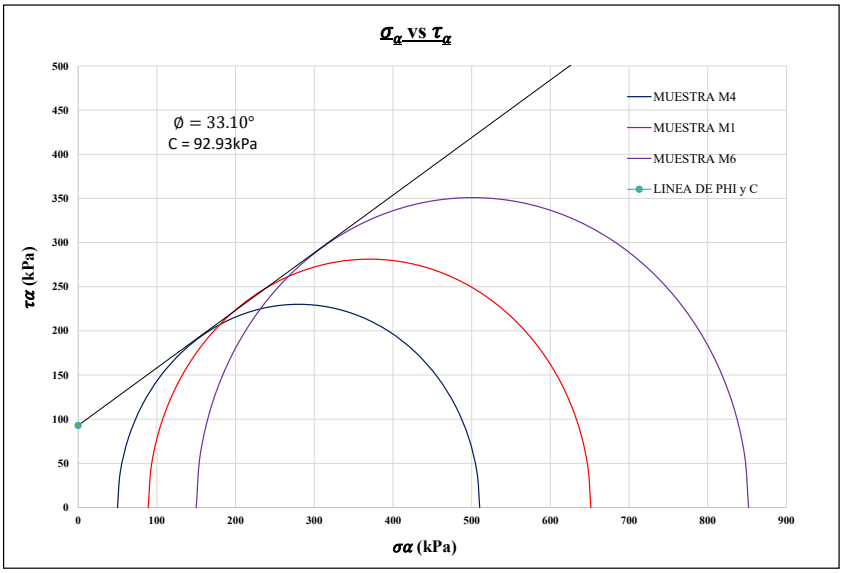
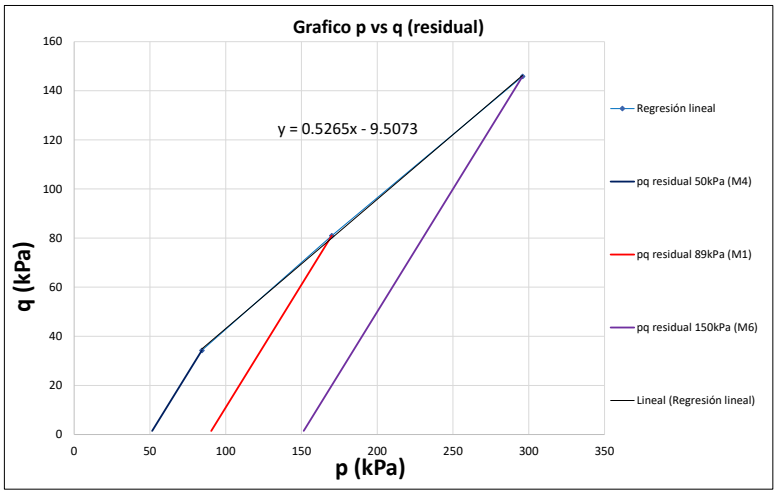


DIAGRAMA P VS Q PARA HALLAR LOS PARAMETROS DE CORTE RESIDUAL PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6



$q = a + p * \tan(\alpha)$

- $\phi = arcsen(\tan(\alpha))$
- $c = \frac{a}{\cos(\phi)}$

$\Leftrightarrow$

$q = p * sin(\phi) + c * \cos(\phi)$

- $\sin(\phi) = (\tan(\alpha))$
- $a = c * cos(\phi)$

	p max residual	q max residual
Muestra M4	84.3	34.3
Muestra M1	170.0	81.0
Muestra M6	295.9	145.9

tan (α)		PARAMETROS DE CORTE RESIDUAL	
0.526504184			
a	ϕ (rad)	ϕ °	c kPa
-9.507	0.554	31.77	0.00

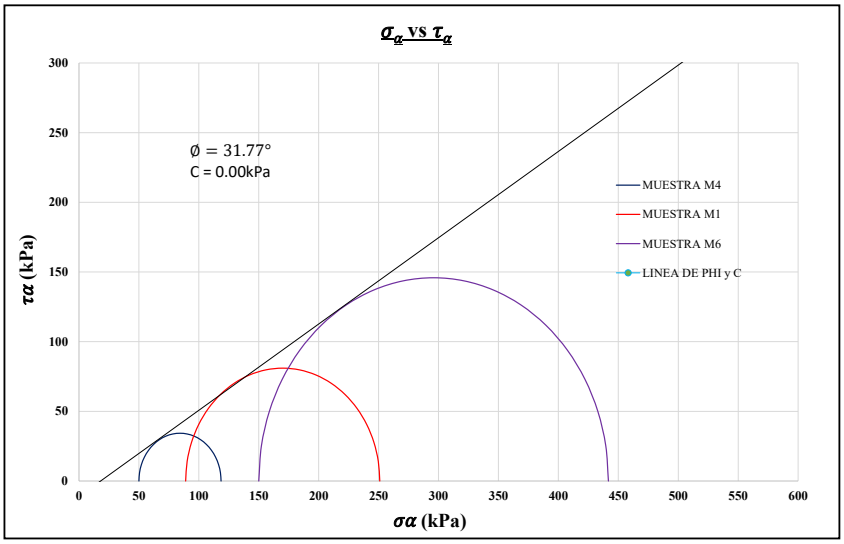
$\theta = 45° + \frac{\varphi}{2}$

Angulo de falla:	θ°	60.88
	θ (Rad)	1.06

Para hallar los circulos de Mohr se usaran las dos siguientes ecuaciones donde α' es el angulo que va de 0° a 180°:

$$\sigma_\alpha = \text{pmax residual} - \text{qmax residual} \cdot cos(\alpha')$$
$$\tau_\alpha = qmax\ residual \cdot sen(\alpha')$$

CIRCULOS DE MORH Y PARAMETROS DE RESISTENCIA RESIDUAL DE MUESTRAS M4-M1-M6



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

OBTENCION DEL MODULO DE ELASTICIDAD AL 50% DE ESFUERZO MAXIMO PARA LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION SIN CARGA DESCARGA M4 - M1 - M6

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

PARA LA CURVA M4 (50kPa)

σmax (kN/m2)	Def para σmax (%)
460.239	1.433

σmax/2 (kN/m2)	Def para σmax/2 (%)
230.119	0.00640

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}\,(\sigma_{max}/2)}{\varepsilon_{50\%}}$$

E50 (Kn/M2) - M3
35930.902

PARA LA CURVA M1 (89kPa)

σmax (kN/m2)	Def para σmax (%)
562.462	1.309

σmax/2 (kN/m2)	Def para σmax/2 (%)
281.231	0.00610

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}\,(\sigma_{max}/2)}{\varepsilon_{50\%}}$$

E50 (Kn/M2) - M2
46141.271

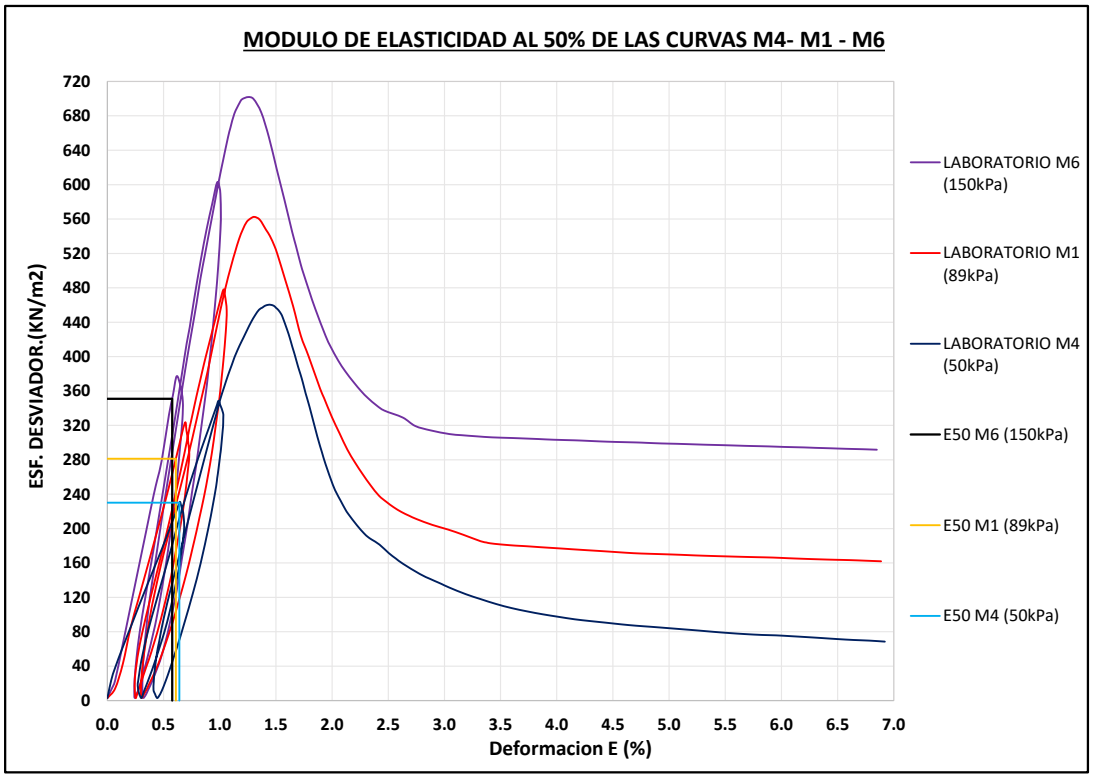
PARA LA CURVA M6 (150kPa)

σmax (kN/m2)	Def para σmax (%)
701.860	1.253

σmax/2 (kN/m2)	Def para σmax/2 (%)
350.930	0.00577

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}\,(\sigma_{max}/2)}{\varepsilon_{50\%}}$$

E50 (Kn/M2) - M5
60819.740



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

OBTENCION DE LA RELACION DE POISSON Y ANGULO DE DILATANCIA PARA M4 - M1 - M6

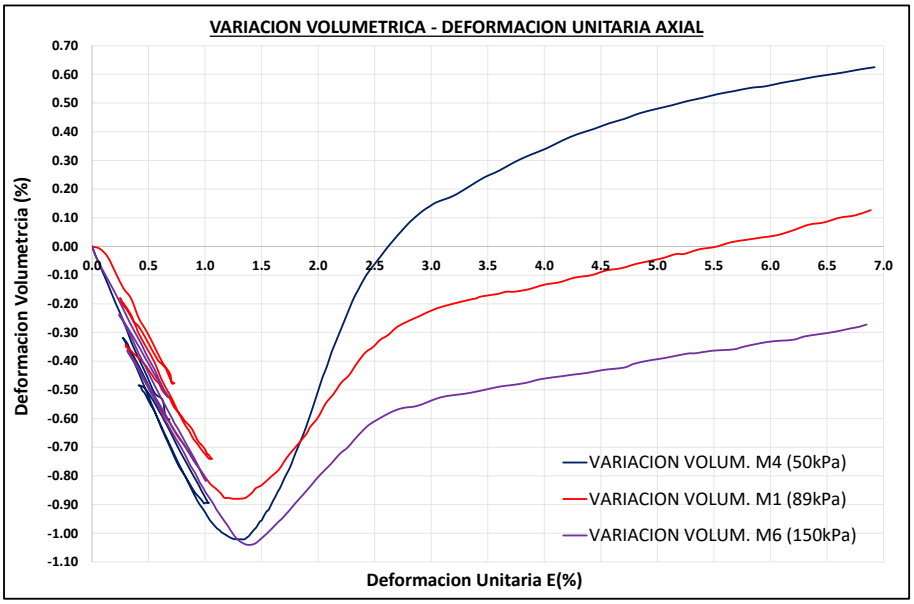
PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Muestra Nro: M4 - M1 - M6 **Solicitado por:** Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

CURVAS DE VARIACION VOLUMETRICA DE MUESTRAS M4-M1-M6



VALORES DE VARIACION VOLUMETRICA PICO MAS BAJO DE LABORATORIO

DE LABORATORIO DE CURVA VOLUM. M4	
Deform (%)	Valor PICO (%)
1.315	-1.021

DE LABORATORIO DE CURVA VOLUM. M1	
Deform (%)	Valor PICO (%)
1.274	-0.880

DE LABORATORIO DE CURVA VOLUM. M6	
Deform (%)	Valor PICO (%)
1.370	-1.040

$$v = \frac{1}{2} * (1 - \frac{Ev}{Ex})$$

Relacion de Poisson M3	
Ev	0.01021
Ex	0.01315
v	0.1118

Relacion de Poisson M2	
Ev	0.00880
Ex	0.01274
v	0.1548

Relacion de Poisson M5	
Ev	0.01040
Ex	0.01370
v	0.1204

$$sen(\psi) = \frac{a}{2+a} \quad ; \quad a = \frac{\Delta Ev\ (variacion\ Volumetrica)}{\Delta Ex\ (Deformacion\ Unitaria)}$$

Angulo de Dilatancia M3	
Ev	Ex
-0.5731	1.9419
-0.4945	2.0069
0.0785	0.0651
a	1.207
Seno (Ang. Dilatancia)	0.376
Ang. Dilatancia	22.11 Grados

Angulo de Dilatancia M2	
Ev	Ex
-0.5969	1.9972
-0.5475	2.0661
0.0493	0.0689
a	0.716
Seno (Ang. Dilatancia)	0.264
Ang. Dilatancia	15.29 Grados

Angulo de Dilatancia M5	
Ev	Ex
-0.9196	1.7466
-0.8946	1.7993
0.0250	0.0527
a	0.475
Seno (Ang. Dilatancia)	0.192
Ang. Dilatancia	11.06 Grados

ANEXO B

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

ANEXO B1

RESULTADOS DE SIMULACION MEDIANTE EL MODELO DE MOHR COULOMB

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION INICIAL DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE MOHR COULOMB)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test) **Nro de pasos de Calculo:** 100

SIMULACION DE CURVA M3 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	38.212
0.137	76.424
0.206	114.636
0.275	152.848
0.343	191.060
0.412	229.272
0.481	267.484
0.549	305.696
0.618	343.908
0.687	382.120
0.755	420.333
0.824	458.545
0.893	462.923
0.962	462.922
1.030	462.916
1.099	462.908
1.168	462.900
1.236	462.895
1.305	462.892
1.374	462.893
1.442	462.895
1.511	462.898
1.580	462.902
1.648	462.904
1.717	462.905
1.786	462.905
1.854	462.904
1.923	462.903
1.992	462.901
2.060	462.900
2.129	462.900
2.198	462.900
2.266	462.900
2.335	462.901
2.404	462.901
2.473	462.902
2.541	462.902
2.610	462.902
2.679	462.902
2.747	462.901
2.816	462.901
2.885	462.901
2.953	462.901
3.022	462.901
3.091	462.901
3.159	462.901
3.228	462.901
3.297	462.901
3.365	462.901
3.434	462.901
3.503	462.901
3.571	462.901
3.640	462.901
3.709	462.901
3.777	462.901
3.846	462.901
3.915	462.901
3.983	462.901
4.052	462.901
4.121	462.901
4.190	462.901
4.258	462.901
4.327	462.901
4.396	462.901
4.464	462.901
4.533	462.901
4.602	462.901

SIMULACION DE CURVA M2 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	38.373
0.138	76.746
0.207	115.119
0.276	153.491
0.345	191.864
0.414	230.237
0.483	268.610
0.552	306.983
0.621	345.356
0.690	383.728
0.759	422.101
0.828	460.474
0.897	498.847
0.966	537.220
1.035	556.719
1.104	556.712
1.172	556.702
1.241	556.692
1.310	556.684
1.379	556.679
1.448	556.679
1.517	556.681
1.586	556.686
1.655	556.690
1.724	556.693
1.793	556.695
1.862	556.696
1.931	556.695
2.000	556.693
2.069	556.691
2.138	556.689
2.207	556.689
2.276	556.688
2.345	556.689
2.414	556.690
2.483	556.690
2.552	556.691
2.621	556.691
2.690	556.692
2.759	556.691
2.828	556.691
2.897	556.691
2.966	556.690
3.035	556.690
3.104	556.690
3.173	556.690
3.242	556.690
3.311	556.691
3.380	556.691
3.449	556.691
3.517	556.691
3.586	556.691
3.655	556.691
3.724	556.691
3.793	556.691
3.862	556.691
3.931	556.691
4.000	556.691
4.069	556.691
4.138	556.691
4.207	556.691
4.276	556.691
4.345	556.691
4.414	556.691
4.483	556.691
4.552	556.691
4.621	556.691

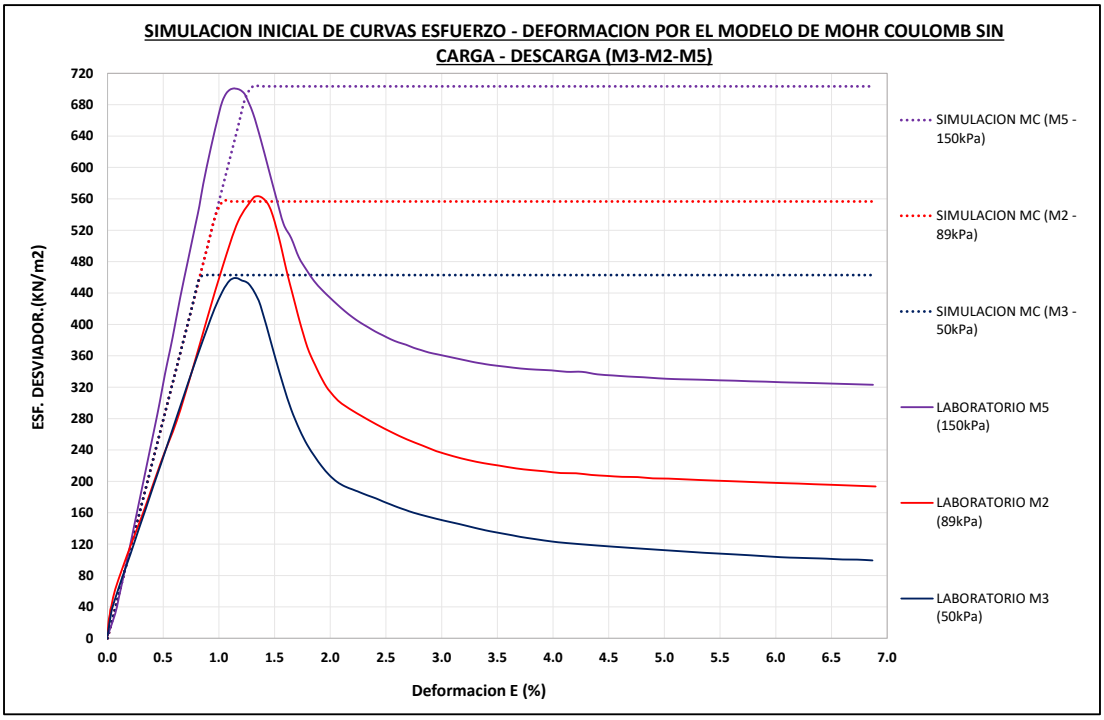
SIMULACION DE CURVA M5 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	38.239
0.137	76.479
0.206	114.718
0.275	152.957
0.344	191.197
0.412	229.436
0.481	267.675
0.550	305.914
0.619	344.154
0.687	382.393
0.756	420.632
0.825	458.872
0.893	497.111
0.962	535.350
1.031	573.590
1.100	611.829
1.168	650.068
1.237	688.308
1.306	703.421
1.375	703.417
1.443	703.406
1.512	703.393
1.581	703.382
1.650	703.375
1.718	703.372
1.787	703.374
1.856	703.379
1.924	703.384
1.993	703.389
2.062	703.392
2.131	703.393
2.199	703.392
2.268	703.391
2.337	703.388
2.406	703.386
2.474	703.385
2.543	703.384
2.612	703.385
2.680	703.385
2.749	703.386
2.818	703.387
2.887	703.388
2.955	703.388
3.024	703.388
3.093	703.388
3.162	703.387
3.230	703.387
3.299	703.387
3.368	703.386
3.437	703.386
3.505	703.387
3.574	703.387
3.643	703.387
3.711	703.387
3.780	703.387
3.849	703.387
3.918	703.387
3.986	703.387
4.055	703.387
4.124	703.387
4.193	703.387
4.261	703.387
4.330	703.387
4.399	703.387
4.467	703.387
4.536	703.387
4.605	703.387

4.670	462.901
4.739	462.901
4.808	462.901
4.876	462.901
4.945	462.901
5.014	462.901
5.082	462.901
5.151	462.901
5.220	462.901
5.288	462.901
5.357	462.901
5.426	462.901
5.494	462.901
5.563	462.901
5.632	462.901
5.701	462.901
5.769	462.901
5.838	462.901
5.907	462.901
5.975	462.901
6.044	462.901
6.113	462.901
6.181	462.901
6.250	462.901
6.319	462.901
6.387	462.901
6.456	462.901
6.525	462.901
6.593	462.901
6.662	462.901
6.731	462.901
6.799	462.901
6.868	462.901

4.690	556.691
4.759	556.691
4.828	556.691
4.897	556.691
4.966	556.691
5.035	556.691
5.104	556.691
5.173	556.691
5.242	556.691
5.311	556.691
5.380	556.691
5.449	556.691
5.518	556.691
5.587	556.691
5.656	556.691
5.725	556.691
5.793	556.691
5.862	556.691
5.931	556.691
6.000	556.691
6.069	556.691
6.138	556.691
6.207	556.691
6.276	556.691
6.345	556.691
6.414	556.691
6.483	556.691
6.552	556.691
6.621	556.691
6.690	556.691
6.759	556.691
6.828	556.691
6.897	556.691

4.674	703.387
4.742	703.387
4.811	703.387
4.880	703.387
4.949	703.387
5.017	703.387
5.086	703.387
5.155	703.387
5.223	703.387
5.292	703.387
5.361	703.387
5.430	703.387
5.498	703.387
5.567	703.387
5.636	703.387
5.705	703.387
5.773	703.387
5.842	703.387
5.911	703.387
5.980	703.387
6.048	703.387
6.117	703.387
6.186	703.387
6.254	703.387
6.323	703.387
6.392	703.387
6.461	703.387
6.529	703.387
6.598	703.387
6.667	703.387
6.736	703.387
6.804	703.387
6.873	703.387



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION CALIBRADA DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE MOHR COULOMB)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

PRIMERA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	31.73	51	3.50	462.90
2	0.14	63.46	52	3.57	462.90
3	0.21	95.19	53	3.64	462.90
4	0.27	126.92	54	3.71	462.90
5	0.34	158.65	55	3.78	462.90
6	0.41	190.38	56	3.85	462.90
7	0.48	222.11	57	3.91	462.90
8	0.55	253.84	58	3.98	462.90
9	0.62	285.58	59	4.05	462.90
10	0.69	317.31	60	4.12	462.90
11	0.76	349.04	61	4.19	462.90
12	0.82	380.77	62	4.26	462.90
13	0.89	412.50	63	4.33	462.90
14	0.96	444.23	64	4.40	462.90
15	1.03	462.92	65	4.46	462.90
16	1.10	462.92	66	4.53	462.90
17	1.17	462.92	67	4.60	462.90
18	1.24	462.91	68	4.67	462.90
19	1.30	462.90	69	4.74	462.90
20	1.37	462.90	70	4.81	462.90
21	1.44	462.89	71	4.88	462.90
22	1.51	462.89	72	4.95	462.90
23	1.58	462.89	73	5.01	462.90
24	1.65	462.90	74	5.08	462.90
25	1.72	462.90	75	5.15	462.90
26	1.79	462.90	76	5.22	462.90
27	1.85	462.90	77	5.29	462.90
28	1.92	462.91	78	5.36	462.90
29	1.99	462.91	79	5.43	462.90
30	2.06	462.90	80	5.49	462.90
31	2.13	462.90	81	5.56	462.90
32	2.20	462.90	82	5.63	462.90
33	2.27	462.90	83	5.70	462.90
34	2.34	462.90	84	5.77	462.90
35	2.40	462.90	85	5.84	462.90
36	2.47	462.90	86	5.91	462.90
37	2.54	462.90	87	5.98	462.90
38	2.61	462.90	88	6.04	462.90
39	2.68	462.90	89	6.11	462.90
40	2.75	462.90	90	6.18	462.90
41	2.82	462.90	91	6.25	462.90
42	2.88	462.90	92	6.32	462.90
43	2.95	462.90	93	6.39	462.90
44	3.02	462.90	94	6.46	462.90
45	3.09	462.90	95	6.52	462.90
46	3.16	462.90	96	6.59	462.90
47	3.23	462.90	97	6.66	462.90
48	3.30	462.90	98	6.73	462.90
49	3.37	462.90	99	6.80	462.90
50	3.43	462.90	100	6.87	462.90

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	31.86	51	3.52	556.69
2	0.14	63.73	52	3.59	556.69
3	0.21	95.59	53	3.66	556.69
4	0.28	127.46	54	3.72	556.69
5	0.34	159.32	55	3.79	556.69
6	0.41	191.18	56	3.86	556.69
7	0.48	223.05	57	3.93	556.69
8	0.55	254.91	58	4.00	556.69
9	0.62	286.78	59	4.07	556.69
10	0.69	318.64	60	4.14	556.69
11	0.76	350.51	61	4.21	556.69
12	0.83	382.37	62	4.28	556.69
13	0.90	414.23	63	4.35	556.69
14	0.97	446.10	64	4.41	556.69
15	1.03	477.96	65	4.48	556.69
16	1.10	509.83	66	4.55	556.69
17	1.17	541.69	67	4.62	556.69
18	1.24	556.72	68	4.69	556.69
19	1.31	556.71	69	4.76	556.69
20	1.38	556.71	70	4.83	556.69
21	1.45	556.70	71	4.90	556.69
22	1.52	556.69	72	4.97	556.69
23	1.59	556.68	73	5.03	556.69
24	1.66	556.68	74	5.10	556.69
25	1.72	556.68	75	5.17	556.69
26	1.79	556.68	76	5.24	556.69
27	1.86	556.69	77	5.31	556.69
28	1.93	556.69	78	5.38	556.69
29	2.00	556.69	79	5.45	556.69
30	2.07	556.70	80	5.52	556.69
31	2.14	556.70	81	5.59	556.69
32	2.21	556.69	82	5.66	556.69
33	2.28	556.69	83	5.72	556.69
34	2.34	556.69	84	5.79	556.69
35	2.41	556.69	85	5.86	556.69
36	2.48	556.69	86	5.93	556.69
37	2.55	556.69	87	6.00	556.69
38	2.62	556.69	88	6.07	556.69
39	2.69	556.69	89	6.14	556.69
40	2.76	556.69	90	6.21	556.69
41	2.83	556.69	91	6.28	556.69
42	2.90	556.69	92	6.35	556.69
43	2.97	556.69	93	6.41	556.69
44	3.03	556.69	94	6.48	556.69
45	3.10	556.69	95	6.55	556.69
46	3.17	556.69	96	6.62	556.69
47	3.24	556.69	97	6.69	556.69
48	3.31	556.69	98	6.76	556.69
49	3.38	556.69	99	6.83	556.69
50	3.45	556.69	100	6.90	556.69

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	31.75	51	3.51	703.39
2	0.14	63.51	52	3.57	703.39
3	0.21	95.26	53	3.64	703.39
4	0.27	127.01	54	3.71	703.39
5	0.34	158.77	55	3.78	703.39
6	0.41	190.52	56	3.85	703.39
7	0.48	222.27	57	3.92	703.39
8	0.55	254.03	58	3.99	703.39
9	0.62	285.78	59	4.06	703.39
10	0.69	317.53	60	4.12	703.39
11	0.76	349.29	61	4.19	703.39
12	0.82	381.04	62	4.26	703.39
13	0.89	412.79	63	4.33	703.39
14	0.96	444.55	64	4.40	703.39
15	1.03	476.30	65	4.47	703.39
16	1.10	508.05	66	4.54	703.39
17	1.17	539.81	67	4.60	703.39
18	1.24	571.56	68	4.67	703.39
19	1.31	603.31	69	4.74	703.39
20	1.37	635.07	70	4.81	703.39
21	1.44	666.82	71	4.88	703.39
22	1.51	698.57	72	4.95	703.39
23	1.58	703.42	73	5.02	703.39
24	1.65	703.42	74	5.09	703.39
25	1.72	703.42	75	5.15	703.39
26	1.79	703.41	76	5.22	703.39
27	1.86	703.39	77	5.29	703.39
28	1.92	703.38	78	5.36	703.39
29	1.99	703.37	79	5.43	703.39
30	2.06	703.37	80	5.50	703.39
31	2.13	703.37	81	5.57	703.39
32	2.20	703.38	82	5.64	703.39
33	2.27	703.38	83	5.70	703.39
34	2.34	703.39	84	5.77	703.39
35	2.41	703.39	85	5.84	703.39
36	2.47	703.39	86	5.91	703.39
37	2.54	703.39	87	5.98	703.39
38	2.61	703.39	88	6.05	703.39
39	2.68	703.39	89	6.12	703.39
40	2.75	703.39	90	6.19	703.39
41	2.82	703.39	91	6.25	703.39
42	2.89	703.38	92	6.32	703.39
43	2.96	703.38	93	6.39	703.39
44	3.02	703.38	94	6.46	703.39
45	3.09	703.39	95	6.53	703.39
46	3.16	703.39	96	6.60	703.39
47	3.23	703.39	97	6.67	703.39
48	3.30	703.39	98	6.74	703.39
49	3.37	703.39	99	6.80	703.39
50	3.44	703.39	100	6.87	703.39

SEGUNDA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	33.31	51	3.50	462.90
2	0.14	66.62	52	3.57	462.90
3	0.21	99.93	53	3.64	462.90
4	0.27	133.24	54	3.71	462.90
5	0.34	166.55	55	3.78	462.90
6	0.41	199.86	56	3.85	462.90
7	0.48	233.17	57	3.91	462.90
8	0.55	266.48	58	3.98	462.90
9	0.62	299.79	59	4.05	462.90
10	0.69	333.10	60	4.12	462.90
11	0.76	366.41	61	4.19	462.90
12	0.82	399.72	62	4.26	462.90
13	0.89	433.03	63	4.33	462.90
14	0.96	462.92	64	4.40	462.90
15	1.03	462.92	65	4.46	462.90
16	1.10	462.92	66	4.53	462.90
17	1.17	462.91	67	4.60	462.90
18	1.24	462.90	68	4.67	462.90
19	1.30	462.90	69	4.74	462.90
20	1.37	462.89	70	4.81	462.90
21	1.44	462.89	71	4.88	462.90
22	1.51	462.89	72	4.95	462.90
23	1.58	462.90	73	5.01	462.90
24	1.65	462.90	74	5.08	462.90
25	1.72	462.90	75	5.15	462.90
26	1.79	462.90	76	5.22	462.90
27	1.85	462.91	77	5.29	462.90
28	1.92	462.91	78	5.36	462.90
29	1.99	462.90	79	5.43	462.90
30	2.06	462.90	80	5.49	462.90
31	2.13	462.90	81	5.56	462.90
32	2.20	462.90	82	5.63	462.90
33	2.27	462.90	83	5.70	462.90
34	2.34	462.90	84	5.77	462.90
35	2.40	462.90	85	5.84	462.90
36	2.47	462.90	86	5.91	462.90
37	2.54	462.90	87	5.98	462.90
38	2.61	462.90	88	6.04	462.90
39	2.68	462.90	89	6.11	462.90
40	2.75	462.90	90	6.18	462.90
41	2.82	462.90	91	6.25	462.90
42	2.88	462.90	92	6.32	462.90
43	2.95	462.90	93	6.39	462.90
44	3.02	462.90	94	6.46	462.90
45	3.09	462.90	95	6.52	462.90
46	3.16	462.90	96	6.59	462.90
47	3.23	462.90	97	6.66	462.90
48	3.30	462.90	98	6.73	462.90
49	3.37	462.90	99	6.80	462.90
50	3.43	462.90	100	6.87	462.90

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	33.45	51	3.52	556.69
2	0.14	66.90	52	3.59	556.69
3	0.21	100.35	53	3.66	556.69
4	0.28	133.80	54	3.72	556.69
5	0.34	167.25	55	3.79	556.69
6	0.41	200.70	56	3.86	556.69
7	0.48	234.15	57	3.93	556.69
8	0.55	267.60	58	4.00	556.69
9	0.62	301.05	59	4.07	556.69
10	0.69	334.50	60	4.14	556.69
11	0.76	367.95	61	4.21	556.69
12	0.83	401.41	62	4.28	556.69
13	0.90	434.86	63	4.35	556.69
14	0.97	468.31	64	4.41	556.69
15	1.03	501.76	65	4.48	556.69
16	1.10	535.21	66	4.55	556.69
17	1.17	556.72	67	4.62	556.69
18	1.24	556.71	68	4.69	556.69
19	1.31	556.71	69	4.76	556.69
20	1.38	556.70	70	4.83	556.69
21	1.45	556.69	71	4.90	556.69
22	1.52	556.68	72	4.97	556.69
23	1.59	556.68	73	5.03	556.69
24	1.66	556.68	74	5.10	556.69
25	1.72	556.68	75	5.17	556.69
26	1.79	556.69	76	5.24	556.69
27	1.86	556.69	77	5.31	556.69
28	1.93	556.69	78	5.38	556.69
29	2.00	556.70	79	5.45	556.69
30	2.07	556.70	80	5.52	556.69
31	2.14	556.70	81	5.59	556.69
32	2.21	556.69	82	5.66	556.69
33	2.28	556.69	83	5.72	556.69
34	2.34	556.69	84	5.79	556.69
35	2.41	556.69	85	5.86	556.69
36	2.48	556.69	86	5.93	556.69
37	2.55	556.69	87	6.00	556.69
38	2.62	556.69	88	6.07	556.69
39	2.69	556.69	89	6.14	556.69
40	2.76	556.69	90	6.21	556.69
41	2.83	556.69	91	6.28	556.69
42	2.90	556.69	92	6.35	556.69
43	2.97	556.69	93	6.41	556.69
44	3.03	556.69	94	6.48	556.69
45	3.10	556.69	95	6.55	556.69
46	3.17	556.69	96	6.62	556.69
47	3.24	556.69	97	6.69	556.69
48	3.31	556.69	98	6.76	556.69
49	3.38	556.69	99	6.83	556.69
50	3.45	556.69	100	6.90	556.69

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	33.33	51	3.51	703.39
2	0.14	66.67	52	3.57	703.39
3	0.21	100.00	53	3.64	703.39
4	0.27	133.34	54	3.71	703.39
5	0.34	166.67	55	3.78	703.39
6	0.41	200.00	56	3.85	703.39
7	0.48	233.34	57	3.92	703.39
8	0.55	266.67	58	3.99	703.39
9	0.62	300.01	59	4.06	703.39
10	0.69	333.34	60	4.12	703.39
11	0.76	366.67	61	4.19	703.39
12	0.82	400.01	62	4.26	703.39
13	0.89	433.34	63	4.33	703.39
14	0.96	466.68	64	4.40	703.39
15	1.03	500.01	65	4.47	703.39
16	1.10	533.34	66	4.54	703.39
17	1.17	566.68	67	4.60	703.39
18	1.24	600.01	68	4.67	703.39
19	1.31	633.35	69	4.74	703.39
20	1.37	666.68	70	4.81	703.39
21	1.44	700.02	71	4.88	703.39
22	1.51	703.42	72	4.95	703.39
23	1.58	703.42	73	5.02	703.39
24	1.65	703.41	74	5.09	703.39
25	1.72	703.40	75	5.15	703.39
26	1.79	703.39	76	5.22	703.39
27	1.86	703.38	77	5.29	703.39
28	1.92	703.37	78	5.36	703.39
29	1.99	703.37	79	5.43	703.39
30	2.06	703.37	80	5.50	703.39
31	2.13	703.38	81	5.57	703.39
32	2.20	703.38	82	5.64	703.39
33	2.27	703.39	83	5.70	703.39
34	2.34	703.39	84	5.77	703.39
35	2.41	703.39	85	5.84	703.39
36	2.47	703.39	86	5.91	703.39
37	2.54	703.39	87	5.98	703.39
38	2.61	703.39	88	6.05	703.39
39	2.68	703.39	89	6.12	703.39
40	2.75	703.39	90	6.19	703.39
41	2.82	703.38	91	6.25	703.39
42	2.89	703.38	92	6.32	703.39
43	2.96	703.38	93	6.39	703.39
44	3.02	703.38	94	6.46	703.39
45	3.09	703.39	95	6.53	703.39
46	3.16	703.39	96	6.60	703.39
47	3.23	703.39	97	6.67	703.39
48	3.30	703.39	98	6.74	703.39
49	3.37	703.39	99	6.80	703.39
50	3.44	703.39	100	6.87	703.39

TERCERA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	43.78	51	3.50	462.90
2	0.14	87.57	52	3.57	462.90
3	0.21	131.35	53	3.64	462.90
4	0.27	175.14	54	3.71	462.90
5	0.34	218.92	55	3.78	462.90
6	0.41	262.70	56	3.85	462.90
7	0.48	306.49	57	3.91	462.90
8	0.55	350.27	58	3.98	462.90
9	0.62	394.06	59	4.05	462.90
10	0.69	437.84	60	4.12	462.90
11	0.76	462.92	61	4.19	462.90
12	0.82	462.92	62	4.26	462.90
13	0.89	462.92	63	4.33	462.90
14	0.96	462.91	64	4.40	462.90
15	1.03	462.91	65	4.46	462.90
16	1.10	462.90	66	4.53	462.90
17	1.17	462.89	67	4.60	462.90
18	1.24	462.89	68	4.67	462.90
19	1.30	462.89	69	4.74	462.90
20	1.37	462.89	70	4.81	462.90
21	1.44	462.90	71	4.88	462.90
22	1.51	462.90	72	4.95	462.90
23	1.58	462.90	73	5.01	462.90
24	1.65	462.91	74	5.08	462.90
25	1.72	462.91	75	5.15	462.90
26	1.79	462.91	76	5.22	462.90
27	1.85	462.90	77	5.29	462.90
28	1.92	462.90	78	5.36	462.90
29	1.99	462.90	79	5.43	462.90
30	2.06	462.90	80	5.49	462.90
31	2.13	462.90	81	5.56	462.90
32	2.20	462.90	82	5.63	462.90
33	2.27	462.90	83	5.70	462.90
34	2.34	462.90	84	5.77	462.90
35	2.40	462.90	85	5.84	462.90
36	2.47	462.90	86	5.91	462.90
37	2.54	462.90	87	5.98	462.90
38	2.61	462.90	88	6.04	462.90
39	2.68	462.90	89	6.11	462.90
40	2.75	462.90	90	6.18	462.90
41	2.82	462.90	91	6.25	462.90
42	2.88	462.90	92	6.32	462.90
43	2.95	462.90	93	6.39	462.90
44	3.02	462.90	94	6.46	462.90
45	3.09	462.90	95	6.52	462.90
46	3.16	462.90	96	6.59	462.90
47	3.23	462.90	97	6.66	462.90
48	3.30	462.90	98	6.73	462.90
49	3.37	462.90	99	6.80	462.90
50	3.43	462.90	100	6.87	462.90

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	43.97	51	3.52	556.69
2	0.14	87.94	52	3.59	556.69
3	0.21	131.91	53	3.66	556.69
4	0.28	175.87	54	3.72	556.69
5	0.34	219.84	55	3.79	556.69
6	0.41	263.81	56	3.86	556.69
7	0.48	307.78	57	3.93	556.69
8	0.55	351.75	58	4.00	556.69
9	0.62	395.72	59	4.07	556.69
10	0.69	439.68	60	4.14	556.69
11	0.76	483.65	61	4.21	556.69
12	0.83	527.62	62	4.28	556.69
13	0.90	556.72	63	4.35	556.69
14	0.97	556.72	64	4.41	556.69
15	1.03	556.71	65	4.48	556.69
16	1.10	556.70	66	4.55	556.69
17	1.17	556.69	67	4.62	556.69
18	1.24	556.68	68	4.69	556.69
19	1.31	556.68	69	4.76	556.69
20	1.38	556.68	70	4.83	556.69
21	1.45	556.68	71	4.90	556.69
22	1.52	556.68	72	4.97	556.69
23	1.59	556.69	73	5.03	556.69
24	1.66	556.69	74	5.10	556.69
25	1.72	556.69	75	5.17	556.69
26	1.79	556.70	76	5.24	556.69
27	1.86	556.70	77	5.31	556.69
28	1.93	556.70	78	5.38	556.69
29	2.00	556.69	79	5.45	556.69
30	2.07	556.69	80	5.52	556.69
31	2.14	556.69	81	5.59	556.69
32	2.21	556.69	82	5.66	556.69
33	2.28	556.69	83	5.72	556.69
34	2.34	556.69	84	5.79	556.69
35	2.41	556.69	85	5.86	556.69
36	2.48	556.69	86	5.93	556.69
37	2.55	556.69	87	6.00	556.69
38	2.62	556.69	88	6.07	556.69
39	2.69	556.69	89	6.14	556.69
40	2.76	556.69	90	6.21	556.69
41	2.83	556.69	91	6.28	556.69
42	2.90	556.69	92	6.35	556.69
43	2.97	556.69	93	6.41	556.69
44	3.03	556.69	94	6.48	556.69
45	3.10	556.69	95	6.55	556.69
46	3.17	556.69	96	6.62	556.69
47	3.24	556.69	97	6.69	556.69
48	3.31	556.69	98	6.76	556.69
49	3.38	556.69	99	6.83	556.69
50	3.45	556.69	100	6.90	556.69

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	43.82	51	3.51	703.39
2	0.14	87.63	52	3.57	703.39
3	0.21	131.45	53	3.64	703.39
4	0.27	175.26	54	3.71	703.39
5	0.34	219.08	55	3.78	703.39
6	0.41	262.89	56	3.85	703.39
7	0.48	306.71	57	3.92	703.39
8	0.55	350.52	58	3.99	703.39
9	0.62	394.34	59	4.06	703.39
10	0.69	438.15	60	4.12	703.39
11	0.76	481.97	61	4.19	703.39
12	0.82	525.78	62	4.26	703.39
13	0.89	569.60	63	4.33	703.39
14	0.96	613.42	64	4.40	703.39
15	1.03	657.23	65	4.47	703.39
16	1.10	701.05	66	4.54	703.39
17	1.17	703.42	67	4.60	703.39
18	1.24	703.42	68	4.67	703.39
19	1.31	703.41	69	4.74	703.39
20	1.37	703.40	70	4.81	703.39
21	1.44	703.39	71	4.88	703.39
22	1.51	703.38	72	4.95	703.39
23	1.58	703.37	73	5.02	703.39
24	1.65	703.37	74	5.09	703.39
25	1.72	703.37	75	5.15	703.39
26	1.79	703.38	76	5.22	703.39
27	1.86	703.38	77	5.29	703.39
28	1.92	703.39	78	5.36	703.39
29	1.99	703.39	79	5.43	703.39
30	2.06	703.39	80	5.50	703.39
31	2.13	703.39	81	5.57	703.39
32	2.20	703.39	82	5.64	703.39
33	2.27	703.39	83	5.70	703.39
34	2.34	703.39	84	5.77	703.39
35	2.41	703.39	85	5.84	703.39
36	2.47	703.38	86	5.91	703.39
37	2.54	703.38	87	5.98	703.39
38	2.61	703.38	88	6.05	703.39
39	2.68	703.38	89	6.12	703.39
40	2.75	703.39	90	6.19	703.39
41	2.82	703.39	91	6.25	703.39
42	2.89	703.39	92	6.32	703.39
43	2.96	703.39	93	6.39	703.39
44	3.02	703.39	94	6.46	703.39
45	3.09	703.39	95	6.53	703.39
46	3.16	703.39	96	6.60	703.39
47	3.23	703.39	97	6.67	703.39
48	3.30	703.39	98	6.74	703.39
49	3.37	703.39	99	6.80	703.39
50	3.44	703.39	100	6.87	703.39

CUARTA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	40.11	51	3.50	462.90
2	0.14	80.22	52	3.57	462.90
3	0.21	120.33	53	3.64	462.90
4	0.27	160.44	54	3.71	462.90
5	0.34	200.55	55	3.78	462.90
6	0.41	240.66	56	3.85	462.90
7	0.48	280.77	57	3.91	462.90
8	0.55	320.88	58	3.98	462.90
9	0.62	360.99	59	4.05	462.90
10	0.69	401.10	60	4.12	462.90
11	0.76	441.21	61	4.19	462.90
12	0.82	462.92	62	4.26	462.90
13	0.89	462.92	63	4.33	462.90
14	0.96	462.91	64	4.40	462.90
15	1.03	462.90	65	4.46	462.90
16	1.10	462.90	66	4.53	462.90
17	1.17	462.89	67	4.60	462.90
18	1.24	462.89	68	4.67	462.90
19	1.30	462.90	69	4.74	462.90
20	1.37	462.90	70	4.81	462.90
21	1.44	462.90	71	4.88	462.90
22	1.51	462.90	72	4.95	462.90
23	1.58	462.90	73	5.01	462.90
24	1.65	462.90	74	5.08	462.90
25	1.72	462.90	75	5.15	462.90
26	1.79	462.90	76	5.22	462.90
27	1.85	462.90	77	5.29	462.90
28	1.92	462.90	78	5.36	462.90
29	1.99	462.90	79	5.43	462.90
30	2.06	462.90	80	5.49	462.90
31	2.13	462.90	81	5.56	462.90
32	2.20	462.90	82	5.63	462.90
33	2.27	462.90	83	5.70	462.90
34	2.34	462.90	84	5.77	462.90
35	2.40	462.90	85	5.84	462.90
36	2.47	462.90	86	5.91	462.90
37	2.54	462.90	87	5.98	462.90
38	2.61	462.90	88	6.04	462.90
39	2.68	462.90	89	6.11	462.90
40	2.75	462.90	90	6.18	462.90
41	2.82	462.90	91	6.25	462.90
42	2.88	462.90	92	6.32	462.90
43	2.95	462.90	93	6.39	462.90
44	3.02	462.90	94	6.46	462.90
45	3.09	462.90	95	6.52	462.90
46	3.16	462.90	96	6.59	462.90
47	3.23	462.90	97	6.66	462.90
48	3.30	462.90	98	6.73	462.90
49	3.37	462.90	99	6.80	462.90
50	3.43	462.90	100	6.87	462.90

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	40.28	51	3.52	556.69
2	0.14	80.56	52	3.59	556.69
3	0.21	120.84	53	3.66	556.69
4	0.28	161.11	54	3.72	556.69
5	0.34	201.39	55	3.79	556.69
6	0.41	241.67	56	3.86	556.69
7	0.48	281.95	57	3.93	556.69
8	0.55	322.23	58	4.00	556.69
9	0.62	362.51	59	4.07	556.69
10	0.69	402.78	60	4.14	556.69
11	0.76	443.06	61	4.21	556.69
12	0.83	483.34	62	4.28	556.69
13	0.90	523.62	63	4.35	556.69
14	0.97	556.72	64	4.41	556.69
15	1.03	556.72	65	4.48	556.69
16	1.10	556.71	66	4.55	556.69
17	1.17	556.70	67	4.62	556.69
18	1.24	556.69	68	4.69	556.69
19	1.31	556.68	69	4.76	556.69
20	1.38	556.68	70	4.83	556.69
21	1.45	556.68	71	4.90	556.69
22	1.52	556.69	72	4.97	556.69
23	1.59	556.69	73	5.03	556.69
24	1.66	556.69	74	5.10	556.69
25	1.72	556.69	75	5.17	556.69
26	1.79	556.69	76	5.24	556.69
27	1.86	556.69	77	5.31	556.69
28	1.93	556.69	78	5.38	556.69
29	2.00	556.69	79	5.45	556.69
30	2.07	556.69	80	5.52	556.69
31	2.14	556.69	81	5.59	556.69
32	2.21	556.69	82	5.66	556.69
33	2.28	556.69	83	5.72	556.69
34	2.34	556.69	84	5.79	556.69
35	2.41	556.69	85	5.86	556.69
36	2.48	556.69	86	5.93	556.69
37	2.55	556.69	87	6.00	556.69
38	2.62	556.69	88	6.07	556.69
39	2.69	556.69	89	6.14	556.69
40	2.76	556.69	90	6.21	556.69
41	2.83	556.69	91	6.28	556.69
42	2.90	556.69	92	6.35	556.69
43	2.97	556.69	93	6.41	556.69
44	3.03	556.69	94	6.48	556.69
45	3.10	556.69	95	6.55	556.69
46	3.17	556.69	96	6.62	556.69
47	3.24	556.69	97	6.69	556.69
48	3.31	556.69	98	6.76	556.69
49	3.38	556.69	99	6.83	556.69
50	3.45	556.69	100	6.90	556.69

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	40.14	51	3.51	703.39
2	0.14	80.28	52	3.57	703.39
3	0.21	120.41	53	3.64	703.39
4	0.27	160.55	54	3.71	703.39
5	0.34	200.69	55	3.78	703.39
6	0.41	240.83	56	3.85	703.39
7	0.48	280.97	57	3.92	703.39
8	0.55	321.11	58	3.99	703.39
9	0.62	361.24	59	4.06	703.39
10	0.69	401.38	60	4.12	703.39
11	0.76	441.52	61	4.19	703.39
12	0.82	481.66	62	4.26	703.39
13	0.89	521.80	63	4.33	703.39
14	0.96	561.94	64	4.40	703.39
15	1.03	602.07	65	4.47	703.39
16	1.10	642.21	66	4.54	703.39
17	1.17	682.35	67	4.60	703.39
18	1.24	703.42	68	4.67	703.39
19	1.31	703.42	69	4.74	703.39
20	1.37	703.41	70	4.81	703.39
21	1.44	703.40	71	4.88	703.39
22	1.51	703.39	72	4.95	703.39
23	1.58	703.38	73	5.02	703.39
24	1.65	703.37	74	5.09	703.39
25	1.72	703.38	75	5.15	703.39
26	1.79	703.38	76	5.22	703.39
27	1.86	703.39	77	5.29	703.39
28	1.92	703.39	78	5.36	703.39
29	1.99	703.39	79	5.43	703.39
30	2.06	703.39	80	5.50	703.39
31	2.13	703.39	81	5.57	703.39
32	2.20	703.39	82	5.64	703.39
33	2.27	703.39	83	5.70	703.39
34	2.34	703.39	84	5.77	703.39
35	2.41	703.39	85	5.84	703.39
36	2.47	703.39	86	5.91	703.39
37	2.54	703.39	87	5.98	703.39
38	2.61	703.39	88	6.05	703.39
39	2.68	703.39	89	6.12	703.39
40	2.75	703.39	90	6.19	703.39
41	2.82	703.39	91	6.25	703.39
42	2.89	703.39	92	6.32	703.39
43	2.96	703.39	93	6.39	703.39
44	3.02	703.39	94	6.46	703.39
45	3.09	703.39	95	6.53	703.39
46	3.16	703.39	96	6.60	703.39
47	3.23	703.39	97	6.67	703.39
48	3.30	703.39	98	6.74	703.39
49	3.37	703.39	99	6.80	703.39
50	3.44	703.39	100	6.87	703.39

QUINTA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	36.06	51	3.50	462.90
2	0.14	72.12	52	3.57	462.90
3	0.21	108.17	53	3.64	462.90
4	0.27	144.23	54	3.71	462.90
5	0.34	180.29	55	3.78	462.90
6	0.41	216.35	56	3.85	462.90
7	0.48	252.40	57	3.91	462.90
8	0.55	288.46	58	3.98	462.90
9	0.62	324.52	59	4.05	462.90
10	0.69	360.58	60	4.12	462.90
11	0.76	396.63	61	4.19	462.90
12	0.82	432.69	62	4.26	462.90
13	0.89	462.92	63	4.33	462.90
14	0.96	462.92	64	4.40	462.90
15	1.03	462.91	65	4.46	462.90
16	1.10	462.91	66	4.53	462.90
17	1.17	462.90	67	4.60	462.90
18	1.24	462.89	68	4.67	462.90
19	1.30	462.89	69	4.74	462.90
20	1.37	462.89	70	4.81	462.90
21	1.44	462.90	71	4.88	462.90
22	1.51	462.90	72	4.95	462.90
23	1.58	462.90	73	5.01	462.90
24	1.65	462.90	74	5.08	462.90
25	1.72	462.90	75	5.15	462.90
26	1.79	462.90	76	5.22	462.90
27	1.85	462.90	77	5.29	462.90
28	1.92	462.90	78	5.36	462.90
29	1.99	462.90	79	5.43	462.90
30	2.06	462.90	80	5.49	462.90
31	2.13	462.90	81	5.56	462.90
32	2.20	462.90	82	5.63	462.90
33	2.27	462.90	83	5.70	462.90
34	2.34	462.90	84	5.77	462.90
35	2.40	462.90	85	5.84	462.90
36	2.47	462.90	86	5.91	462.90
37	2.54	462.90	87	5.98	462.90
38	2.61	462.90	88	6.04	462.90
39	2.68	462.90	89	6.11	462.90
40	2.75	462.90	90	6.18	462.90
41	2.82	462.90	91	6.25	462.90
42	2.88	462.90	92	6.32	462.90
43	2.95	462.90	93	6.39	462.90
44	3.02	462.90	94	6.46	462.90
45	3.09	462.90	95	6.52	462.90
46	3.16	462.90	96	6.59	462.90
47	3.23	462.90	97	6.66	462.90
48	3.30	462.90	98	6.73	462.90
49	3.37	462.90	99	6.80	462.90
50	3.43	462.90	100	6.87	462.90

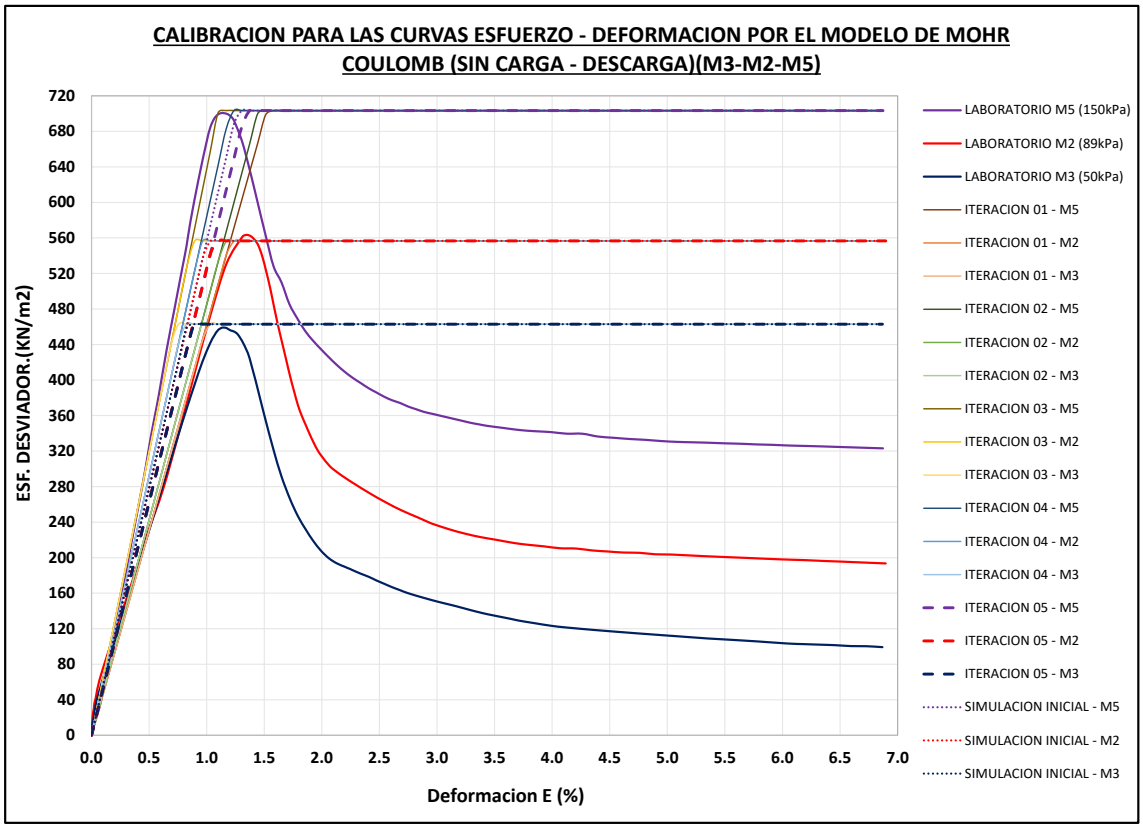
CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	36.21	51	3.52	556.69
2	0.14	72.42	52	3.59	556.69
3	0.21	108.63	53	3.66	556.69
4	0.28	144.84	54	3.72	556.69
5	0.34	181.05	55	3.79	556.69
6	0.41	217.26	56	3.86	556.69
7	0.48	253.46	57	3.93	556.69
8	0.55	289.67	58	4.00	556.69
9	0.62	325.88	59	4.07	556.69
10	0.69	362.09	60	4.14	556.69
11	0.76	398.30	61	4.21	556.69
12	0.83	434.51	62	4.28	556.69
13	0.90	470.72	63	4.35	556.69
14	0.97	506.93	64	4.41	556.69
15	1.03	543.14	65	4.48	556.69
16	1.10	556.72	66	4.55	556.69
17	1.17	556.72	67	4.62	556.69
18	1.24	556.71	68	4.69	556.69
19	1.31	556.70	69	4.76	556.69
20	1.38	556.69	70	4.83	556.69
21	1.45	556.68	71	4.90	556.69
22	1.52	556.68	72	4.97	556.69
23	1.59	556.68	73	5.03	556.69
24	1.66	556.68	74	5.10	556.69
25	1.72	556.69	75	5.17	556.69
26	1.79	556.69	76	5.24	556.69
27	1.86	556.69	77	5.31	556.69
28	1.93	556.70	78	5.38	556.69
29	2.00	556.70	79	5.45	556.69
30	2.07	556.69	80	5.52	556.69
31	2.14	556.69	81	5.59	556.69
32	2.21	556.69	82	5.66	556.69
33	2.28	556.69	83	5.72	556.69
34	2.34	556.69	84	5.79	556.69
35	2.41	556.69	85	5.86	556.69
36	2.48	556.69	86	5.93	556.69
37	2.55	556.69	87	6.00	556.69
38	2.62	556.69	88	6.07	556.69
39	2.69	556.69	89	6.14	556.69
40	2.76	556.69	90	6.21	556.69
41	2.83	556.69	91	6.28	556.69
42	2.90	556.69	92	6.35	556.69
43	2.97	556.69	93	6.41	556.69
44	3.03	556.69	94	6.48	556.69
45	3.10	556.69	95	6.55	556.69
46	3.17	556.69	96	6.62	556.69
47	3.24	556.69	97	6.69	556.69
48	3.31	556.69	98	6.76	556.69
49	3.38	556.69	99	6.83	556.69
50	3.45	556.69	100	6.90	556.69

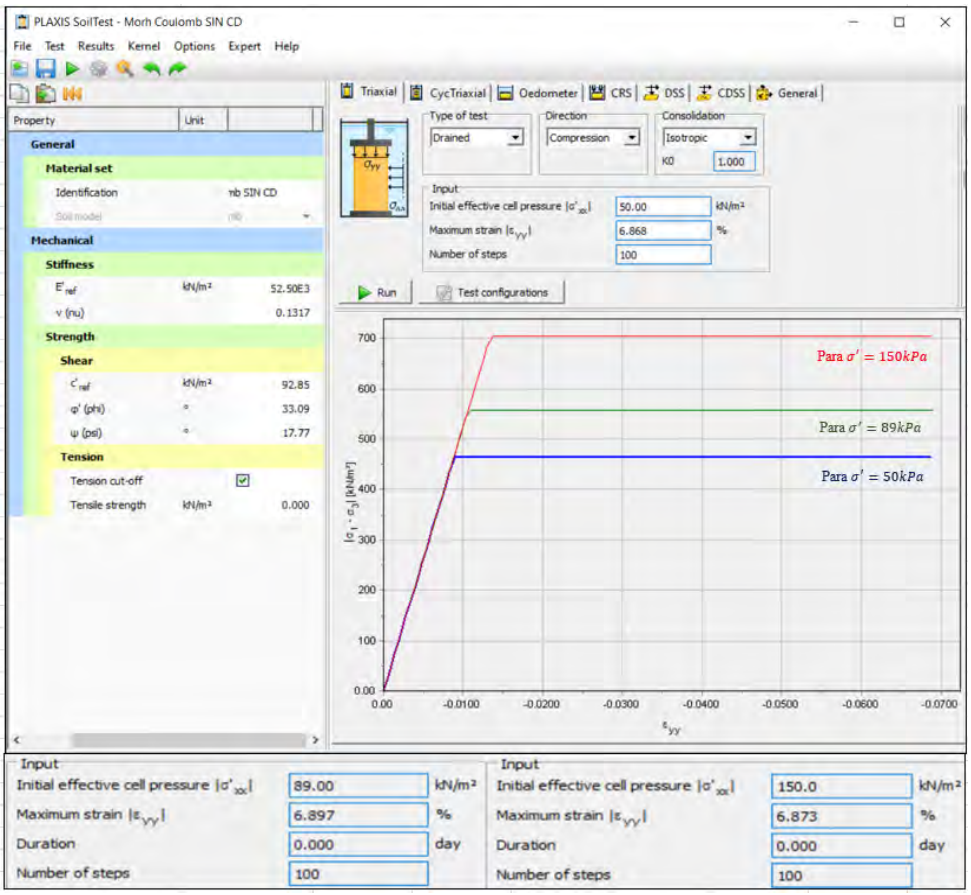
CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

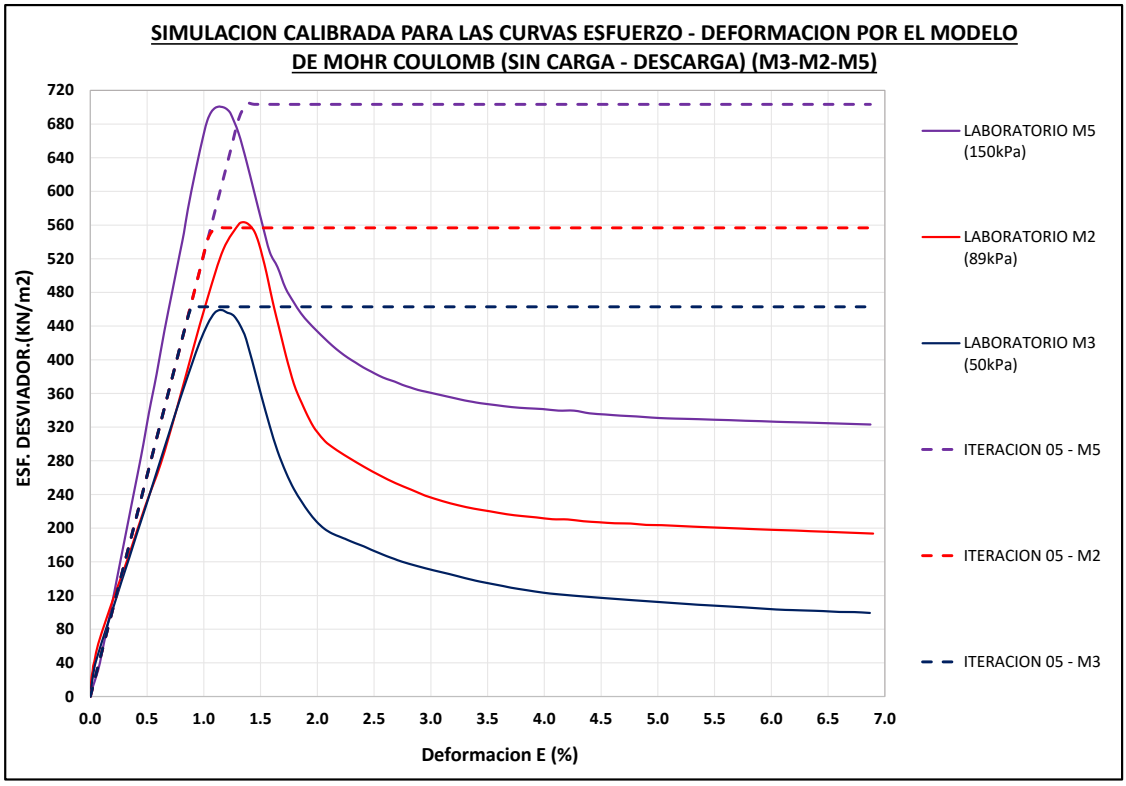
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	36.08	51	3.51	703.39
2	0.14	72.17	52	3.57	703.39
3	0.21	108.25	53	3.64	703.39
4	0.27	144.33	54	3.71	703.39
5	0.34	180.42	55	3.78	703.39
6	0.41	216.50	56	3.85	703.39
7	0.48	252.58	57	3.92	703.39
8	0.55	288.67	58	3.99	703.39
9	0.62	324.75	59	4.06	703.39
10	0.69	360.83	60	4.12	703.39
11	0.76	396.92	61	4.19	703.39
12	0.82	433.00	62	4.26	703.39
13	0.89	469.08	63	4.33	703.39
14	0.96	505.17	64	4.40	703.39
15	1.03	541.25	65	4.47	703.39
16	1.10	577.33	66	4.54	703.39
17	1.17	613.42	67	4.60	703.39
18	1.24	649.50	68	4.67	703.39
19	1.31	685.58	69	4.74	703.39
20	1.37	703.42	70	4.81	703.39
21	1.44	703.42	71	4.88	703.39
22	1.51	703.41	72	4.95	703.39
23	1.58	703.40	73	5.02	703.39
24	1.65	703.39	74	5.09	703.39
25	1.72	703.38	75	5.15	703.39
26	1.79	703.37	76	5.22	703.39
27	1.86	703.37	77	5.29	703.39
28	1.92	703.38	78	5.36	703.39
29	1.99	703.38	79	5.43	703.39
30	2.06	703.39	80	5.50	703.39
31	2.13	703.39	81	5.57	703.39
32	2.20	703.39	82	5.64	703.39
33	2.27	703.39	83	5.70	703.39
34	2.34	703.39	84	5.77	703.39
35	2.41	703.39	85	5.84	703.39
36	2.47	703.39	86	5.91	703.39
37	2.54	703.39	87	5.98	703.39
38	2.61	703.38	88	6.05	703.39
39	2.68	703.38	89	6.12	703.39
40	2.75	703.38	90	6.19	703.39
41	2.82	703.39	91	6.25	703.39
42	2.89	703.39	92	6.32	703.39
43	2.96	703.39	93	6.39	703.39
44	3.02	703.39	94	6.46	703.39
45	3.09	703.39	95	6.53	703.39
46	3.16	703.39	96	6.60	703.39
47	3.23	703.39	97	6.67	703.39
48	3.30	703.39	98	6.74	703.39
49	3.37	703.39	99	6.80	703.39
50	3.44	703.39	100	6.87	703.39

LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE MOHR COULOMB ES LA MAS AJUSTADA A LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION EXPERIMENTALES (SIN CARGA - DESCARGA)



CURVAS DE LA QUINTA ITERACION CALIBRADAS DEL MODELO DE MOHR COULOMB EN LA HERRAMIENTA SOIL TEST (SIN CARGA - DESCARGA)




SIMULACION CALIBRADA PARA LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE MOHR COULOMB (SIN CARGA - DESCARGA) (M3-M2-M5)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion E (%)
LABORATORIO M5 (150kPa)
LABORATORIO M2 (89kPa)
LABORATORIO M3 (50kPa)
ITERACION 05 - M5
ITERACION 05 - M2
ITERACION 05 - M3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE MOHR COULOMB)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test) **Nro de pasos de Calculo:** 100

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	35.979
0.138	71.958
0.208	107.937
0.277	143.917
0.346	179.896
0.415	215.875
0.484	251.854
0.554	287.833
0.623	323.812
0.692	359.792
0.761	395.771
0.830	431.750
0.900	463.359
0.969	463.356
1.038	463.350
1.107	463.342
1.176	463.336
1.246	463.332
1.315	463.331
1.384	463.332
1.453	463.335
1.522	463.338
1.592	463.340
1.661	463.342
1.730	463.342
1.799	463.342
1.868	463.340
1.938	463.339
2.007	463.338
2.076	463.338
2.145	463.337
2.214	463.338
2.284	463.338
2.353	463.339
2.422	463.339
2.491	463.339
2.560	463.339
2.630	463.339
2.699	463.339
2.768	463.339
2.837	463.339
2.906	463.339
2.976	463.339
3.045	463.339
3.114	463.339
3.183	463.339
3.252	463.339
3.322	463.339
3.391	463.339
3.460	463.339
3.529	463.339
3.598	463.339
3.668	463.339
3.737	463.339
3.806	463.339
3.875	463.339
3.944	463.339
4.014	463.339
4.083	463.339
4.152	463.339
4.221	463.339
4.290	463.339
4.360	463.339
4.429	463.339
4.498	463.339
4.567	463.339
4.636	463.339

SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	35.808
0.138	71.615
0.207	107.423
0.275	143.230
0.344	179.038
0.413	214.845
0.482	250.653
0.551	286.461
0.620	322.268
0.689	358.076
0.758	393.883
0.826	429.691
0.895	465.499
0.964	501.306
1.033	537.114
1.102	557.205
1.171	557.211
1.240	557.208
1.309	557.200
1.377	557.189
1.446	557.180
1.515	557.174
1.584	557.172
1.653	557.174
1.722	557.177
1.791	557.182
1.859	557.185
1.928	557.188
1.997	557.188
2.066	557.188
2.135	557.186
2.204	557.184
2.273	557.183
2.342	557.182
2.410	557.182
2.479	557.182
2.548	557.183
2.617	557.183
2.686	557.184
2.755	557.184
2.824	557.184
2.893	557.184
2.961	557.184
3.030	557.184
3.099	557.183
3.168	557.183
3.237	557.183
3.306	557.183
3.375	557.183
3.444	557.184
3.512	557.184
3.581	557.184
3.650	557.184
3.719	557.184
3.788	557.184
3.857	557.184
3.926	557.184
3.994	557.184
4.063	557.184
4.132	557.184
4.201	557.184
4.270	557.184
4.339	557.184
4.408	557.184
4.477	557.184
4.545	557.184
4.614	557.184

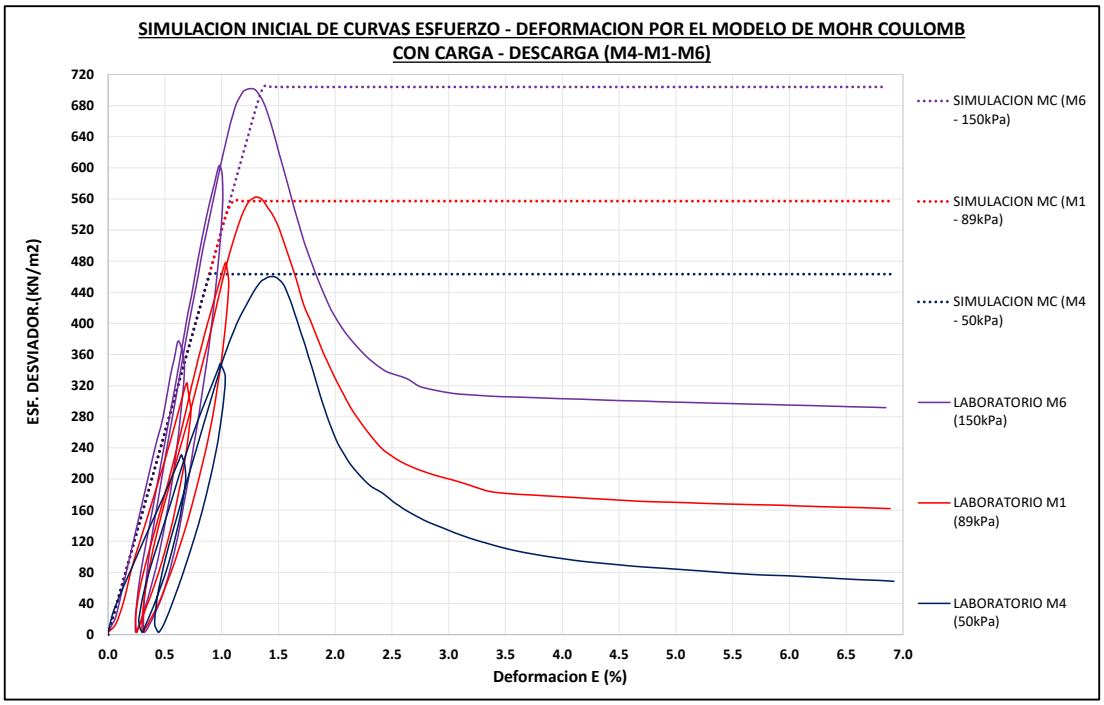
SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.068	35.610
0.137	71.220
0.205	106.830
0.274	142.440
0.342	178.050
0.411	213.660
0.479	249.270
0.548	284.880
0.616	320.490
0.685	356.100
0.753	391.710
0.822	427.320
0.890	462.930
0.959	498.540
1.027	534.150
1.096	569.760
1.164	605.370
1.233	640.980
1.301	676.590
1.370	703.994
1.438	703.994
1.507	703.987
1.575	703.976
1.644	703.966
1.712	703.958
1.781	703.955
1.849	703.955
1.918	703.959
1.986	703.963
2.055	703.967
2.123	703.970
2.192	703.971
2.260	703.971
2.329	703.969
2.397	703.968
2.466	703.966
2.534	703.965
2.603	703.964
2.671	703.965
2.740	703.965
2.808	703.966
2.877	703.967
2.945	703.967
3.014	703.967
3.082	703.967
3.151	703.967
3.219	703.967
3.288	703.966
3.356	703.966
3.425	703.966
3.493	703.966
3.561	703.966
3.630	703.966
3.698	703.967
3.767	703.967
3.835	703.967
3.904	703.967
3.972	703.967
4.041	703.966
4.109	703.966
4.178	703.966
4.246	703.966
4.315	703.966
4.383	703.966
4.452	703.966
4.520	703.966
4.589	703.966

4.706	463.339
4.775	463.339
4.844	463.339
4.913	463.339
4.982	463.339
5.052	463.339
5.121	463.339
5.190	463.339
5.259	463.339
5.328	463.339
5.398	463.339
5.467	463.339
5.536	463.339
5.605	463.339
5.674	463.339
5.744	463.339
5.813	463.339
5.882	463.339
5.951	463.339
6.020	463.339
6.090	463.339
6.159	463.339
6.228	463.339
6.297	463.339
6.366	463.339
6.436	463.339
6.505	463.339
6.574	463.339
6.643	463.339
6.712	463.339
6.782	463.339
6.851	463.339
6.920	463.339

4.683	557.184
4.752	557.184
4.821	557.184
4.890	557.184
4.959	557.184
5.028	557.184
5.096	557.184
5.165	557.184
5.234	557.184
5.303	557.184
5.372	557.184
5.441	557.184
5.510	557.184
5.578	557.184
5.647	557.184
5.716	557.184
5.785	557.184
5.854	557.184
5.923	557.184
5.992	557.184
6.061	557.184
6.129	557.184
6.198	557.184
6.267	557.184
6.336	557.184
6.405	557.184
6.474	557.184
6.543	557.184
6.612	557.184
6.680	557.184
6.749	557.184
6.818	557.184
6.887	557.184

4.657	703.966
4.726	703.966
4.794	703.966
4.863	703.966
4.931	703.966
5.000	703.966
5.068	703.966
5.137	703.966
5.205	703.966
5.274	703.966
5.342	703.966
5.411	703.966
5.479	703.966
5.548	703.966
5.616	703.966
5.685	703.966
5.753	703.966
5.822	703.966
5.890	703.966
5.959	703.966
6.027	703.966
6.096	703.966
6.164	703.966
6.233	703.966
6.301	703.966
6.370	703.966
6.438	703.966
6.507	703.966
6.575	703.966
6.644	703.966
6.712	703.966
6.781	703.966
6.849	703.966



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION CALIBRADA DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE MOHR COULOMB)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

PRIMERA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.50	51	3.53	463.34
2	0.14	53.01	52	3.60	463.34
3	0.21	79.51	53	3.67	463.34
4	0.28	106.01	54	3.74	463.34
5	0.35	132.52	55	3.81	463.34
6	0.42	159.02	56	3.88	463.34
7	0.48	185.53	57	3.94	463.34
8	0.55	212.03	58	4.01	463.34
9	0.62	238.53	59	4.08	463.34
10	0.69	265.04	60	4.15	463.34
11	0.76	291.54	61	4.22	463.34
12	0.83	318.04	62	4.29	463.34
13	0.90	344.55	63	4.36	463.34
14	0.97	371.05	64	4.43	463.34
15	1.04	397.55	65	4.50	463.34
16	1.11	424.06	66	4.57	463.34
17	1.18	450.56	67	4.64	463.34
18	1.25	463.35	68	4.71	463.34
19	1.31	463.36	69	4.77	463.34
20	1.38	463.36	70	4.84	463.34
21	1.45	463.35	71	4.91	463.34
22	1.52	463.34	72	4.98	463.34
23	1.59	463.33	73	5.05	463.34
24	1.66	463.33	74	5.12	463.34
25	1.73	463.33	75	5.19	463.34
26	1.80	463.33	76	5.26	463.34
27	1.87	463.34	77	5.33	463.34
28	1.94	463.34	78	5.40	463.34
29	2.01	463.34	79	5.47	463.34
30	2.08	463.34	80	5.54	463.34
31	2.15	463.34	81	5.61	463.34
32	2.21	463.34	82	5.67	463.34
33	2.28	463.34	83	5.74	463.34
34	2.35	463.34	84	5.81	463.34
35	2.42	463.34	85	5.88	463.34
36	2.49	463.34	86	5.95	463.34
37	2.56	463.34	87	6.02	463.34
38	2.63	463.34	88	6.09	463.34
39	2.70	463.34	89	6.16	463.34
40	2.77	463.34	90	6.23	463.34
41	2.84	463.34	91	6.30	463.34
42	2.91	463.34	92	6.37	463.34
43	2.98	463.34	93	6.44	463.34
44	3.04	463.34	94	6.50	463.34
45	3.11	463.34	95	6.57	463.34
46	3.18	463.34	96	6.64	463.34
47	3.25	463.34	97	6.71	463.34
48	3.32	463.34	98	6.78	463.34
49	3.39	463.34	99	6.85	463.34
50	3.46	463.34	100	6.92	463.34

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.38	51	3.51	557.18
2	0.14	52.75	52	3.58	557.18
3	0.21	79.13	53	3.65	557.18
4	0.28	105.51	54	3.72	557.18
5	0.34	131.89	55	3.79	557.18
6	0.41	158.26	56	3.86	557.18
7	0.48	184.64	57	3.93	557.18
8	0.55	211.02	58	3.99	557.18
9	0.62	237.39	59	4.06	557.18
10	0.69	263.77	60	4.13	557.18
11	0.76	290.15	61	4.20	557.18
12	0.83	316.53	62	4.27	557.18
13	0.90	342.90	63	4.34	557.18
14	0.96	369.28	64	4.41	557.18
15	1.03	395.66	65	4.48	557.18
16	1.10	422.04	66	4.55	557.18
17	1.17	448.41	67	4.61	557.18
18	1.24	474.79	68	4.68	557.18
19	1.31	501.17	69	4.75	557.18
20	1.38	527.54	70	4.82	557.18
21	1.45	553.92	71	4.89	557.18
22	1.52	557.21	72	4.96	557.18
23	1.58	557.21	73	5.03	557.18
24	1.65	557.20	74	5.10	557.18
25	1.72	557.19	75	5.17	557.18
26	1.79	557.18	76	5.23	557.18
27	1.86	557.17	77	5.30	557.18
28	1.93	557.17	78	5.37	557.18
29	2.00	557.18	79	5.44	557.18
30	2.07	557.18	80	5.51	557.18
31	2.13	557.18	81	5.58	557.18
32	2.20	557.19	82	5.65	557.18
33	2.27	557.19	83	5.72	557.18
34	2.34	557.19	84	5.79	557.18
35	2.41	557.19	85	5.85	557.18
36	2.48	557.18	86	5.92	557.18
37	2.55	557.18	87	5.99	557.18
38	2.62	557.18	88	6.06	557.18
39	2.69	557.18	89	6.13	557.18
40	2.75	557.18	90	6.20	557.18
41	2.82	557.18	91	6.27	557.18
42	2.89	557.18	92	6.34	557.18
43	2.96	557.18	93	6.40	557.18
44	3.03	557.18	94	6.47	557.18
45	3.10	557.18	95	6.54	557.18
46	3.17	557.18	96	6.61	557.18
47	3.24	557.18	97	6.68	557.18
48	3.31	557.18	98	6.75	557.18
49	3.37	557.18	99	6.82	557.18
50	3.44	557.18	100	6.89	557.18

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.23	51	3.49	703.97
2	0.14	52.46	52	3.56	703.97
3	0.21	78.70	53	3.63	703.97
4	0.27	104.93	54	3.70	703.97
5	0.34	131.16	55	3.77	703.97
6	0.41	157.39	56	3.84	703.97
7	0.48	183.62	57	3.90	703.97
8	0.55	209.85	58	3.97	703.97
9	0.62	236.09	59	4.04	703.97
10	0.68	262.32	60	4.11	703.97
11	0.75	288.55	61	4.18	703.97
12	0.82	314.78	62	4.25	703.97
13	0.89	341.01	63	4.31	703.97
14	0.96	367.24	64	4.38	703.97
15	1.03	393.48	65	4.45	703.97
16	1.10	419.71	66	4.52	703.97
17	1.16	445.94	67	4.59	703.97
18	1.23	472.17	68	4.66	703.97
19	1.30	498.40	69	4.73	703.97
20	1.37	524.63	70	4.79	703.97
21	1.44	550.87	71	4.86	703.97
22	1.51	577.10	72	4.93	703.97
23	1.58	603.33	73	5.00	703.97
24	1.64	629.56	74	5.07	703.97
25	1.71	655.79	75	5.14	703.97
26	1.78	682.02	76	5.21	703.97
27	1.85	704.00	77	5.27	703.97
28	1.92	704.00	78	5.34	703.97
29	1.99	704.00	79	5.41	703.97
30	2.05	703.98	80	5.48	703.97
31	2.12	703.97	81	5.55	703.97
32	2.19	703.96	82	5.62	703.97
33	2.26	703.95	83	5.68	703.97
34	2.33	703.95	84	5.75	703.97
35	2.40	703.96	85	5.82	703.97
36	2.47	703.96	86	5.89	703.97
37	2.53	703.97	87	5.96	703.97
38	2.60	703.97	88	6.03	703.97
39	2.67	703.97	89	6.10	703.97
40	2.74	703.97	90	6.16	703.97
41	2.81	703.97	91	6.23	703.97
42	2.88	703.97	92	6.30	703.97
43	2.95	703.96	93	6.37	703.97
44	3.01	703.96	94	6.44	703.97
45	3.08	703.96	95	6.51	703.97
46	3.15	703.97	96	6.58	703.97
47	3.22	703.97	97	6.64	703.97
48	3.29	703.97	98	6.71	703.97
49	3.36	703.97	99	6.78	703.97
50	3.42	703.97	100	6.85	703.97

SEGUNDA ITERACION - MORH COULOMB

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	28.65	51	3.53	463.34
2	0.14	57.30	52	3.60	463.34
3	0.21	85.95	53	3.67	463.34
4	0.28	114.60	54	3.74	463.34
5	0.35	143.24	55	3.81	463.34
6	0.42	171.89	56	3.88	463.34
7	0.48	200.54	57	3.94	463.34
8	0.55	229.19	58	4.01	463.34
9	0.62	257.84	59	4.08	463.34
10	0.69	286.49	60	4.15	463.34
11	0.76	315.14	61	4.22	463.34
12	0.83	343.79	62	4.29	463.34
13	0.90	372.43	63	4.36	463.34
14	0.97	401.08	64	4.43	463.34
15	1.04	429.73	65	4.50	463.34
16	1.11	458.38	66	4.57	463.34
17	1.18	463.36	67	4.64	463.34
18	1.25	463.36	68	4.71	463.34
19	1.31	463.35	69	4.77	463.34
20	1.38	463.34	70	4.84	463.34
21	1.45	463.34	71	4.91	463.34
22	1.52	463.33	72	4.98	463.34
23	1.59	463.33	73	5.05	463.34
24	1.66	463.33	74	5.12	463.34
25	1.73	463.34	75	5.19	463.34
26	1.80	463.34	76	5.26	463.34
27	1.87	463.34	77	5.33	463.34
28	1.94	463.34	78	5.40	463.34
29	2.01	463.34	79	5.47	463.34
30	2.08	463.34	80	5.54	463.34
31	2.15	463.34	81	5.61	463.34
32	2.21	463.34	82	5.67	463.34
33	2.28	463.34	83	5.74	463.34
34	2.35	463.34	84	5.81	463.34
35	2.42	463.34	85	5.88	463.34
36	2.49	463.34	86	5.95	463.34
37	2.56	463.34	87	6.02	463.34
38	2.63	463.34	88	6.09	463.34
39	2.70	463.34	89	6.16	463.34
40	2.77	463.34	90	6.23	463.34
41	2.84	463.34	91	6.30	463.34
42	2.91	463.34	92	6.37	463.34
43	2.98	463.34	93	6.44	463.34
44	3.04	463.34	94	6.50	463.34
45	3.11	463.34	95	6.57	463.34
46	3.18	463.34	96	6.64	463.34
47	3.25	463.34	97	6.71	463.34
48	3.32	463.34	98	6.78	463.34
49	3.39	463.34	99	6.85	463.34
50	3.46	463.34	100	6.92	463.34

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	28.51	51	3.51	557.18
2	0.14	57.02	52	3.58	557.18
3	0.21	85.54	53	3.65	557.18
4	0.28	114.05	54	3.72	557.18
5	0.34	142.56	55	3.79	557.18
6	0.41	171.07	56	3.86	557.18
7	0.48	199.59	57	3.93	557.18
8	0.55	228.10	58	3.99	557.18
9	0.62	256.61	59	4.06	557.18
10	0.69	285.12	60	4.13	557.18
11	0.76	313.63	61	4.20	557.18
12	0.83	342.15	62	4.27	557.18
13	0.90	370.66	63	4.34	557.18
14	0.96	399.17	64	4.41	557.18
15	1.03	427.68	65	4.48	557.18
16	1.10	456.19	66	4.55	557.18
17	1.17	484.71	67	4.61	557.18
18	1.24	513.22	68	4.68	557.18
19	1.31	541.73	69	4.75	557.18
20	1.38	557.21	70	4.82	557.18
21	1.45	557.21	71	4.89	557.18
22	1.52	557.20	72	4.96	557.18
23	1.58	557.19	73	5.03	557.18
24	1.65	557.18	74	5.10	557.18
25	1.72	557.18	75	5.17	557.18
26	1.79	557.17	76	5.23	557.18
27	1.86	557.18	77	5.30	557.18
28	1.93	557.18	78	5.37	557.18
29	2.00	557.18	79	5.44	557.18
30	2.07	557.19	80	5.51	557.18
31	2.13	557.19	81	5.58	557.18
32	2.20	557.19	82	5.65	557.18
33	2.27	557.19	83	5.72	557.18
34	2.34	557.18	84	5.79	557.18
35	2.41	557.18	85	5.85	557.18
36	2.48	557.18	86	5.92	557.18
37	2.55	557.18	87	5.99	557.18
38	2.62	557.18	88	6.06	557.18
39	2.69	557.18	89	6.13	557.18
40	2.75	557.18	90	6.20	557.18
41	2.82	557.18	91	6.27	557.18
42	2.89	557.18	92	6.34	557.18
43	2.96	557.18	93	6.40	557.18
44	3.03	557.18	94	6.47	557.18
45	3.10	557.18	95	6.54	557.18
46	3.17	557.18	96	6.61	557.18
47	3.24	557.18	97	6.68	557.18
48	3.31	557.18	98	6.75	557.18
49	3.37	557.18	99	6.82	557.18
50	3.44	557.18	100	6.89	557.18

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	28.35	51	3.49	703.97
2	0.14	56.71	52	3.56	703.97
3	0.21	85.06	53	3.63	703.97
4	0.27	113.42	54	3.70	703.97
5	0.34	141.77	55	3.77	703.97
6	0.41	170.13	56	3.84	703.97
7	0.48	198.48	57	3.90	703.97
8	0.55	226.84	58	3.97	703.97
9	0.62	255.19	59	4.04	703.97
10	0.68	283.55	60	4.11	703.97
11	0.75	311.90	61	4.18	703.97
12	0.82	340.26	62	4.25	703.97
13	0.89	368.61	63	4.31	703.97
14	0.96	396.97	64	4.38	703.97
15	1.03	425.32	65	4.45	703.97
16	1.10	453.68	66	4.52	703.97
17	1.16	482.03	67	4.59	703.97
18	1.23	510.39	68	4.66	703.97
19	1.30	538.74	69	4.73	703.97
20	1.37	567.10	70	4.79	703.97
21	1.44	595.45	71	4.86	703.97
22	1.51	623.81	72	4.93	703.97
23	1.58	652.16	73	5.00	703.97
24	1.64	680.52	74	5.07	703.97
25	1.71	703.99	75	5.14	703.97
26	1.78	703.99	76	5.21	703.97
27	1.85	703.99	77	5.27	703.97
28	1.92	703.97	78	5.34	703.97
29	1.99	703.96	79	5.41	703.97
30	2.05	703.96	80	5.48	703.97
31	2.12	703.96	81	5.55	703.97
32	2.19	703.96	82	5.62	703.97
33	2.26	703.96	83	5.68	703.97
34	2.33	703.97	84	5.75	703.97
35	2.40	703.97	85	5.82	703.97
36	2.47	703.97	86	5.89	703.97
37	2.53	703.97	87	5.96	703.97
38	2.60	703.97	88	6.03	703.97
39	2.67	703.97	89	6.10	703.97
40	2.74	703.97	90	6.16	703.97
41	2.81	703.97	91	6.23	703.97
42	2.88	703.97	92	6.30	703.97
43	2.95	703.97	93	6.37	703.97
44	3.01	703.97	94	6.44	703.97
45	3.08	703.97	95	6.51	703.97
46	3.15	703.97	96	6.58	703.97
47	3.22	703.97	97	6.64	703.97
48	3.29	703.97	98	6.71	703.97
49	3.36	703.97	99	6.78	703.97
50	3.42	703.97	100	6.85	703.97

TERCERA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	38.63	51	3.53	463.34
2	0.14	77.25	52	3.60	463.34
3	0.21	115.88	53	3.67	463.34
4	0.28	154.51	54	3.74	463.34
5	0.35	193.14	55	3.81	463.34
6	0.42	231.76	56	3.88	463.34
7	0.48	270.39	57	3.94	463.34
8	0.55	309.02	58	4.01	463.34
9	0.62	347.65	59	4.08	463.34
10	0.69	386.27	60	4.15	463.34
11	0.76	424.90	61	4.22	463.34
12	0.83	463.36	62	4.29	463.34
13	0.90	463.36	63	4.36	463.34
14	0.97	463.35	64	4.43	463.34
15	1.04	463.34	65	4.50	463.34
16	1.11	463.34	66	4.57	463.34
17	1.18	463.33	67	4.64	463.34
18	1.25	463.33	68	4.71	463.34
19	1.31	463.33	69	4.77	463.34
20	1.38	463.34	70	4.84	463.34
21	1.45	463.34	71	4.91	463.34
22	1.52	463.34	72	4.98	463.34
23	1.59	463.34	73	5.05	463.34
24	1.66	463.34	74	5.12	463.34
25	1.73	463.34	75	5.19	463.34
26	1.80	463.34	76	5.26	463.34
27	1.87	463.34	77	5.33	463.34
28	1.94	463.34	78	5.40	463.34
29	2.01	463.34	79	5.47	463.34
30	2.08	463.34	80	5.54	463.34
31	2.15	463.34	81	5.61	463.34
32	2.21	463.34	82	5.67	463.34
33	2.28	463.34	83	5.74	463.34
34	2.35	463.34	84	5.81	463.34
35	2.42	463.34	85	5.88	463.34
36	2.49	463.34	86	5.95	463.34
37	2.56	463.34	87	6.02	463.34
38	2.63	463.34	88	6.09	463.34
39	2.70	463.34	89	6.16	463.34
40	2.77	463.34	90	6.23	463.34
41	2.84	463.34	91	6.30	463.34
42	2.91	463.34	92	6.37	463.34
43	2.98	463.34	93	6.44	463.34
44	3.04	463.34	94	6.50	463.34
45	3.11	463.34	95	6.57	463.34
46	3.18	463.34	96	6.64	463.34
47	3.25	463.34	97	6.71	463.34
48	3.32	463.34	98	6.78	463.34
49	3.39	463.34	99	6.85	463.34
50	3.46	463.34	100	6.92	463.34

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	38.44	51	3.51	557.18
2	0.14	76.89	52	3.58	557.18
3	0.21	115.33	53	3.65	557.18
4	0.28	153.77	54	3.72	557.18
5	0.34	192.22	55	3.79	557.18
6	0.41	230.66	56	3.86	557.18
7	0.48	269.10	57	3.93	557.18
8	0.55	307.55	58	3.99	557.18
9	0.62	345.99	59	4.06	557.18
10	0.69	384.43	60	4.13	557.18
11	0.76	422.88	61	4.20	557.18
12	0.83	461.32	62	4.27	557.18
13	0.90	499.76	63	4.34	557.18
14	0.96	538.21	64	4.41	557.18
15	1.03	557.21	65	4.48	557.18
16	1.10	557.21	66	4.55	557.18
17	1.17	557.20	67	4.61	557.18
18	1.24	557.19	68	4.68	557.18
19	1.31	557.18	69	4.75	557.18
20	1.38	557.17	70	4.82	557.18
21	1.45	557.17	71	4.89	557.18
22	1.52	557.18	72	4.96	557.18
23	1.58	557.18	73	5.03	557.18
24	1.65	557.18	74	5.10	557.18
25	1.72	557.19	75	5.17	557.18
26	1.79	557.19	76	5.23	557.18
27	1.86	557.19	77	5.30	557.18
28	1.93	557.19	78	5.37	557.18
29	2.00	557.18	79	5.44	557.18
30	2.07	557.18	80	5.51	557.18
31	2.13	557.18	81	5.58	557.18
32	2.20	557.18	82	5.65	557.18
33	2.27	557.18	83	5.72	557.18
34	2.34	557.18	84	5.79	557.18
35	2.41	557.18	85	5.85	557.18
36	2.48	557.18	86	5.92	557.18
37	2.55	557.18	87	5.99	557.18
38	2.62	557.18	88	6.06	557.18
39	2.69	557.18	89	6.13	557.18
40	2.75	557.18	90	6.20	557.18
41	2.82	557.18	91	6.27	557.18
42	2.89	557.18	92	6.34	557.18
43	2.96	557.18	93	6.40	557.18
44	3.03	557.18	94	6.47	557.18
45	3.10	557.18	95	6.54	557.18
46	3.17	557.18	96	6.61	557.18
47	3.24	557.18	97	6.68	557.18
48	3.31	557.18	98	6.75	557.18
49	3.37	557.18	99	6.82	557.18
50	3.44	557.18	100	6.89	557.18

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	38.23	51	3.49	703.97
2	0.14	76.46	52	3.56	703.97
3	0.21	114.69	53	3.63	703.97
4	0.27	152.92	54	3.70	703.97
5	0.34	191.16	55	3.77	703.97
6	0.41	229.39	56	3.84	703.97
7	0.48	267.62	57	3.90	703.97
8	0.55	305.85	58	3.97	703.97
9	0.62	344.08	59	4.04	703.97
10	0.68	382.31	60	4.11	703.97
11	0.75	420.54	61	4.18	703.97
12	0.82	458.77	62	4.25	703.97
13	0.89	497.00	63	4.31	703.97
14	0.96	535.24	64	4.38	703.97
15	1.03	573.47	65	4.45	703.97
16	1.10	611.70	66	4.52	703.97
17	1.16	649.93	67	4.59	703.97
18	1.23	688.16	68	4.66	703.97
19	1.30	704.00	69	4.73	703.97
20	1.37	704.00	70	4.79	703.97
21	1.44	703.99	71	4.86	703.97
22	1.51	703.98	72	4.93	703.97
23	1.58	703.96	73	5.00	703.97
24	1.64	703.96	74	5.07	703.97
25	1.71	703.95	75	5.14	703.97
26	1.78	703.96	76	5.21	703.97
27	1.85	703.96	77	5.27	703.97
28	1.92	703.97	78	5.34	703.97
29	1.99	703.97	79	5.41	703.97
30	2.05	703.97	80	5.48	703.97
31	2.12	703.97	81	5.55	703.97
32	2.19	703.97	82	5.62	703.97
33	2.26	703.97	83	5.68	703.97
34	2.33	703.97	84	5.75	703.97
35	2.40	703.96	85	5.82	703.97
36	2.47	703.96	86	5.89	703.97
37	2.53	703.97	87	5.96	703.97
38	2.60	703.97	88	6.03	703.97
39	2.67	703.97	89	6.10	703.97
40	2.74	703.97	90	6.16	703.97
41	2.81	703.97	91	6.23	703.97
42	2.88	703.97	92	6.30	703.97
43	2.95	703.97	93	6.37	703.97
44	3.01	703.97	94	6.44	703.97
45	3.08	703.97	95	6.51	703.97
46	3.15	703.97	96	6.58	703.97
47	3.22	703.97	97	6.64	703.97
48	3.29	703.97	98	6.71	703.97
49	3.36	703.97	99	6.78	703.97
50	3.42	703.97	100	6.85	703.97

CUARTA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	33.96	51	3.53	463.34
2	0.14	67.93	52	3.60	463.34
3	0.21	101.89	53	3.67	463.34
4	0.28	135.85	54	3.74	463.34
5	0.35	169.82	55	3.81	463.34
6	0.42	203.78	56	3.88	463.34
7	0.48	237.74	57	3.94	463.34
8	0.55	271.71	58	4.01	463.34
9	0.62	305.67	59	4.08	463.34
10	0.69	339.63	60	4.15	463.34
11	0.76	373.60	61	4.22	463.34
12	0.83	407.56	62	4.29	463.34
13	0.90	441.52	63	4.36	463.34
14	0.97	463.36	64	4.43	463.34
15	1.04	463.36	65	4.50	463.34
16	1.11	463.35	66	4.57	463.34
17	1.18	463.35	67	4.64	463.34
18	1.25	463.34	68	4.71	463.34
19	1.31	463.33	69	4.77	463.34
20	1.38	463.33	70	4.84	463.34
21	1.45	463.33	71	4.91	463.34
22	1.52	463.33	72	4.98	463.34
23	1.59	463.34	73	5.05	463.34
24	1.66	463.34	74	5.12	463.34
25	1.73	463.34	75	5.19	463.34
26	1.80	463.34	76	5.26	463.34
27	1.87	463.34	77	5.33	463.34
28	1.94	463.34	78	5.40	463.34
29	2.01	463.34	79	5.47	463.34
30	2.08	463.34	80	5.54	463.34
31	2.15	463.34	81	5.61	463.34
32	2.21	463.34	82	5.67	463.34
33	2.28	463.34	83	5.74	463.34
34	2.35	463.34	84	5.81	463.34
35	2.42	463.34	85	5.88	463.34
36	2.49	463.34	86	5.95	463.34
37	2.56	463.34	87	6.02	463.34
38	2.63	463.34	88	6.09	463.34
39	2.70	463.34	89	6.16	463.34
40	2.77	463.34	90	6.23	463.34
41	2.84	463.34	91	6.30	463.34
42	2.91	463.34	92	6.37	463.34
43	2.98	463.34	93	6.44	463.34
44	3.04	463.34	94	6.50	463.34
45	3.11	463.34	95	6.57	463.34
46	3.18	463.34	96	6.64	463.34
47	3.25	463.34	97	6.71	463.34
48	3.32	463.34	98	6.78	463.34
49	3.39	463.34	99	6.85	463.34
50	3.46	463.34	100	6.92	463.34

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	33.80	51	3.51	557.18
2	0.14	67.60	52	3.58	557.18
3	0.21	101.40	53	3.65	557.18
4	0.28	135.21	54	3.72	557.18
5	0.34	169.01	55	3.79	557.18
6	0.41	202.81	56	3.86	557.18
7	0.48	236.61	57	3.93	557.18
8	0.55	270.41	58	3.99	557.18
9	0.62	304.21	59	4.06	557.18
10	0.69	338.01	60	4.13	557.18
11	0.76	371.82	61	4.20	557.18
12	0.83	405.62	62	4.27	557.18
13	0.90	439.42	63	4.34	557.18
14	0.96	473.22	64	4.41	557.18
15	1.03	507.02	65	4.48	557.18
16	1.10	540.82	66	4.55	557.18
17	1.17	557.21	67	4.61	557.18
18	1.24	557.21	68	4.68	557.18
19	1.31	557.20	69	4.75	557.18
20	1.38	557.19	70	4.82	557.18
21	1.45	557.18	71	4.89	557.18
22	1.52	557.18	72	4.96	557.18
23	1.58	557.17	73	5.03	557.18
24	1.65	557.17	74	5.10	557.18
25	1.72	557.18	75	5.17	557.18
26	1.79	557.18	76	5.23	557.18
27	1.86	557.18	77	5.30	557.18
28	1.93	557.19	78	5.37	557.18
29	2.00	557.19	79	5.44	557.18
30	2.07	557.19	80	5.51	557.18
31	2.13	557.19	81	5.58	557.18
32	2.20	557.18	82	5.65	557.18
33	2.27	557.18	83	5.72	557.18
34	2.34	557.18	84	5.79	557.18
35	2.41	557.18	85	5.85	557.18
36	2.48	557.18	86	5.92	557.18
37	2.55	557.18	87	5.99	557.18
38	2.62	557.18	88	6.06	557.18
39	2.69	557.18	89	6.13	557.18
40	2.75	557.18	90	6.20	557.18
41	2.82	557.18	91	6.27	557.18
42	2.89	557.18	92	6.34	557.18
43	2.96	557.18	93	6.40	557.18
44	3.03	557.18	94	6.47	557.18
45	3.10	557.18	95	6.54	557.18
46	3.17	557.18	96	6.61	557.18
47	3.24	557.18	97	6.68	557.18
48	3.31	557.18	98	6.75	557.18
49	3.37	557.18	99	6.82	557.18
50	3.44	557.18	100	6.89	557.18

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	33.61	51	3.49	703.97
2	0.14	67.23	52	3.56	703.97
3	0.21	100.84	53	3.63	703.97
4	0.27	134.46	54	3.70	703.97
5	0.34	168.07	55	3.77	703.97
6	0.41	201.69	56	3.84	703.97
7	0.48	235.30	57	3.90	703.97
8	0.55	268.92	58	3.97	703.97
9	0.62	302.53	59	4.04	703.97
10	0.68	336.15	60	4.11	703.97
11	0.75	369.76	61	4.18	703.97
12	0.82	403.38	62	4.25	703.97
13	0.89	436.99	63	4.31	703.97
14	0.96	470.61	64	4.38	703.97
15	1.03	504.22	65	4.45	703.97
16	1.10	537.84	66	4.52	703.97
17	1.16	571.45	67	4.59	703.97
18	1.23	605.07	68	4.66	703.97
19	1.30	638.68	69	4.73	703.97
20	1.37	672.30	70	4.79	703.97
21	1.44	704.00	71	4.86	703.97
22	1.51	704.00	72	4.93	703.97
23	1.58	704.00	73	5.00	703.97
24	1.64	703.98	74	5.07	703.97
25	1.71	703.97	75	5.14	703.97
26	1.78	703.96	76	5.21	703.97
27	1.85	703.95	77	5.27	703.97
28	1.92	703.95	78	5.34	703.97
29	1.99	703.95	79	5.41	703.97
30	2.05	703.96	80	5.48	703.97
31	2.12	703.97	81	5.55	703.97
32	2.19	703.97	82	5.62	703.97
33	2.26	703.97	83	5.68	703.97
34	2.33	703.97	84	5.75	703.97
35	2.40	703.97	85	5.82	703.97
36	2.47	703.97	86	5.89	703.97
37	2.53	703.97	87	5.96	703.97
38	2.60	703.96	88	6.03	703.97
39	2.67	703.96	89	6.10	703.97
40	2.74	703.96	90	6.16	703.97
41	2.81	703.96	91	6.23	703.97
42	2.88	703.97	92	6.30	703.97
43	2.95	703.97	93	6.37	703.97
44	3.01	703.97	94	6.44	703.97
45	3.08	703.97	95	6.51	703.97
46	3.15	703.97	96	6.58	703.97
47	3.22	703.97	97	6.64	703.97
48	3.29	703.97	98	6.71	703.97
49	3.36	703.97	99	6.78	703.97
50	3.42	703.97	100	6.85	703.97

QUINTA ITERACION - MOHR COULOMB

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	32.18	51	3.53	463.34
2	0.14	64.36	52	3.60	463.34
3	0.21	96.53	53	3.67	463.34
4	0.28	128.71	54	3.74	463.34
5	0.35	160.89	55	3.81	463.34
6	0.42	193.07	56	3.88	463.34
7	0.48	225.25	57	3.94	463.34
8	0.55	257.42	58	4.01	463.34
9	0.62	289.60	59	4.08	463.34
10	0.69	321.78	60	4.15	463.34
11	0.76	353.96	61	4.22	463.34
12	0.83	386.14	62	4.29	463.34
13	0.90	418.31	63	4.36	463.34
14	0.97	450.49	64	4.43	463.34
15	1.04	463.36	65	4.50	463.34
16	1.11	463.36	66	4.57	463.34
17	1.18	463.35	67	4.64	463.34
18	1.25	463.34	68	4.71	463.34
19	1.31	463.34	69	4.77	463.34
20	1.38	463.33	70	4.84	463.34
21	1.45	463.33	71	4.91	463.34
22	1.52	463.33	72	4.98	463.34
23	1.59	463.33	73	5.05	463.34
24	1.66	463.34	74	5.12	463.34
25	1.73	463.34	75	5.19	463.34
26	1.80	463.34	76	5.26	463.34
27	1.87	463.34	77	5.33	463.34
28	1.94	463.34	78	5.40	463.34
29	2.01	463.34	79	5.47	463.34
30	2.08	463.34	80	5.54	463.34
31	2.15	463.34	81	5.61	463.34
32	2.21	463.34	82	5.67	463.34
33	2.28	463.34	83	5.74	463.34
34	2.35	463.34	84	5.81	463.34
35	2.42	463.34	85	5.88	463.34
36	2.49	463.34	86	5.95	463.34
37	2.56	463.34	87	6.02	463.34
38	2.63	463.34	88	6.09	463.34
39	2.70	463.34	89	6.16	463.34
40	2.77	463.34	90	6.23	463.34
41	2.84	463.34	91	6.30	463.34
42	2.91	463.34	92	6.37	463.34
43	2.98	463.34	93	6.44	463.34
44	3.04	463.34	94	6.50	463.34
45	3.11	463.34	95	6.57	463.34
46	3.18	463.34	96	6.64	463.34
47	3.25	463.34	97	6.71	463.34
48	3.32	463.34	98	6.78	463.34
49	3.39	463.34	99	6.85	463.34
50	3.46	463.34	100	6.92	463.34

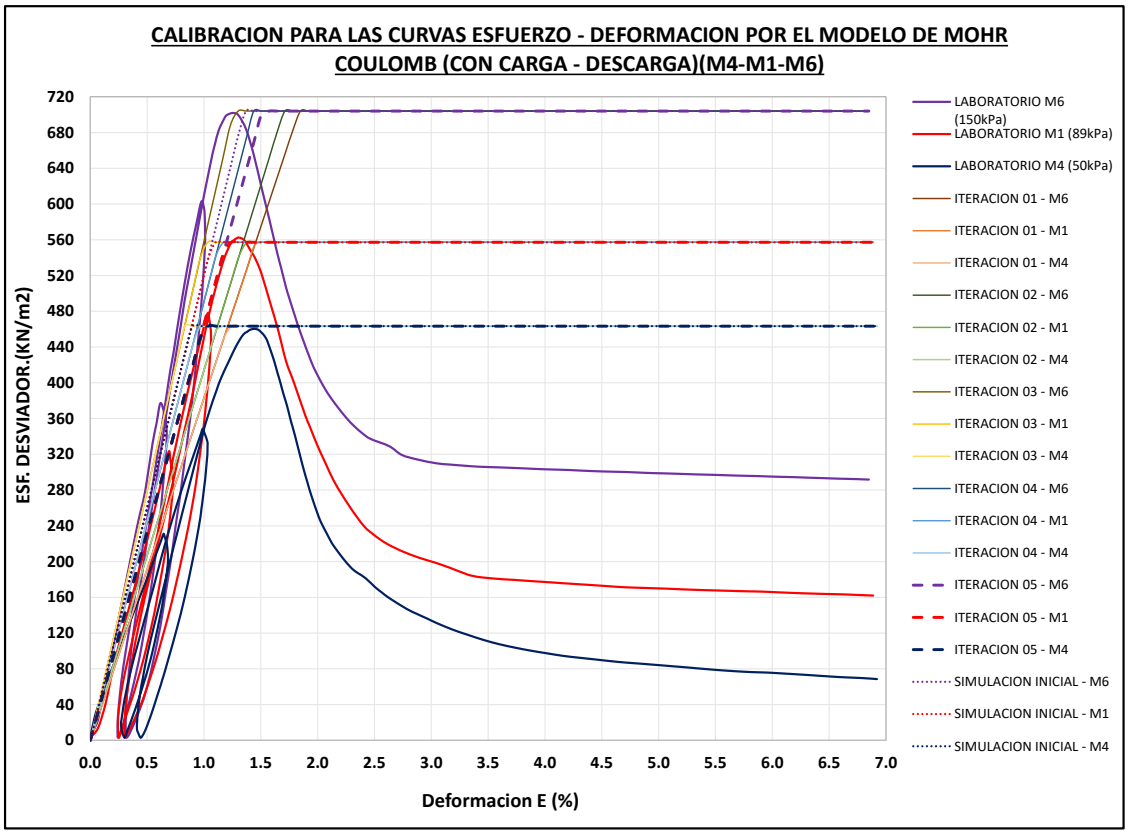
CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	32.02	51	3.51	557.18
2	0.14	64.05	52	3.58	557.18
3	0.21	96.07	53	3.65	557.18
4	0.28	128.10	54	3.72	557.18
5	0.34	160.12	55	3.79	557.18
6	0.41	192.15	56	3.86	557.18
7	0.48	224.17	57	3.93	557.18
8	0.55	256.20	58	3.99	557.18
9	0.62	288.22	59	4.06	557.18
10	0.69	320.25	60	4.13	557.18
11	0.76	352.27	61	4.20	557.18
12	0.83	384.29	62	4.27	557.18
13	0.90	416.32	63	4.34	557.18
14	0.96	448.34	64	4.41	557.18
15	1.03	480.37	65	4.48	557.18
16	1.10	512.39	66	4.55	557.18
17	1.17	544.42	67	4.61	557.18
18	1.24	557.21	68	4.68	557.18
19	1.31	557.21	69	4.75	557.18
20	1.38	557.20	70	4.82	557.18
21	1.45	557.19	71	4.89	557.18
22	1.52	557.18	72	4.96	557.18
23	1.58	557.17	73	5.03	557.18
24	1.65	557.17	74	5.10	557.18
25	1.72	557.17	75	5.17	557.18
26	1.79	557.18	76	5.23	557.18
27	1.86	557.18	77	5.30	557.18
28	1.93	557.19	78	5.37	557.18
29	2.00	557.19	79	5.44	557.18
30	2.07	557.19	80	5.51	557.18
31	2.13	557.19	81	5.58	557.18
32	2.20	557.19	82	5.65	557.18
33	2.27	557.18	83	5.72	557.18
34	2.34	557.18	84	5.79	557.18
35	2.41	557.18	85	5.85	557.18
36	2.48	557.18	86	5.92	557.18
37	2.55	557.18	87	5.99	557.18
38	2.62	557.18	88	6.06	557.18
39	2.69	557.18	89	6.13	557.18
40	2.75	557.18	90	6.20	557.18
41	2.82	557.18	91	6.27	557.18
42	2.89	557.18	92	6.34	557.18
43	2.96	557.18	93	6.40	557.18
44	3.03	557.18	94	6.47	557.18
45	3.10	557.18	95	6.54	557.18
46	3.17	557.18	96	6.61	557.18
47	3.24	557.18	97	6.68	557.18
48	3.31	557.18	98	6.75	557.18
49	3.37	557.18	99	6.82	557.18
50	3.44	557.18	100	6.89	557.18

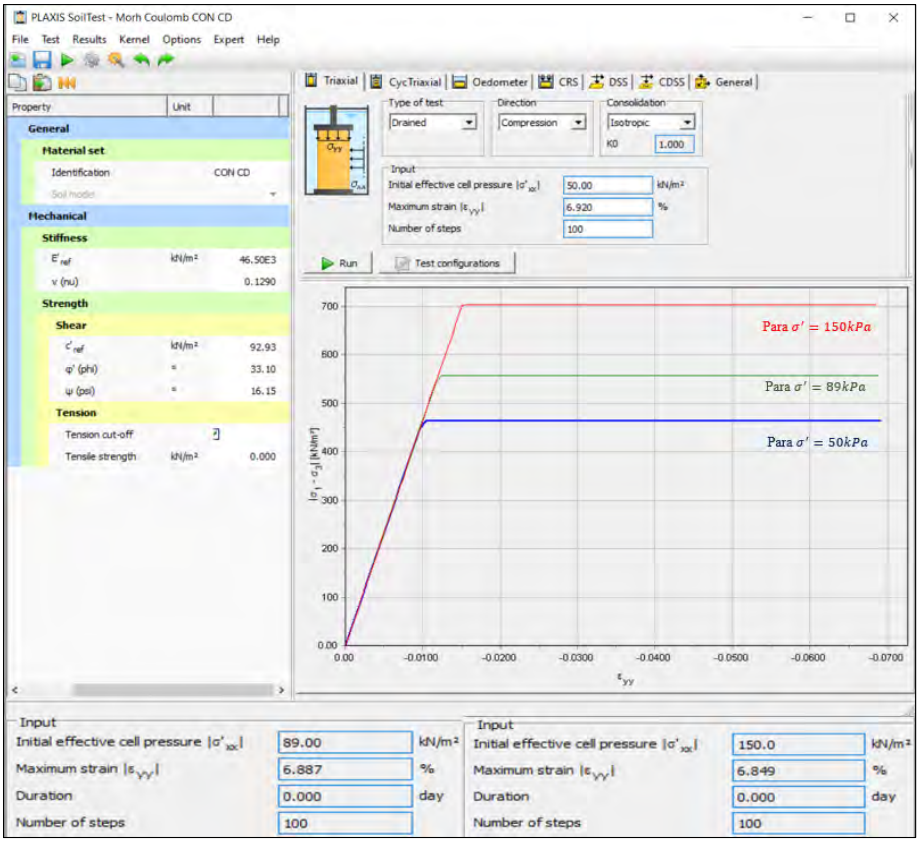
CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

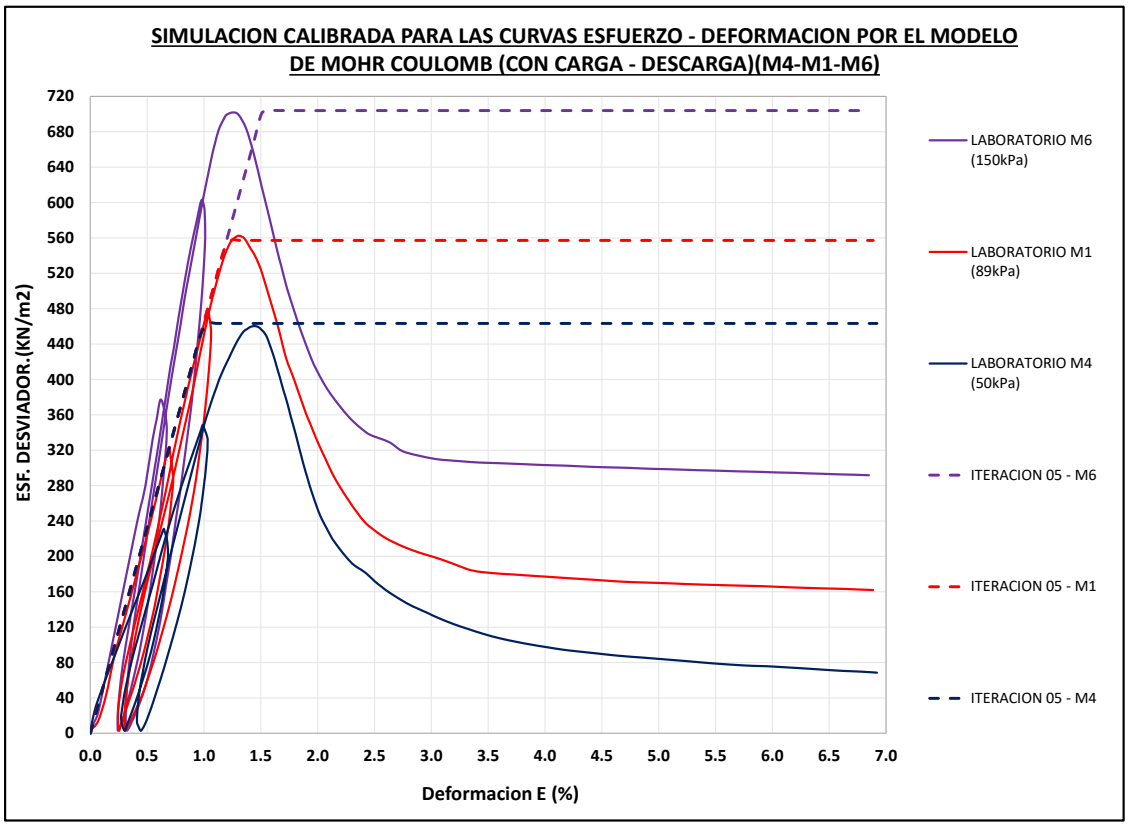
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	31.85	51	3.49	703.97
2	0.14	63.70	52	3.56	703.97
3	0.21	95.54	53	3.63	703.97
4	0.27	127.39	54	3.70	703.97
5	0.34	159.24	55	3.77	703.97
6	0.41	191.09	56	3.84	703.97
7	0.48	222.93	57	3.90	703.97
8	0.55	254.78	58	3.97	703.97
9	0.62	286.63	59	4.04	703.97
10	0.68	318.48	60	4.11	703.97
11	0.75	350.33	61	4.18	703.97
12	0.82	382.17	62	4.25	703.97
13	0.89	414.02	63	4.31	703.97
14	0.96	445.87	64	4.38	703.97
15	1.03	477.72	65	4.45	703.97
16	1.10	509.57	66	4.52	703.97
17	1.16	541.41	67	4.59	703.97
18	1.23	573.26	68	4.66	703.97
19	1.30	605.11	69	4.73	703.97
20	1.37	636.96	70	4.79	703.97
21	1.44	668.80	71	4.86	703.97
22	1.51	700.65	72	4.93	703.97
23	1.58	704.00	73	5.00	703.97
24	1.64	703.99	74	5.07	703.97
25	1.71	703.99	75	5.14	703.97
26	1.78	703.98	76	5.21	703.97
27	1.85	703.97	77	5.27	703.97
28	1.92	703.96	78	5.34	703.97
29	1.99	703.95	79	5.41	703.97
30	2.05	703.96	80	5.48	703.97
31	2.12	703.96	81	5.55	703.97
32	2.19	703.96	82	5.62	703.97
33	2.26	703.97	83	5.68	703.97
34	2.33	703.97	84	5.75	703.97
35	2.40	703.97	85	5.82	703.97
36	2.47	703.97	86	5.89	703.97
37	2.53	703.97	87	5.96	703.97
38	2.60	703.97	88	6.03	703.97
39	2.67	703.97	89	6.10	703.97
40	2.74	703.96	90	6.16	703.97
41	2.81	703.96	91	6.23	703.97
42	2.88	703.96	92	6.30	703.97
43	2.95	703.97	93	6.37	703.97
44	3.01	703.97	94	6.44	703.97
45	3.08	703.97	95	6.51	703.97
46	3.15	703.97	96	6.58	703.97
47	3.22	703.97	97	6.64	703.97
48	3.29	703.97	98	6.71	703.97
49	3.36	703.97	99	6.78	703.97
50	3.42	703.97	100	6.85	703.97

LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE MOHR COULOMB ES LA MAS AJUSTADA A LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION EXPERIMENTALES (CON CARGA - DESCARGA)



CURVAS DE LA QUINTA ITERACION CALIBRADAS DEL MODELO DE MOHR COULOMB EN LA HERRAMIENTA SOIL TEST (SIN CARGA - DESCARGA)




SIMULACION CALIBRADA PARA LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE MOHR COULOMB (CON CARGA - DESCARGA)(M4-M1-M6)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion E (%)
LABORATORIO M6 (150kPa)
LABORATORIO M1 (89kPa)
LABORATORIO M4 (50kPa)
ITERACION 05 - M6
ITERACION 05 - M1
ITERACION 05 - M4

ANEXO B2

RESULTADOS DE SIMULACION MEDIANTE EL MODELO DE HARDENING SOIL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5
(MODELO DE HARDENING SOIL)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test) **Nro de pasos de Calculo:** 100

SIMULACION DE CURVA M3 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	13.08059300
0.137	25.513
0.206	37.344
0.275	48.615
0.343	59.366
0.412	69.632
0.481	79.444
0.549	88.833
0.618	97.826
0.687	106.446
0.755	114.716
0.824	122.658
0.893	130.290
0.962	137.631
1.030	144.696
1.099	151.501
1.168	158.060
1.236	164.386
1.305	169.002
1.374	173.253
1.442	177.417
1.511	181.499
1.580	185.499
1.648	189.420
1.717	193.265
1.786	197.036
1.854	200.735
1.923	204.364
1.992	207.925
2.060	211.419
2.129	214.849
2.198	218.217
2.266	221.523
2.335	224.769
2.404	227.957
2.473	231.089
2.541	234.165
2.610	237.186
2.679	240.155
2.747	243.072
2.816	245.939
2.885	248.756
2.953	251.525
3.022	254.247
3.091	256.923
3.159	259.553
3.228	262.139
3.297	264.683
3.365	267.184
3.434	269.891
3.503	272.558
3.571	275.184
3.640	277.770
3.709	280.317
3.777	282.825
3.846	285.296
3.915	287.729
3.983	290.124
4.052	292.485
4.121	294.809
4.190	297.099
4.258	299.354
4.327	301.575
4.396	303.764
4.464	305.920
4.533	308.044
4.602	310.136

SIMULACION DE CURVA M2 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	15.438
0.138	30.125
0.207	44.114
0.276	57.453
0.345	70.187
0.414	82.356
0.483	93.996
0.552	105.142
0.621	115.824
0.690	126.070
0.759	135.907
0.828	145.359
0.897	152.677
0.966	159.206
1.035	165.559
1.104	171.749
1.172	177.779
1.241	183.662
1.310	189.400
1.379	195.004
1.448	200.476
1.517	205.824
1.586	211.052
1.655	216.164
1.724	221.165
1.793	226.058
1.862	230.848
1.931	235.538
2.000	240.130
2.069	244.629
2.138	249.037
2.207	253.357
2.276	257.591
2.345	261.742
2.414	265.812
2.483	269.804
2.552	273.720
2.621	277.561
2.690	281.331
2.759	285.030
2.828	288.660
2.897	292.223
2.966	295.722
3.035	299.157
3.104	302.530
3.173	305.843
3.242	309.097
3.311	312.294
3.380	315.435
3.449	318.520
3.517	321.553
3.586	324.843
3.655	328.082
3.724	331.269
3.793	334.405
3.862	337.492
3.931	340.530
4.000	343.520
4.069	346.463
4.138	349.360
4.207	352.211
4.276	355.019
4.345	357.782
4.414	360.503
4.483	363.180
4.552	365.817
4.621	368.413

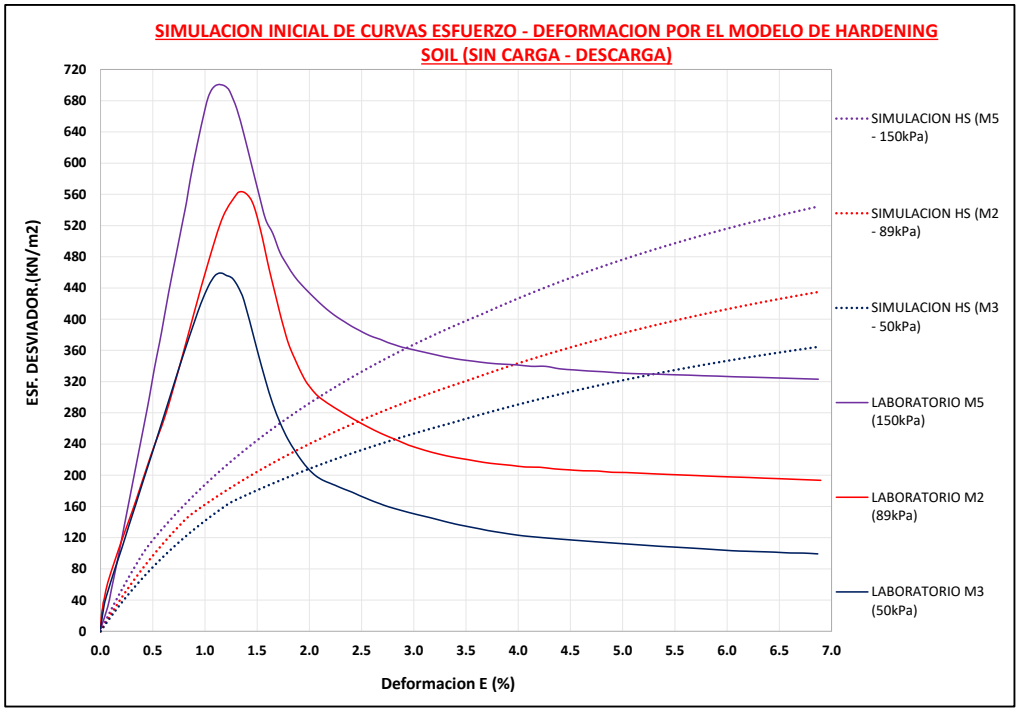
SIMULACION DE CURVA M5 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	18.885
0.137	36.879
0.206	54.044
0.275	70.435
0.344	86.104
0.412	101.098
0.481	113.686
0.550	124.761
0.619	135.392
0.687	145.622
0.756	155.484
0.825	165.010
0.893	174.224
0.962	183.149
1.031	191.805
1.100	200.208
1.168	208.376
1.237	216.317
1.306	224.049
1.375	231.576
1.443	238.915
1.512	246.071
1.581	253.052
1.650	259.866
1.718	266.520
1.787	273.022
1.856	279.375
1.924	285.586
1.993	291.661
2.062	297.604
2.131	303.419
2.199	309.111
2.268	314.684
2.337	320.142
2.406	325.488
2.474	330.726
2.543	335.859
2.612	340.890
2.680	345.822
2.749	350.658
2.818	355.401
2.887	360.054
2.955	364.617
3.024	369.096
3.093	373.490
3.162	377.803
3.230	382.037
3.299	386.194
3.368	390.276
3.437	394.284
3.505	398.220
3.574	402.087
3.643	405.886
3.711	410.017
3.780	414.080
3.849	418.078
3.918	422.011
3.986	425.881
4.055	429.689
4.124	433.436
4.193	437.123
4.261	440.752
4.330	444.323
4.399	447.839
4.467	451.299
4.536	454.704
4.605	458.057

4.670	312.197
4.739	314.228
4.808	316.228
4.876	318.199
4.945	320.141
5.014	322.054
5.082	323.939
5.151	325.796
5.220	327.627
5.288	329.430
5.357	331.207
5.426	332.958
5.494	334.684
5.563	336.385
5.632	338.061
5.701	339.713
5.769	341.341
5.838	342.945
5.907	344.527
5.975	346.086
6.044	347.622
6.113	349.137
6.181	350.630
6.250	352.102
6.319	353.553
6.387	354.984
6.456	356.395
6.525	357.786
6.593	359.157
6.662	360.509
6.731	361.842
6.799	363.157
6.868	364.454

4.690	370.971
4.759	373.488
4.828	375.968
4.897	378.408
4.966	380.813
5.035	383.180
5.104	385.513
5.173	387.808
5.242	390.071
5.311	392.298
5.380	394.494
5.449	396.655
5.518	398.785
5.587	400.882
5.656	402.950
5.725	404.985
5.793	406.993
5.862	408.969
5.931	410.917
6.000	412.836
6.069	414.728
6.138	416.591
6.207	418.429
6.276	420.238
6.345	422.023
6.414	423.781
6.483	425.515
6.552	427.223
6.621	428.908
6.690	430.567
6.759	432.205
6.828	433.818
6.897	435.410

4.674	461.357
4.742	464.607
4.811	467.806
4.880	470.955
4.949	474.056
5.017	477.110
5.086	480.117
5.155	483.078
5.223	485.994
5.292	488.866
5.361	491.695
5.430	494.480
5.498	497.225
5.567	499.928
5.636	502.591
5.705	505.214
5.773	507.798
5.842	510.344
5.911	512.853
5.980	515.324
6.048	517.760
6.117	520.160
6.186	522.525
6.254	524.856
6.323	527.153
6.392	529.417
6.461	531.649
6.529	533.849
6.598	536.017
6.667	538.155
6.736	540.262
6.804	542.340
6.873	544.388



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION CALIBRADA DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE HARDENING SOIL)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

PRIMERA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	13.07	51	3.50	273.50
2	0.14	25.49	52	3.57	275.87
3	0.21	37.31	53	3.64	278.22
4	0.27	48.57	54	3.71	280.53
5	0.34	59.32	55	3.78	282.80
6	0.41	69.58	56	3.85	285.05
7	0.48	79.38	57	3.91	287.26
8	0.55	88.76	58	3.98	289.43
9	0.62	97.75	59	4.05	291.58
10	0.69	106.37	60	4.12	293.70
11	0.76	114.63	61	4.19	295.78
12	0.82	122.57	62	4.26	297.83
13	0.89	130.20	63	4.33	299.86
14	0.96	137.54	64	4.40	301.86
15	1.03	144.60	65	4.46	303.82
16	1.10	151.40	66	4.53	305.76
17	1.17	157.96	67	4.60	307.67
18	1.24	164.28	68	4.67	309.56
19	1.30	170.39	69	4.74	311.42
20	1.37	174.71	70	4.81	313.25
21	1.44	178.88	71	4.88	315.06
22	1.51	182.97	72	4.95	316.84
23	1.58	186.98	73	5.01	318.59
24	1.65	190.91	74	5.08	320.32
25	1.72	194.76	75	5.15	322.03
26	1.79	198.54	76	5.22	323.72
27	1.85	202.24	77	5.29	325.38
28	1.92	205.87	78	5.36	327.01
29	1.99	209.44	79	5.43	328.63
30	2.06	212.93	80	5.49	330.22
31	2.13	216.36	81	5.56	331.79
32	2.20	219.73	82	5.63	333.34
33	2.27	223.04	83	5.70	334.87
34	2.34	226.28	84	5.77	336.38
35	2.40	229.47	85	5.84	337.87
36	2.47	232.60	86	5.91	339.34
37	2.54	235.67	87	5.98	340.78
38	2.61	238.69	88	6.04	342.21
39	2.68	241.66	89	6.11	343.62
40	2.75	244.57	90	6.18	345.01
41	2.82	247.43	91	6.25	346.39
42	2.88	250.25	92	6.32	347.74
43	2.95	253.01	93	6.39	349.08
44	3.02	255.73	94	6.46	350.40
45	3.09	258.40	95	6.52	351.70
46	3.16	261.02	96	6.59	352.98
47	3.23	263.60	97	6.66	354.25
48	3.30	266.14	98	6.73	355.50
49	3.37	268.63	99	6.80	356.74
50	3.43	271.08	100	6.87	357.96

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	15.42	51	3.52	322.57
2	0.14	30.10	52	3.59	325.55
3	0.21	44.08	53	3.66	328.48
4	0.28	57.40	54	3.72	331.37
5	0.34	70.13	55	3.79	334.21
6	0.41	82.29	56	3.86	337.01
7	0.48	93.92	57	3.93	339.77
8	0.55	105.06	58	4.00	342.48
9	0.62	115.74	59	4.07	345.15
10	0.69	125.98	60	4.14	347.79
11	0.76	135.81	61	4.21	350.38
12	0.83	145.25	62	4.28	352.94
13	0.90	153.20	63	4.35	355.46
14	0.97	159.76	64	4.41	357.94
15	1.03	166.15	65	4.48	360.38
16	1.10	172.37	66	4.55	362.79
17	1.17	178.43	67	4.62	365.16
18	1.24	184.34	68	4.69	367.50
19	1.31	190.11	69	4.76	369.80
20	1.38	195.73	70	4.83	372.07
21	1.45	201.23	71	4.90	374.31
22	1.52	206.60	72	4.97	376.52
23	1.59	211.85	73	5.03	378.69
24	1.66	216.98	74	5.10	380.83
25	1.72	222.00	75	5.17	382.95
26	1.79	226.92	76	5.24	385.03
27	1.86	231.72	77	5.31	387.08
28	1.93	236.43	78	5.38	389.10
29	2.00	241.04	79	5.45	391.10
30	2.07	245.55	80	5.52	393.07
31	2.14	249.97	81	5.59	395.01
32	2.21	254.30	82	5.66	396.92
33	2.28	258.54	83	5.72	398.81
34	2.34	262.70	84	5.79	400.67
35	2.41	266.78	85	5.86	402.50
36	2.48	270.78	86	5.93	404.31
37	2.55	274.71	87	6.00	406.10
38	2.62	278.56	88	6.07	407.86
39	2.69	282.33	89	6.14	409.59
40	2.76	286.03	90	6.21	411.31
41	2.83	289.67	91	6.28	413.00
42	2.90	293.24	92	6.35	414.66
43	2.97	296.74	93	6.41	416.31
44	3.03	300.18	94	6.48	417.93
45	3.10	303.55	95	6.55	419.53
46	3.17	306.86	96	6.62	421.11
47	3.24	310.12	97	6.69	422.67
48	3.31	313.32	98	6.76	424.21
49	3.38	316.46	99	6.83	425.73
50	3.45	319.54	100	6.90	427.23

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	18.87	51	3.51	398.82
2	0.14	36.85	52	3.57	402.69
3	0.21	54.00	53	3.64	406.50
4	0.27	70.38	54	3.71	410.24
5	0.34	86.03	55	3.78	413.91
6	0.41	101.02	56	3.85	417.53
7	0.48	112.71	57	3.92	421.09
8	0.55	123.86	58	3.99	424.60
9	0.62	134.57	59	4.06	428.06
10	0.69	144.87	60	4.12	431.46
11	0.76	154.80	61	4.19	434.81
12	0.82	164.40	62	4.26	438.11
13	0.89	173.68	63	4.33	441.36
14	0.96	182.67	64	4.40	444.56
15	1.03	191.38	65	4.47	447.72
16	1.10	199.85	66	4.54	450.82
17	1.17	208.07	67	4.60	453.88
18	1.24	216.07	68	4.67	456.90
19	1.31	223.85	69	4.74	459.87
20	1.37	231.43	70	4.81	462.80
21	1.44	238.81	71	4.88	465.68
22	1.51	246.01	72	4.95	468.53
23	1.58	253.04	73	5.02	471.33
24	1.65	259.89	74	5.09	474.09
25	1.72	266.59	75	5.15	476.81
26	1.79	273.12	76	5.22	479.49
27	1.86	279.51	77	5.29	482.14
28	1.92	285.76	78	5.36	484.74
29	1.99	291.87	79	5.43	487.32
30	2.06	297.84	80	5.50	489.85
31	2.13	303.68	81	5.57	492.35
32	2.20	309.40	82	5.64	494.81
33	2.27	315.00	83	5.70	497.24
34	2.34	320.49	84	5.77	499.64
35	2.41	325.86	85	5.84	502.00
36	2.47	331.12	86	5.91	504.33
37	2.54	336.27	87	5.98	506.63
38	2.61	341.32	88	6.05	508.89
39	2.68	346.27	89	6.12	511.13
40	2.75	351.12	90	6.19	513.33
41	2.82	355.88	91	6.25	515.51
42	2.89	360.55	92	6.32	517.65
43	2.96	365.13	93	6.39	519.77
44	3.02	369.62	94	6.46	521.86
45	3.09	374.03	95	6.53	523.92
46	3.16	378.35	96	6.60	525.95
47	3.23	382.60	97	6.67	527.96
48	3.30	386.76	98	6.74	529.94
49	3.37	390.86	99	6.80	531.90
50	3.44	394.87	100	6.87	533.83

SEGUNDA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	13.33	51	3.50	266.39
2	0.14	25.98	52	3.57	268.80
3	0.21	38.02	53	3.64	271.56
4	0.27	49.47	54	3.71	274.28
5	0.34	60.38	55	3.78	276.96
6	0.41	70.80	56	3.85	279.60
7	0.48	80.75	57	3.91	282.20
8	0.55	90.26	58	3.98	284.76
9	0.62	99.36	59	4.05	287.28
10	0.69	108.08	60	4.12	289.77
11	0.76	116.44	61	4.19	292.23
12	0.82	124.47	62	4.26	294.64
13	0.89	132.17	63	4.33	297.02
14	0.96	139.58	64	4.40	299.37
15	1.03	145.74	65	4.46	301.68
16	1.10	150.29	66	4.53	303.96
17	1.17	154.75	67	4.60	306.21
18	1.24	159.12	68	4.67	308.43
19	1.30	163.40	69	4.74	310.61
20	1.37	167.59	70	4.81	312.76
21	1.44	171.71	71	4.88	314.88
22	1.51	175.74	72	4.95	316.96
23	1.58	179.70	73	5.01	319.02
24	1.65	183.58	74	5.08	321.05
25	1.72	187.39	75	5.15	323.05
26	1.79	191.13	76	5.22	325.02
27	1.85	194.80	77	5.29	326.96
28	1.92	198.41	78	5.36	328.87
29	1.99	201.95	79	5.43	330.75
30	2.06	205.43	80	5.49	332.61
31	2.13	208.85	81	5.56	334.44
32	2.20	212.21	82	5.63	336.25
33	2.27	215.51	83	5.70	338.02
34	2.34	218.75	84	5.77	339.78
35	2.40	221.94	85	5.84	341.50
36	2.47	225.08	86	5.91	343.21
37	2.54	228.16	87	5.98	344.88
38	2.61	231.19	88	6.04	346.54
39	2.68	234.17	89	6.11	348.17
40	2.75	237.11	90	6.18	349.77
41	2.82	239.99	91	6.25	351.36
42	2.88	242.83	92	6.32	352.92
43	2.95	245.62	93	6.39	354.45
44	3.02	248.36	94	6.46	355.97
45	3.09	251.06	95	6.52	357.46
46	3.16	253.72	96	6.59	358.94
47	3.23	256.33	97	6.66	360.39
48	3.30	258.91	98	6.73	361.82
49	3.37	261.44	99	6.80	363.23
50	3.43	263.93	100	6.87	364.62

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	15.73	51	3.52	317.90
2	0.14	30.68	52	3.59	320.89
3	0.21	44.91	53	3.66	323.83
4	0.28	58.47	54	3.72	327.20
5	0.34	71.39	55	3.79	330.52
6	0.41	83.74	56	3.86	333.80
7	0.48	95.54	57	3.93	337.02
8	0.55	106.83	58	4.00	340.19
9	0.62	117.65	59	4.07	343.31
10	0.69	128.01	60	4.14	346.38
11	0.76	137.96	61	4.21	349.41
12	0.83	144.82	62	4.28	352.39
13	0.90	151.35	63	4.35	355.32
14	0.97	157.71	64	4.41	358.21
15	1.03	163.90	65	4.48	361.06
16	1.10	169.93	66	4.55	363.86
17	1.17	175.81	67	4.62	366.62
18	1.24	181.56	68	4.69	369.34
19	1.31	187.16	69	4.76	372.01
20	1.38	192.64	70	4.83	374.65
21	1.45	198.00	71	4.90	377.24
22	1.52	203.24	72	4.97	379.80
23	1.59	208.36	73	5.03	382.31
24	1.66	213.38	74	5.10	384.79
25	1.72	218.29	75	5.17	387.23
26	1.79	223.10	76	5.24	389.64
27	1.86	227.81	77	5.31	392.01
28	1.93	232.43	78	5.38	394.34
29	2.00	236.96	79	5.45	396.64
30	2.07	241.39	80	5.52	398.90
31	2.14	245.74	81	5.59	401.13
32	2.21	250.01	82	5.66	403.33
33	2.28	254.20	83	5.72	405.49
34	2.34	258.31	84	5.79	407.62
35	2.41	262.34	85	5.86	409.72
36	2.48	266.30	86	5.93	411.79
37	2.55	270.18	87	6.00	413.83
38	2.62	274.00	88	6.07	415.83
39	2.69	277.74	89	6.14	417.81
40	2.76	281.42	90	6.21	419.76
41	2.83	285.03	91	6.28	421.68
42	2.90	288.58	92	6.35	423.57
43	2.97	292.07	93	6.41	425.44
44	3.03	295.50	94	6.48	427.27
45	3.10	298.86	95	6.55	429.08
46	3.17	302.17	96	6.62	430.87
47	3.24	305.43	97	6.69	432.62
48	3.31	308.62	98	6.76	434.36
49	3.38	311.77	99	6.83	436.06
50	3.45	314.86	100	6.90	437.74

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	19.24	51	3.51	396.56
2	0.14	37.56	52	3.57	400.40
3	0.21	55.02	53	3.64	404.18
4	0.27	71.68	54	3.71	407.89
5	0.34	87.59	55	3.78	412.17
6	0.41	102.81	56	3.85	416.38
7	0.48	117.37	57	3.92	420.52
8	0.55	130.06	58	3.99	424.59
9	0.62	140.26	59	4.06	428.60
10	0.69	150.07	60	4.12	432.55
11	0.76	159.55	61	4.19	436.43
12	0.82	168.71	62	4.26	440.26
13	0.89	177.58	63	4.33	444.02
14	0.96	186.18	64	4.40	447.72
15	1.03	194.53	65	4.47	451.37
16	1.10	202.65	66	4.54	454.96
17	1.17	210.54	67	4.60	458.49
18	1.24	218.23	68	4.67	461.97
19	1.31	225.72	69	4.74	465.40
20	1.37	233.02	70	4.81	468.77
21	1.44	240.14	71	4.88	472.09
22	1.51	247.09	72	4.95	475.36
23	1.58	253.88	73	5.02	478.57
24	1.65	260.51	74	5.09	481.74
25	1.72	266.99	75	5.15	484.86
26	1.79	273.33	76	5.22	487.93
27	1.86	279.53	77	5.29	490.96
28	1.92	285.59	78	5.36	493.93
29	1.99	291.53	79	5.43	496.87
30	2.06	297.34	80	5.50	499.76
31	2.13	303.04	81	5.57	502.60
32	2.20	308.62	82	5.64	505.40
33	2.27	314.08	83	5.70	508.17
34	2.34	319.44	84	5.77	510.88
35	2.41	324.69	85	5.84	513.56
36	2.47	329.84	86	5.91	516.20
37	2.54	334.89	87	5.98	518.80
38	2.61	339.84	88	6.05	521.35
39	2.68	344.70	89	6.12	523.88
40	2.75	349.47	90	6.19	526.36
41	2.82	354.15	91	6.25	528.81
42	2.89	358.74	92	6.32	531.22
43	2.96	363.25	93	6.39	533.59
44	3.02	367.68	94	6.46	535.93
45	3.09	372.03	95	6.53	538.24
46	3.16	376.30	96	6.60	540.51
47	3.23	380.49	97	6.67	542.75
48	3.30	384.62	98	6.74	544.95
49	3.37	388.66	99	6.80	547.13
50	3.44	392.65	100	6.87	549.27

TERCERA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	15.03	51	3.50	283.97
2	0.14	29.21	52	3.57	286.84
3	0.21	42.60	53	3.64	289.66
4	0.27	55.27	54	3.71	292.43
5	0.34	67.28	55	3.78	295.16
6	0.41	78.68	56	3.85	297.84
7	0.48	89.51	57	3.91	300.48
8	0.55	99.82	58	3.98	303.08
9	0.62	109.64	59	4.05	305.63
10	0.69	119.00	60	4.12	308.15
11	0.76	127.94	61	4.19	310.62
12	0.82	136.48	62	4.26	313.05
13	0.89	144.39	63	4.33	315.44
14	0.96	149.57	64	4.40	317.79
15	1.03	154.62	65	4.46	320.10
16	1.10	159.56	66	4.53	322.37
17	1.17	164.38	67	4.60	324.61
18	1.24	169.10	68	4.67	326.81
19	1.30	173.71	69	4.74	328.97
20	1.37	178.23	70	4.81	331.10
21	1.44	182.64	71	4.88	333.19
22	1.51	186.97	72	4.95	335.25
23	1.58	191.20	73	5.01	337.28
24	1.65	195.35	74	5.08	339.27
25	1.72	199.42	75	5.15	341.23
26	1.79	203.40	76	5.22	343.16
27	1.85	207.30	77	5.29	345.06
28	1.92	211.13	78	5.36	346.92
29	1.99	214.88	79	5.43	348.76
30	2.06	218.56	80	5.49	350.56
31	2.13	222.17	81	5.56	352.34
32	2.20	225.71	82	5.63	354.09
33	2.27	229.18	83	5.70	355.81
34	2.34	232.58	84	5.77	357.50
35	2.40	235.93	85	5.84	359.16
36	2.47	239.21	86	5.91	360.80
37	2.54	242.43	87	5.98	362.41
38	2.61	245.59	88	6.04	364.00
39	2.68	248.69	89	6.11	365.56
40	2.75	251.74	90	6.18	367.09
41	2.82	254.73	91	6.25	368.60
42	2.88	257.67	92	6.32	370.09
43	2.95	260.55	93	6.39	371.55
44	3.02	263.38	94	6.46	373.00
45	3.09	266.16	95	6.52	374.41
46	3.16	268.90	96	6.59	375.81
47	3.23	272.01	97	6.66	377.18
48	3.30	275.08	98	6.73	378.54
49	3.37	278.09	99	6.80	379.87
50	3.43	281.05	100	6.87	381.18

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	17.74	51	3.52	339.15
2	0.14	34.49	52	3.59	342.69
3	0.21	50.33	53	3.66	346.18
4	0.28	65.34	54	3.72	349.60
5	0.34	79.57	55	3.79	352.96
6	0.41	93.09	56	3.86	356.27
7	0.48	105.95	57	3.93	359.52
8	0.55	118.19	58	4.00	362.71
9	0.62	129.86	59	4.07	365.85
10	0.69	140.24	60	4.14	368.94
11	0.76	147.76	61	4.21	371.97
12	0.83	155.04	62	4.28	374.95
13	0.90	162.11	63	4.35	377.87
14	0.97	168.97	64	4.41	380.75
15	1.03	175.64	65	4.48	383.58
16	1.10	182.13	66	4.55	386.36
17	1.17	188.44	67	4.62	389.09
18	1.24	194.60	68	4.69	391.78
19	1.31	200.60	69	4.76	394.42
20	1.38	206.45	70	4.83	397.01
21	1.45	212.17	71	4.90	399.57
22	1.52	217.74	72	4.97	402.08
23	1.59	223.19	73	5.03	404.54
24	1.66	228.51	74	5.10	406.97
25	1.72	233.71	75	5.17	409.35
26	1.79	238.80	76	5.24	411.69
27	1.86	243.77	77	5.31	414.00
28	1.93	248.63	78	5.38	416.26
29	2.00	253.39	79	5.45	418.49
30	2.07	258.05	80	5.52	420.68
31	2.14	262.61	81	5.59	422.84
32	2.21	267.08	82	5.66	424.95
33	2.28	271.45	83	5.72	427.04
34	2.34	275.74	84	5.79	429.09
35	2.41	279.93	85	5.86	431.10
36	2.48	284.05	86	5.93	433.09
37	2.55	288.08	87	6.00	435.04
38	2.62	292.03	88	6.07	436.95
39	2.69	295.90	89	6.14	438.84
40	2.76	299.70	90	6.21	440.70
41	2.83	303.42	91	6.28	442.52
42	2.90	307.07	92	6.35	444.32
43	2.97	310.66	93	6.41	446.09
44	3.03	314.17	94	6.48	447.83
45	3.10	317.62	95	6.55	449.54
46	3.17	321.00	96	6.62	451.23
47	3.24	324.32	97	6.69	452.88
48	3.31	328.13	98	6.76	454.51
49	3.38	331.87	99	6.83	456.12
50	3.45	335.54	100	6.90	457.70

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	21.70	51	3.51	423.16
2	0.14	42.23	52	3.57	427.72
3	0.21	61.68	53	3.64	432.19
4	0.27	80.14	54	3.71	436.59
5	0.34	97.67	55	3.78	440.91
6	0.41	114.34	56	3.85	445.15
7	0.48	129.23	57	3.92	449.31
8	0.55	140.76	58	3.99	453.41
9	0.62	151.81	59	4.06	457.43
10	0.69	162.44	60	4.12	461.38
11	0.76	172.67	61	4.19	465.26
12	0.82	182.54	62	4.26	469.07
13	0.89	192.09	63	4.33	472.81
14	0.96	201.33	64	4.40	476.50
15	1.03	210.28	65	4.47	480.11
16	1.10	218.96	66	4.54	483.67
17	1.17	227.40	67	4.60	487.16
18	1.24	235.59	68	4.67	490.59
19	1.31	243.57	69	4.74	493.96
20	1.37	251.32	70	4.81	497.28
21	1.44	258.88	71	4.88	500.54
22	1.51	266.24	72	4.95	503.74
23	1.58	273.42	73	5.02	506.89
24	1.65	280.42	74	5.09	509.98
25	1.72	287.25	75	5.15	513.02
26	1.79	293.92	76	5.22	516.01
27	1.86	300.43	77	5.29	518.95
28	1.92	306.79	78	5.36	521.84
29	1.99	313.01	79	5.43	524.68
30	2.06	319.08	80	5.50	527.47
31	2.13	325.03	81	5.57	530.22
32	2.20	330.84	82	5.64	532.92
33	2.27	336.52	83	5.70	535.58
34	2.34	342.08	84	5.77	538.19
35	2.41	347.53	85	5.84	540.76
36	2.47	352.85	86	5.91	543.29
37	2.54	358.07	87	5.98	545.77
38	2.61	363.18	88	6.05	548.21
39	2.68	368.19	89	6.12	550.62
40	2.75	373.09	90	6.19	552.98
41	2.82	377.89	91	6.25	555.31
42	2.89	382.60	92	6.32	557.60
43	2.96	387.22	93	6.39	559.85
44	3.02	391.74	94	6.46	562.07
45	3.09	396.18	95	6.53	564.25
46	3.16	400.53	96	6.60	566.39
47	3.23	404.80	97	6.67	568.51
48	3.30	408.98	98	6.74	570.58
49	3.37	413.79	99	6.80	572.63
50	3.44	418.52	100	6.87	574.64

CUARTA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	15.43	51	3.50	294.97
2	0.14	29.96	52	3.57	297.81
3	0.21	43.67	53	3.64	300.60
4	0.27	56.63	54	3.71	303.34
5	0.34	68.89	55	3.78	306.03
6	0.41	80.51	56	3.85	308.68
7	0.48	91.54	57	3.91	311.28
8	0.55	102.03	58	3.98	313.83
9	0.62	112.00	59	4.05	316.34
10	0.69	121.51	60	4.12	318.80
11	0.76	130.57	61	4.19	321.22
12	0.82	139.23	62	4.26	323.59
13	0.89	147.51	63	4.33	325.93
14	0.96	155.42	64	4.40	328.22
15	1.03	162.40	65	4.46	330.48
16	1.10	167.48	66	4.53	332.69
17	1.17	172.44	67	4.60	334.86
18	1.24	177.28	68	4.67	337.00
19	1.30	182.02	69	4.74	339.10
20	1.37	186.64	70	4.81	341.16
21	1.44	191.16	71	4.88	343.19
22	1.51	195.58	72	4.95	345.18
23	1.58	199.91	73	5.01	347.14
24	1.65	204.14	74	5.08	349.06
25	1.72	208.28	75	5.15	350.95
26	1.79	212.33	76	5.22	352.80
27	1.85	216.29	77	5.29	354.63
28	1.92	220.17	78	5.36	356.42
29	1.99	223.97	79	5.43	358.18
30	2.06	227.70	80	5.49	359.91
31	2.13	231.34	81	5.56	361.62
32	2.20	234.91	82	5.63	363.29
33	2.27	238.41	83	5.70	364.93
34	2.34	241.84	84	5.77	366.55
35	2.40	245.21	85	5.84	368.14
36	2.47	248.50	86	5.91	369.70
37	2.54	251.73	87	5.98	371.24
38	2.61	254.90	88	6.04	372.75
39	2.68	258.00	89	6.11	374.23
40	2.75	261.05	90	6.18	375.69
41	2.82	264.03	91	6.25	377.13
42	2.88	266.96	92	6.32	378.54
43	2.95	270.30	93	6.39	379.93
44	3.02	273.58	94	6.46	381.30
45	3.09	276.80	95	6.52	382.64
46	3.16	279.97	96	6.59	383.96
47	3.23	283.08	97	6.66	385.26
48	3.30	286.13	98	6.73	386.54
49	3.37	289.13	99	6.80	387.80
50	3.43	292.07	100	6.87	389.04

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	17.66	51	3.52	344.04
2	0.14	34.34	52	3.59	347.58
3	0.21	50.12	53	3.66	351.05
4	0.28	65.06	54	3.72	354.46
5	0.34	79.25	55	3.79	357.81
6	0.41	92.72	56	3.86	361.09
7	0.48	105.54	57	3.93	364.32
8	0.55	117.74	58	4.00	367.49
9	0.62	129.38	59	4.07	370.61
10	0.69	140.49	60	4.14	373.67
11	0.76	149.65	61	4.21	376.67
12	0.83	157.09	62	4.28	379.62
13	0.90	164.30	63	4.35	382.52
14	0.97	171.30	64	4.41	385.37
15	1.03	178.10	65	4.48	388.17
16	1.10	184.71	66	4.55	390.92
17	1.17	191.14	67	4.62	393.62
18	1.24	197.40	68	4.69	396.27
19	1.31	203.50	69	4.76	398.87
20	1.38	209.45	70	4.83	401.43
21	1.45	215.24	71	4.90	403.95
22	1.52	220.90	72	4.97	406.42
23	1.59	226.42	73	5.03	408.85
24	1.66	231.81	74	5.10	411.24
25	1.72	237.07	75	5.17	413.58
26	1.79	242.21	76	5.24	415.89
27	1.86	247.24	77	5.31	418.15
28	1.93	252.15	78	5.38	420.38
29	2.00	256.95	79	5.45	422.57
30	2.07	261.65	80	5.52	424.72
31	2.14	266.25	81	5.59	426.83
32	2.21	270.74	82	5.66	428.91
33	2.28	275.15	83	5.72	430.96
34	2.34	279.45	84	5.79	432.97
35	2.41	283.67	85	5.86	434.94
36	2.48	287.80	86	5.93	436.88
37	2.55	291.85	87	6.00	438.79
38	2.62	295.81	88	6.07	440.67
39	2.69	299.69	89	6.14	442.52
40	2.76	303.49	90	6.21	444.33
41	2.83	307.22	91	6.28	446.12
42	2.90	310.87	92	6.35	447.87
43	2.97	314.46	93	6.41	449.60
44	3.03	317.97	94	6.48	451.30
45	3.10	321.41	95	6.55	452.98
46	3.17	325.36	96	6.62	454.62
47	3.24	329.23	97	6.69	456.24
48	3.31	333.04	98	6.76	457.83
49	3.38	336.77	99	6.83	459.40
50	3.45	340.44	100	6.90	460.94

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	20.77	51	3.51	416.89
2	0.14	40.47	52	3.57	421.47
3	0.21	59.17	53	3.64	425.96
4	0.27	76.95	54	3.71	430.37
5	0.34	93.87	55	3.78	434.71
6	0.41	110.01	56	3.85	438.97
7	0.48	122.25	57	3.92	443.15
8	0.55	133.89	58	3.99	447.26
9	0.62	145.05	59	4.06	451.29
10	0.69	155.77	60	4.12	455.26
11	0.76	166.09	61	4.19	459.16
12	0.82	176.05	62	4.26	462.99
13	0.89	185.67	63	4.33	466.75
14	0.96	194.97	64	4.40	470.45
15	1.03	203.98	65	4.47	474.08
16	1.10	212.72	66	4.54	477.65
17	1.17	221.20	67	4.60	481.16
18	1.24	229.45	68	4.67	484.61
19	1.31	237.46	69	4.74	488.00
20	1.37	245.26	70	4.81	491.33
21	1.44	252.85	71	4.88	494.60
22	1.51	260.25	72	4.95	497.82
23	1.58	267.45	73	5.02	500.99
24	1.65	274.48	74	5.09	504.10
25	1.72	281.34	75	5.15	507.16
26	1.79	288.03	76	5.22	510.16
27	1.86	294.57	77	5.29	513.12
28	1.92	300.95	78	5.36	516.03
29	1.99	307.19	79	5.43	518.89
30	2.06	313.28	80	5.50	521.70
31	2.13	319.24	81	5.57	524.46
32	2.20	325.07	82	5.64	527.18
33	2.27	330.77	83	5.70	529.86
34	2.34	336.34	84	5.77	532.49
35	2.41	341.80	85	5.84	535.07
36	2.47	347.14	86	5.91	537.62
37	2.54	352.37	87	5.98	540.12
38	2.61	357.49	88	6.05	542.58
39	2.68	362.51	89	6.12	545.01
40	2.75	367.42	90	6.19	547.39
41	2.82	372.23	91	6.25	549.74
42	2.89	376.95	92	6.32	552.04
43	2.96	381.58	93	6.39	554.32
44	3.02	386.11	94	6.46	556.55
45	3.09	390.55	95	6.53	558.75
46	3.16	394.91	96	6.60	560.91
47	3.23	399.19	97	6.67	563.05
48	3.30	403.38	98	6.74	565.14
49	3.37	407.49	99	6.80	567.21
50	3.44	412.24	100	6.87	569.24

QUINTA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	13.08	51	3.50	272.56
2	0.14	25.51	52	3.57	275.18
3	0.21	37.34	53	3.64	277.77
4	0.27	48.61	54	3.71	280.32
5	0.34	59.37	55	3.78	282.83
6	0.41	69.63	56	3.85	285.30
7	0.48	79.44	57	3.91	287.73
8	0.55	88.83	58	3.98	290.12
9	0.62	97.83	59	4.05	292.48
10	0.69	106.45	60	4.12	294.81
11	0.76	114.72	61	4.19	297.10
12	0.82	122.66	62	4.26	299.35
13	0.89	130.29	63	4.33	301.58
14	0.96	137.63	64	4.40	303.76
15	1.03	144.70	65	4.46	305.92
16	1.10	151.50	66	4.53	308.04
17	1.17	158.06	67	4.60	310.14
18	1.24	164.39	68	4.67	312.20
19	1.30	169.00	69	4.74	314.23
20	1.37	173.25	70	4.81	316.23
21	1.44	177.42	71	4.88	318.20
22	1.51	181.50	72	4.95	320.14
23	1.58	185.50	73	5.01	322.05
24	1.65	189.42	74	5.08	323.94
25	1.72	193.27	75	5.15	325.80
26	1.79	197.04	76	5.22	327.63
27	1.85	200.73	77	5.29	329.43
28	1.92	204.36	78	5.36	331.21
29	1.99	207.92	79	5.43	332.96
30	2.06	211.42	80	5.49	334.68
31	2.13	214.85	81	5.56	336.38
32	2.20	218.22	82	5.63	338.06
33	2.27	221.52	83	5.70	339.71
34	2.34	224.77	84	5.77	341.34
35	2.40	227.96	85	5.84	342.95
36	2.47	231.09	86	5.91	344.53
37	2.54	234.16	87	5.98	346.09
38	2.61	237.19	88	6.04	347.62
39	2.68	240.16	89	6.11	349.14
40	2.75	243.07	90	6.18	350.63
41	2.82	245.94	91	6.25	352.10
42	2.88	248.76	92	6.32	353.55
43	2.95	251.53	93	6.39	354.98
44	3.02	254.25	94	6.46	356.39
45	3.09	256.92	95	6.52	357.79
46	3.16	259.55	96	6.59	359.16
47	3.23	262.14	97	6.66	360.51
48	3.30	264.68	98	6.73	361.84
49	3.37	267.18	99	6.80	363.16
50	3.43	269.89	100	6.87	364.45

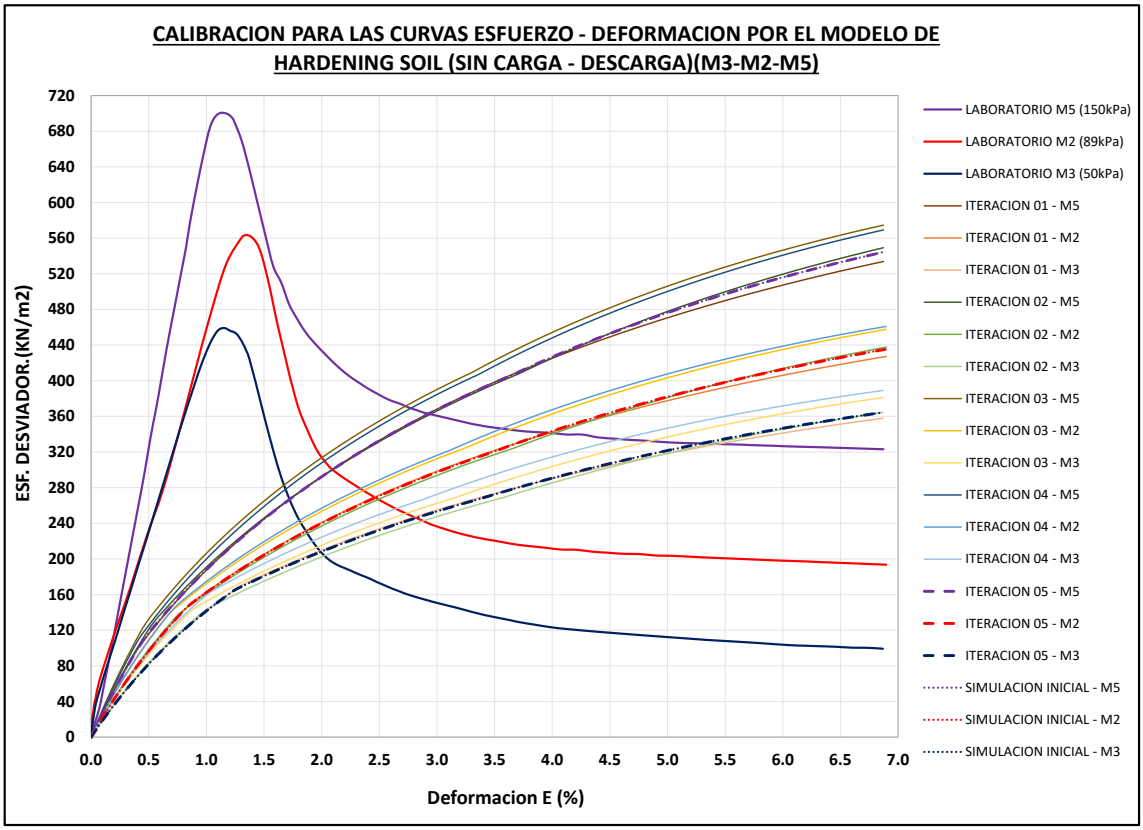
CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	15.44	51	3.52	321.55
2	0.14	30.13	52	3.59	324.84
3	0.21	44.11	53	3.66	328.08
4	0.28	57.45	54	3.72	331.27
5	0.34	70.19	55	3.79	334.41
6	0.41	82.36	56	3.86	337.49
7	0.48	94.00	57	3.93	340.53
8	0.55	105.14	58	4.00	343.52
9	0.62	115.82	59	4.07	346.46
10	0.69	126.07	60	4.14	349.36
11	0.76	135.91	61	4.21	352.21
12	0.83	145.36	62	4.28	355.02
13	0.90	152.68	63	4.35	357.78
14	0.97	159.21	64	4.41	360.50
15	1.03	165.56	65	4.48	363.18
16	1.10	171.75	66	4.55	365.82
17	1.17	177.78	67	4.62	368.41
18	1.24	183.66	68	4.69	370.97
19	1.31	189.40	69	4.76	373.49
20	1.38	195.00	70	4.83	375.97
21	1.45	200.48	71	4.90	378.41
22	1.52	205.82	72	4.97	380.81
23	1.59	211.05	73	5.03	383.18
24	1.66	216.16	74	5.10	385.51
25	1.72	221.16	75	5.17	387.81
26	1.79	226.06	76	5.24	390.07
27	1.86	230.85	77	5.31	392.30
28	1.93	235.54	78	5.38	394.49
29	2.00	240.13	79	5.45	396.65
30	2.07	244.63	80	5.52	398.79
31	2.14	249.04	81	5.59	400.88
32	2.21	253.36	82	5.66	402.95
33	2.28	257.59	83	5.72	404.99
34	2.34	261.74	84	5.79	406.99
35	2.41	265.81	85	5.86	408.97
36	2.48	269.80	86	5.93	410.92
37	2.55	273.72	87	6.00	412.84
38	2.62	277.56	88	6.07	414.73
39	2.69	281.33	89	6.14	416.59
40	2.76	285.03	90	6.21	418.43
41	2.83	288.66	91	6.28	420.24
42	2.90	292.22	92	6.35	422.02
43	2.97	295.72	93	6.41	423.78
44	3.03	299.16	94	6.48	425.52
45	3.10	302.53	95	6.55	427.22
46	3.17	305.84	96	6.62	428.91
47	3.24	309.10	97	6.69	430.57
48	3.31	312.29	98	6.76	432.21
49	3.38	315.43	99	6.83	433.82
50	3.45	318.52	100	6.90	435.41

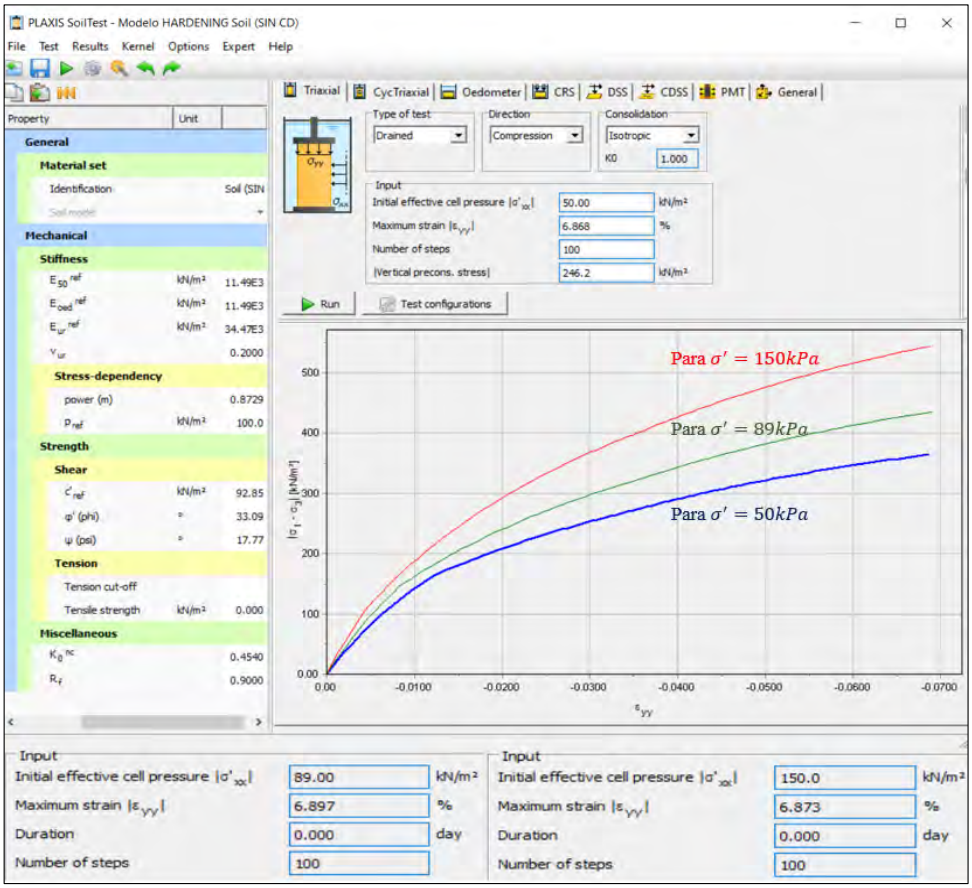
CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

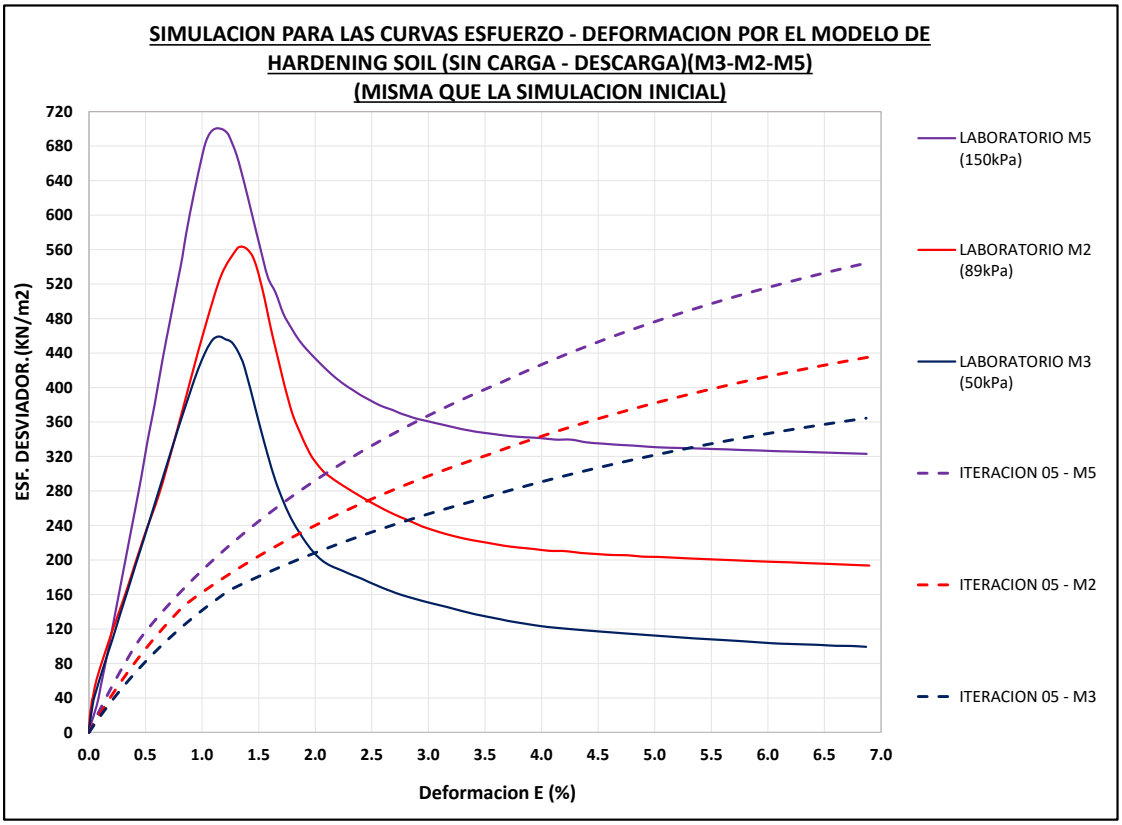
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	18.88	51	3.51	398.22
2	0.14	36.88	52	3.57	402.09
3	0.21	54.04	53	3.64	405.89
4	0.27	70.44	54	3.71	410.02
5	0.34	86.10	55	3.78	414.08
6	0.41	101.10	56	3.85	418.08
7	0.48	113.69	57	3.92	422.01
8	0.55	124.76	58	3.99	425.88
9	0.62	135.39	59	4.06	429.69
10	0.69	145.62	60	4.12	433.44
11	0.76	155.48	61	4.19	437.12
12	0.82	165.01	62	4.26	440.75
13	0.89	174.22	63	4.33	444.32
14	0.96	183.15	64	4.40	447.84
15	1.03	191.81	65	4.47	451.30
16	1.10	200.21	66	4.54	454.70
17	1.17	208.38	67	4.60	458.06
18	1.24	216.32	68	4.67	461.36
19	1.31	224.05	69	4.74	464.61
20	1.37	231.58	70	4.81	467.81
21	1.44	238.91	71	4.88	470.96
22	1.51	246.07	72	4.95	474.06
23	1.58	253.05	73	5.02	477.11
24	1.65	259.87	74	5.09	480.12
25	1.72	266.52	75	5.15	483.08
26	1.79	273.02	76	5.22	485.99
27	1.86	279.37	77	5.29	488.87
28	1.92	285.59	78	5.36	491.69
29	1.99	291.66	79	5.43	494.48
30	2.06	297.60	80	5.50	497.22
31	2.13	303.42	81	5.57	499.93
32	2.20	309.11	82	5.64	502.59
33	2.27	314.68	83	5.70	505.21
34	2.34	320.14	84	5.77	507.80
35	2.41	325.49	85	5.84	510.34
36	2.47	330.73	86	5.91	512.85
37	2.54	335.86	87	5.98	515.32
38	2.61	340.89	88	6.05	517.76
39	2.68	345.82	89	6.12	520.16
40	2.75	350.66	90	6.19	522.53
41	2.82	355.40	91	6.25	524.86
42	2.89	360.05	92	6.32	527.15
43	2.96	364.62	93	6.39	529.42
44	3.02	369.10	94	6.46	531.65
45	3.09	373.49	95	6.53	533.85
46	3.16	377.80	96	6.60	536.02
47	3.23	382.04	97	6.67	538.15
48	3.30	386.19	98	6.74	540.26
49	3.37	390.28	99	6.80	542.34
50	3.44	394.28	100	6.87	544.39

SE VUELVE A USAR LOS DATOS INICIALES COMO LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE HARDENING SOIL (SIN CARGA - DESCARGA)



CURVAS DE LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE HARDENING SOIL EN LA HERRAMIENTA SOIL TEST (SIN CARGA - DESCARGA)




SIMULACION PARA LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE HARDENING SOIL (SIN CARGA - DESCARGA)(M3-M2-M5)
(MISMA QUE LA SIMULACION INICIAL)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion E (%)
LABORATORIO M5 (150kPa)
LABORATORIO M2 (89kPa)
LABORATORIO M3 (50kPa)
ITERACION 05 - M5
ITERACION 05 - M2
ITERACION 05 - M3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6
(MODELO DE HARDENING SOIL)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test) **Nro de pasos de Calculo:** 100

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	6.877
0.138	13.572
0.208	20.094
0.277	26.447
0.346	32.640
0.415	38.678
0.484	44.566
0.554	50.310
0.623	55.916
0.692	61.388
0.761	66.732
0.830	71.950
0.900	77.049
0.969	82.031
1.038	86.902
1.107	91.663
1.176	96.321
1.246	100.876
1.315	105.334
1.384	109.697
1.453	113.967
1.522	118.149
1.592	122.244
1.661	126.256
1.730	130.186
1.799	134.038
1.868	137.813
1.938	141.514
2.007	145.143
2.076	148.703
2.145	152.194
2.214	155.619
2.284	158.981
2.353	162.280
2.422	165.518
2.491	168.322
2.560	170.080
2.630	171.825
2.699	173.558
2.768	175.276
2.837	176.983
2.906	178.676
2.976	180.357
3.045	182.025
3.114	183.682
3.183	185.326
3.252	186.958
3.322	188.578
3.391	190.186
3.460	191.784
3.529	193.369
3.598	194.944
3.668	196.507
3.737	198.059
3.806	199.601
3.875	201.131
3.944	202.651
4.014	204.161
4.083	205.660
4.152	207.149
4.221	208.627
4.290	210.096
4.360	211.554
4.429	213.002
4.498	214.441
4.567	215.870
4.636	217.289

SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	8.231
0.138	16.245
0.207	24.053
0.275	31.660
0.344	39.076
0.413	46.306
0.482	53.359
0.551	60.240
0.620	66.956
0.689	73.512
0.758	79.914
0.826	86.168
0.895	92.278
0.964	98.250
1.033	104.088
1.102	109.797
1.171	115.380
1.240	120.842
1.309	126.187
1.377	131.419
1.446	136.541
1.515	141.556
1.584	146.468
1.653	150.238
1.722	153.058
1.791	155.844
1.859	158.601
1.928	161.325
1.997	164.019
2.066	166.683
2.135	169.319
2.204	171.926
2.273	174.506
2.342	177.058
2.410	179.586
2.479	182.087
2.548	184.564
2.617	187.015
2.686	189.444
2.755	191.848
2.824	194.231
2.893	196.589
2.961	198.927
3.030	201.242
3.099	203.538
3.168	205.811
3.237	208.065
3.306	210.297
3.375	212.511
3.444	214.705
3.512	216.880
3.581	219.037
3.650	221.173
3.719	223.293
3.788	225.395
3.857	227.478
3.926	229.545
3.994	231.594
4.063	233.627
4.132	235.643
4.201	237.642
4.270	239.625
4.339	241.592
4.408	243.543
4.477	245.479
4.545	247.399
4.614	249.304

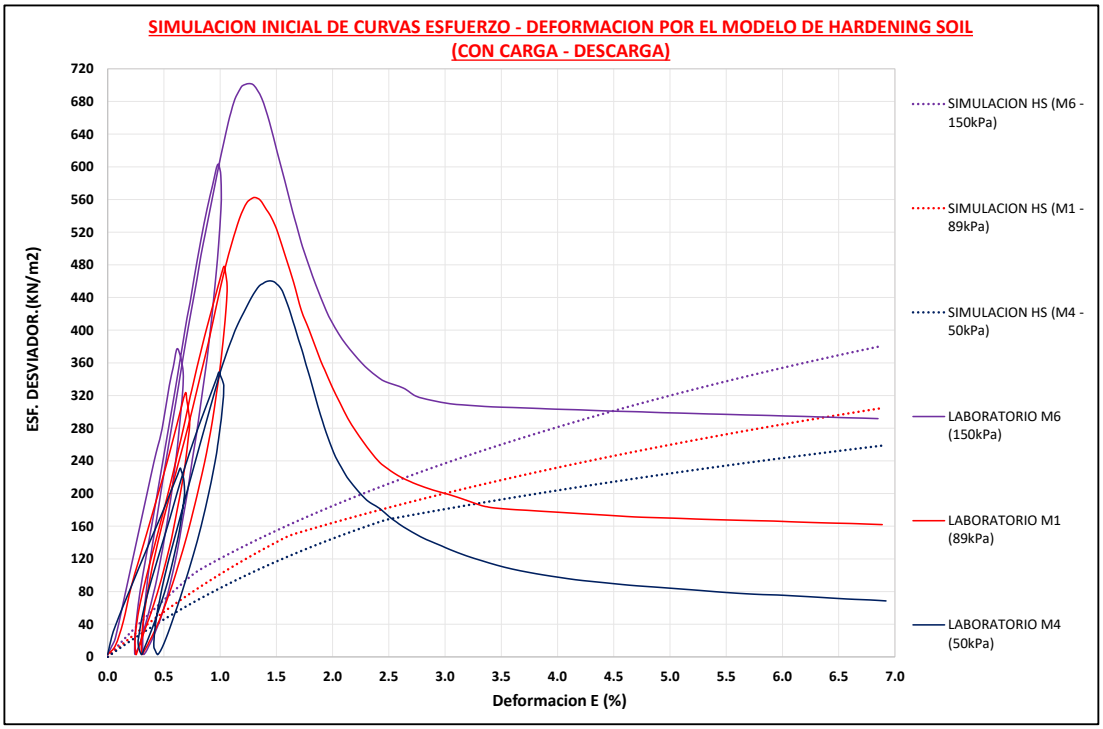
SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.068	10.341
0.137	20.415
0.205	30.228
0.274	39.791
0.342	49.115
0.411	58.206
0.479	67.076
0.548	75.730
0.616	84.178
0.685	92.426
0.753	100.481
0.822	106.972
0.890	112.252
0.959	117.406
1.027	122.450
1.096	127.387
1.164	132.224
1.233	136.966
1.301	141.618
1.370	146.186
1.438	150.673
1.507	155.082
1.575	159.419
1.644	163.685
1.712	167.884
1.781	172.019
1.849	176.092
1.918	180.105
1.986	184.062
2.055	187.963
2.123	191.811
2.192	195.607
2.260	199.353
2.329	203.051
2.397	206.703
2.466	210.309
2.534	213.871
2.603	217.390
2.671	220.867
2.740	224.304
2.808	227.702
2.877	231.060
2.945	234.383
3.014	237.666
3.082	240.916
3.151	244.129
3.219	247.310
3.288	250.455
3.356	253.570
3.425	256.650
3.493	259.701
3.561	262.719
3.630	265.709
3.698	268.668
3.767	271.599
3.835	274.500
3.904	277.375
3.972	280.221
4.041	283.040
4.109	285.834
4.178	288.600
4.246	291.341
4.315	294.058
4.383	296.748
4.452	299.414
4.520	302.058
4.589	304.675

4.706	218.699
4.775	220.099
4.844	221.490
4.913	222.872
4.982	224.244
5.052	225.607
5.121	226.961
5.190	228.306
5.259	229.643
5.328	230.970
5.398	232.289
5.467	233.599
5.536	234.900
5.605	236.193
5.674	237.478
5.744	238.754
5.813	240.021
5.882	241.281
5.951	242.532
6.020	243.775
6.090	245.010
6.159	246.237
6.228	247.456
6.297	248.667
6.366	249.871
6.436	251.066
6.505	252.254
6.574	253.434
6.643	254.607
6.712	255.772
6.782	256.930
6.851	258.080
6.920	259.223

4.683	251.194
4.752	253.069
4.821	254.930
4.890	256.776
4.959	258.607
5.028	260.425
5.096	262.229
5.165	264.018
5.234	265.795
5.303	267.557
5.372	269.306
5.441	271.043
5.510	272.765
5.578	274.476
5.647	276.173
5.716	277.857
5.785	279.529
5.854	281.189
5.923	282.836
5.992	284.472
6.061	286.095
6.129	287.706
6.198	289.305
6.267	290.893
6.336	292.469
6.405	294.034
6.474	295.588
6.543	297.130
6.612	298.661
6.680	300.181
6.749	301.690
6.818	303.188
6.887	304.676

4.657	307.271
4.726	309.844
4.794	312.394
4.863	314.921
4.931	317.426
5.000	319.910
5.068	322.372
5.137	324.813
5.205	327.233
5.274	329.632
5.342	332.012
5.411	334.371
5.479	336.710
5.548	339.030
5.616	341.331
5.685	343.612
5.753	345.875
5.822	348.119
5.890	350.345
5.959	352.552
6.027	354.742
6.096	356.914
6.164	359.068
6.233	361.205
6.301	363.325
6.370	365.428
6.438	367.515
6.507	369.585
6.575	371.638
6.644	373.675
6.712	375.697
6.781	377.702
6.849	379.692



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION CALIBRADA DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE HARDENING SOIL)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

PRIMERA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	6.87	51	3.53	194.68
2	0.14	13.56	52	3.60	196.25
3	0.21	20.08	53	3.67	197.82
4	0.28	26.43	54	3.74	199.38
5	0.35	32.62	55	3.81	200.92
6	0.42	38.65	56	3.88	202.45
7	0.48	44.54	57	3.94	203.98
8	0.55	50.28	58	4.01	205.49
9	0.62	55.88	59	4.08	206.99
10	0.69	61.35	60	4.15	208.48
11	0.76	66.69	61	4.22	209.96
12	0.83	71.91	62	4.29	211.43
13	0.90	77.00	63	4.36	212.89
14	0.97	81.98	64	4.43	214.34
15	1.04	86.85	65	4.50	215.78
16	1.11	91.61	66	4.57	217.21
17	1.18	96.27	67	4.64	218.63
18	1.25	100.82	68	4.71	220.05
19	1.31	105.27	69	4.77	221.45
20	1.38	109.64	70	4.84	222.84
21	1.45	113.90	71	4.91	224.22
22	1.52	118.08	72	4.98	225.60
23	1.59	122.18	73	5.05	226.96
24	1.66	126.19	74	5.12	228.32
25	1.73	130.12	75	5.19	229.66
26	1.80	133.97	76	5.26	231.00
27	1.87	137.74	77	5.33	232.33
28	1.94	141.44	78	5.40	233.65
29	2.01	145.07	79	5.47	234.96
30	2.08	148.63	80	5.54	236.26
31	2.15	152.12	81	5.61	237.55
32	2.21	155.54	82	5.67	238.84
33	2.28	158.90	83	5.74	240.11
34	2.35	162.20	84	5.81	241.38
35	2.42	165.44	85	5.88	242.64
36	2.49	168.62	86	5.95	243.89
37	2.56	171.33	87	6.02	245.13
38	2.63	173.08	88	6.09	246.37
39	2.70	174.82	89	6.16	247.59
40	2.77	176.54	90	6.23	248.81
41	2.84	178.25	91	6.30	250.02
42	2.91	179.95	92	6.37	251.23
43	2.98	181.64	93	6.44	252.42
44	3.04	183.31	94	6.50	253.61
45	3.11	184.97	95	6.57	254.79
46	3.18	186.62	96	6.64	255.96
47	3.25	188.25	97	6.71	257.12
48	3.32	189.88	98	6.78	258.28
49	3.39	191.49	99	6.85	259.43
50	3.46	193.09	100	6.92	260.57

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	8.22	51	3.51	217.61
2	0.14	16.23	52	3.58	219.78
3	0.21	24.04	53	3.65	221.92
4	0.28	31.64	54	3.72	224.05
5	0.34	39.05	55	3.79	226.16
6	0.41	46.28	56	3.86	228.25
7	0.48	53.32	57	3.93	230.32
8	0.55	60.20	58	3.99	232.38
9	0.62	66.91	59	4.06	234.42
10	0.69	73.47	60	4.13	236.44
11	0.76	79.86	61	4.20	238.45
12	0.83	86.12	62	4.27	240.44
13	0.90	92.22	63	4.34	242.41
14	0.96	98.19	64	4.41	244.37
15	1.03	104.03	65	4.48	246.31
16	1.10	109.73	66	4.55	248.23
17	1.17	115.31	67	4.61	250.14
18	1.24	120.77	68	4.68	252.04
19	1.31	126.12	69	4.75	253.92
20	1.38	131.35	70	4.82	255.78
21	1.45	136.47	71	4.89	257.64
22	1.52	141.48	72	4.96	259.47
23	1.58	146.39	73	5.03	261.30
24	1.65	150.69	74	5.10	263.10
25	1.72	153.52	75	5.17	264.90
26	1.79	156.32	76	5.23	266.68
27	1.86	159.09	77	5.30	268.44
28	1.93	161.83	78	5.37	270.20
29	2.00	164.53	79	5.44	271.94
30	2.07	167.21	80	5.51	273.66
31	2.13	169.86	81	5.58	275.38
32	2.20	172.48	82	5.65	277.08
33	2.27	175.07	83	5.72	278.77
34	2.34	177.63	84	5.79	280.44
35	2.41	180.17	85	5.85	282.11
36	2.48	182.68	86	5.92	283.76
37	2.55	185.17	87	5.99	285.39
38	2.62	187.63	88	6.06	287.02
39	2.69	190.07	89	6.13	288.63
40	2.75	192.48	90	6.20	290.24
41	2.82	194.87	91	6.27	291.83
42	2.89	197.24	92	6.34	293.40
43	2.96	199.59	93	6.40	294.97
44	3.03	201.92	94	6.47	296.53
45	3.10	204.22	95	6.54	298.07
46	3.17	206.50	96	6.61	299.60
47	3.24	208.76	97	6.68	301.13
48	3.31	211.01	98	6.75	302.64
49	3.37	213.23	99	6.82	304.14
50	3.44	215.43	100	6.89	305.63

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	10.33	51	3.49	259.73
2	0.14	20.40	52	3.56	262.76
3	0.21	30.21	53	3.63	265.77
4	0.27	39.76	54	3.70	268.74
5	0.34	49.08	55	3.77	271.69
6	0.41	58.17	56	3.84	274.61
7	0.48	67.03	57	3.90	277.49
8	0.55	75.68	58	3.97	280.36
9	0.62	84.12	59	4.04	283.19
10	0.68	92.37	60	4.11	286.00
11	0.75	100.42	61	4.18	288.77
12	0.82	106.07	62	4.25	291.53
13	0.89	111.38	63	4.31	294.26
14	0.96	116.56	64	4.38	296.96
15	1.03	121.64	65	4.45	299.64
16	1.10	126.61	66	4.52	302.30
17	1.16	131.47	67	4.59	304.93
18	1.23	136.25	68	4.66	307.53
19	1.30	140.93	69	4.73	310.12
20	1.37	145.53	70	4.79	312.68
21	1.44	150.04	71	4.86	315.22
22	1.51	154.48	72	4.93	317.73
23	1.58	158.84	73	5.00	320.23
24	1.64	163.14	74	5.07	322.70
25	1.71	167.36	75	5.14	325.15
26	1.78	171.52	76	5.21	327.58
27	1.85	175.62	77	5.27	329.99
28	1.92	179.66	78	5.34	332.38
29	1.99	183.64	79	5.41	334.75
30	2.05	187.57	80	5.48	337.09
31	2.12	191.44	81	5.55	339.42
32	2.19	195.26	82	5.62	341.73
33	2.26	199.03	83	5.68	344.02
34	2.33	202.75	84	5.75	346.29
35	2.40	206.42	85	5.82	348.55
36	2.47	210.05	86	5.89	350.78
37	2.53	213.64	87	5.96	352.99
38	2.60	217.18	88	6.03	355.19
39	2.67	220.67	89	6.10	357.37
40	2.74	224.13	90	6.16	359.53
41	2.81	227.55	91	6.23	361.68
42	2.88	230.93	92	6.30	363.80
43	2.95	234.27	93	6.37	365.91
44	3.01	237.57	94	6.44	368.00
45	3.08	240.84	95	6.51	370.08
46	3.15	244.07	96	6.58	372.14
47	3.22	247.27	97	6.64	374.18
48	3.29	250.43	98	6.71	376.21
49	3.36	253.56	99	6.78	378.22
50	3.42	256.66	100	6.85	380.22

SEGUNDA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	6.90	51	3.53	190.60
2	0.14	13.62	52	3.60	192.17
3	0.21	20.16	53	3.67	193.73
4	0.28	26.54	54	3.74	195.27
5	0.35	32.75	55	3.81	196.81
6	0.42	38.80	56	3.88	198.33
7	0.48	44.71	57	3.94	199.85
8	0.55	50.47	58	4.01	201.35
9	0.62	56.09	59	4.08	202.85
10	0.69	61.58	60	4.15	204.33
11	0.76	66.94	61	4.22	205.80
12	0.83	72.17	62	4.29	207.27
13	0.90	77.28	63	4.36	208.72
14	0.97	82.27	64	4.43	210.16
15	1.04	87.16	65	4.50	211.60
16	1.11	91.93	66	4.57	213.02
17	1.18	96.60	67	4.64	214.44
18	1.25	101.16	68	4.71	215.85
19	1.31	105.63	69	4.77	217.24
20	1.38	110.00	70	4.84	218.63
21	1.45	114.28	71	4.91	220.01
22	1.52	118.47	72	4.98	221.38
23	1.59	122.57	73	5.05	222.74
24	1.66	126.59	74	5.12	224.09
25	1.73	130.53	75	5.19	225.44
26	1.80	134.39	76	5.26	226.77
27	1.87	138.17	77	5.33	228.10
28	1.94	141.88	78	5.40	229.42
29	2.01	145.51	79	5.47	230.73
30	2.08	149.08	80	5.54	232.03
31	2.15	152.57	81	5.61	233.32
32	2.21	156.00	82	5.67	234.60
33	2.28	159.37	83	5.74	235.88
34	2.35	162.15	84	5.81	237.15
35	2.42	163.92	85	5.88	238.41
36	2.49	165.68	86	5.95	239.66
37	2.56	167.43	87	6.02	240.90
38	2.63	169.17	88	6.09	242.14
39	2.70	170.89	89	6.16	243.36
40	2.77	172.60	90	6.23	244.58
41	2.84	174.30	91	6.30	245.80
42	2.91	175.98	92	6.37	247.00
43	2.98	177.65	93	6.44	248.20
44	3.04	179.31	94	6.50	249.39
45	3.11	180.96	95	6.57	250.57
46	3.18	182.60	96	6.64	251.74
47	3.25	184.22	97	6.71	252.91
48	3.32	185.83	98	6.78	254.07
49	3.39	187.43	99	6.85	255.22
50	3.46	189.02	100	6.92	256.37

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	8.26	51	3.51	215.37
2	0.14	16.30	52	3.58	217.50
3	0.21	24.13	53	3.65	219.63
4	0.28	31.77	54	3.72	221.73
5	0.34	39.20	55	3.79	223.81
6	0.41	46.46	56	3.86	225.88
7	0.48	53.53	57	3.93	227.93
8	0.55	60.43	58	3.99	229.97
9	0.62	67.17	59	4.06	231.99
10	0.69	73.74	60	4.13	233.99
11	0.76	80.16	61	4.20	235.97
12	0.83	86.43	62	4.27	237.94
13	0.90	92.56	63	4.34	239.90
14	0.96	98.54	64	4.41	241.84
15	1.03	104.39	65	4.48	243.76
16	1.10	110.12	66	4.55	245.67
17	1.17	115.71	67	4.61	247.56
18	1.24	121.19	68	4.68	249.44
19	1.31	126.54	69	4.75	251.30
20	1.38	131.78	70	4.82	253.15
21	1.45	136.92	71	4.89	254.99
22	1.52	141.94	72	4.96	256.81
23	1.58	146.50	73	5.03	258.62
24	1.65	149.33	74	5.10	260.41
25	1.72	152.12	75	5.17	262.19
26	1.79	154.88	76	5.23	263.96
27	1.86	157.61	77	5.30	265.71
28	1.93	160.31	78	5.37	267.45
29	2.00	162.98	79	5.44	269.18
30	2.07	165.62	80	5.51	270.90
31	2.13	168.22	81	5.58	272.60
32	2.20	170.81	82	5.65	274.29
33	2.27	173.36	83	5.72	275.97
34	2.34	175.89	84	5.79	277.63
35	2.41	178.39	85	5.85	279.29
36	2.48	180.87	86	5.92	280.93
37	2.55	183.33	87	5.99	282.56
38	2.62	185.76	88	6.06	284.17
39	2.69	188.16	89	6.13	285.78
40	2.75	190.54	90	6.20	287.37
41	2.82	192.91	91	6.27	288.96
42	2.89	195.24	92	6.34	290.53
43	2.96	197.56	93	6.40	292.09
44	3.03	199.86	94	6.47	293.64
45	3.10	202.13	95	6.54	295.18
46	3.17	204.39	96	6.61	296.70
47	3.24	206.62	97	6.68	298.22
48	3.31	208.84	98	6.75	299.73
49	3.37	211.03	99	6.82	301.22
50	3.44	213.21	100	6.89	302.71

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	10.38	51	3.49	259.68
2	0.14	20.48	52	3.56	262.67
3	0.21	30.33	53	3.63	265.62
4	0.27	39.92	54	3.70	268.55
5	0.34	49.28	55	3.77	271.45
6	0.41	58.40	56	3.84	274.32
7	0.48	67.29	57	3.90	277.16
8	0.55	75.97	58	3.97	279.98
9	0.62	84.44	59	4.04	282.77
10	0.68	92.71	60	4.11	285.53
11	0.75	100.79	61	4.18	288.27
12	0.82	108.68	62	4.25	290.98
13	0.89	114.23	63	4.31	293.67
14	0.96	119.31	64	4.38	296.33
15	1.03	124.28	65	4.45	298.97
16	1.10	129.15	66	4.52	301.59
17	1.16	133.91	67	4.59	304.19
18	1.23	138.59	68	4.66	306.76
19	1.30	143.17	69	4.73	309.30
20	1.37	147.67	70	4.79	311.83
21	1.44	152.09	71	4.86	314.34
22	1.51	156.44	72	4.93	316.82
23	1.58	160.71	73	5.00	319.28
24	1.64	164.92	74	5.07	321.72
25	1.71	169.06	75	5.14	324.14
26	1.78	173.13	76	5.21	326.54
27	1.85	177.15	77	5.27	328.92
28	1.92	181.10	78	5.34	331.28
29	1.99	185.01	79	5.41	333.62
30	2.05	188.85	80	5.48	335.94
31	2.12	192.65	81	5.55	338.24
32	2.19	196.39	82	5.62	340.53
33	2.26	200.09	83	5.68	342.79
34	2.33	203.74	84	5.75	345.04
35	2.40	207.34	85	5.82	347.26
36	2.47	210.90	86	5.89	349.47
37	2.53	214.41	87	5.96	351.67
38	2.60	217.89	88	6.03	353.84
39	2.67	221.32	89	6.10	356.00
40	2.74	224.71	90	6.16	358.14
41	2.81	228.07	91	6.23	360.26
42	2.88	231.38	92	6.30	362.37
43	2.95	234.66	93	6.37	364.46
44	3.01	237.91	94	6.44	366.53
45	3.08	241.12	95	6.51	368.59
46	3.15	244.29	96	6.58	370.63
47	3.22	247.43	97	6.64	372.65
48	3.29	250.54	98	6.71	374.66
49	3.36	253.62	99	6.78	376.66
50	3.42	256.67	100	6.85	378.64

TERCERA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	4.64	51	3.53	155.82
2	0.14	9.20	52	3.60	157.31
3	0.21	13.68	53	3.67	158.79
4	0.28	18.09	54	3.74	160.25
5	0.35	22.41	55	3.81	161.71
6	0.42	26.66	56	3.88	163.16
7	0.48	30.84	57	3.94	164.59
8	0.55	34.94	58	4.01	166.02
9	0.62	38.98	59	4.08	167.44
10	0.69	42.95	60	4.15	168.85
11	0.76	46.86	61	4.22	170.24
12	0.83	50.70	62	4.29	171.63
13	0.90	54.47	63	4.36	173.01
14	0.97	58.19	64	4.43	174.39
15	1.04	61.85	65	4.50	175.75
16	1.11	65.45	66	4.57	177.10
17	1.18	68.99	67	4.64	178.45
18	1.25	72.48	68	4.71	179.78
19	1.31	75.91	69	4.77	181.11
20	1.38	79.29	70	4.84	182.43
21	1.45	82.62	71	4.91	183.74
22	1.52	85.89	72	4.98	185.04
23	1.59	89.12	73	5.05	186.33
24	1.66	92.30	74	5.12	187.62
25	1.73	95.44	75	5.19	188.90
26	1.80	98.52	76	5.26	190.17
27	1.87	101.56	77	5.33	191.43
28	1.94	104.56	78	5.40	192.68
29	2.01	107.52	79	5.47	193.93
30	2.08	110.43	80	5.54	195.17
31	2.15	113.30	81	5.61	196.40
32	2.21	116.13	82	5.67	197.62
33	2.28	118.92	83	5.74	198.84
34	2.35	121.67	84	5.81	200.05
35	2.42	124.39	85	5.88	201.25
36	2.49	127.06	86	5.95	202.44
37	2.56	129.71	87	6.02	203.63
38	2.63	132.31	88	6.09	204.81
39	2.70	134.88	89	6.16	205.98
40	2.77	137.41	90	6.23	207.15
41	2.84	139.92	91	6.30	208.31
42	2.91	141.95	92	6.37	209.46
43	2.98	143.53	93	6.44	210.61
44	3.04	145.11	94	6.50	211.75
45	3.11	146.67	95	6.57	212.88
46	3.18	148.23	96	6.64	214.00
47	3.25	149.77	97	6.71	215.12
48	3.32	151.30	98	6.78	216.23
49	3.39	152.82	99	6.85	217.34
50	3.46	154.33	100	6.92	218.44

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	5.56	51	3.51	179.46
2	0.14	11.02	52	3.58	181.43
3	0.21	16.38	53	3.65	183.38
4	0.28	21.65	54	3.72	185.31
5	0.34	26.83	55	3.79	187.23
6	0.41	31.92	56	3.86	189.14
7	0.48	36.92	57	3.93	191.03
8	0.55	41.84	58	3.99	192.91
9	0.62	46.67	59	4.06	194.77
10	0.69	51.43	60	4.13	196.61
11	0.76	56.10	61	4.20	198.45
12	0.83	60.70	62	4.27	200.26
13	0.90	65.23	63	4.34	202.07
14	0.96	69.68	64	4.41	203.86
15	1.03	74.06	65	4.48	205.64
16	1.10	78.38	66	4.55	207.40
17	1.17	82.62	67	4.61	209.15
18	1.24	86.80	68	4.68	210.89
19	1.31	90.91	69	4.75	212.62
20	1.38	94.96	70	4.82	214.33
21	1.45	98.95	71	4.89	216.03
22	1.52	102.88	72	4.96	217.72
23	1.58	106.75	73	5.03	219.40
24	1.65	110.56	74	5.10	221.06
25	1.72	114.32	75	5.17	222.71
26	1.79	118.02	76	5.23	224.35
27	1.86	121.67	77	5.30	225.98
28	1.93	125.26	78	5.37	227.60
29	2.00	128.81	79	5.44	229.21
30	2.07	132.30	80	5.51	230.80
31	2.13	135.74	81	5.58	232.39
32	2.20	138.58	82	5.65	233.96
33	2.27	140.91	83	5.72	235.52
34	2.34	143.23	84	5.79	237.08
35	2.41	145.52	85	5.85	238.62
36	2.48	147.79	86	5.92	240.15
37	2.55	150.04	87	5.99	241.67
38	2.62	152.27	88	6.06	243.18
39	2.69	154.47	89	6.13	244.68
40	2.75	156.66	90	6.20	246.17
41	2.82	158.82	91	6.27	247.65
42	2.89	160.97	92	6.34	249.12
43	2.96	163.10	93	6.40	250.58
44	3.03	165.20	94	6.47	252.03
45	3.10	167.29	95	6.54	253.48
46	3.17	169.36	96	6.61	254.91
47	3.24	171.42	97	6.68	256.33
48	3.31	173.45	98	6.75	257.75
49	3.37	175.47	99	6.82	259.15
50	3.44	177.47	100	6.89	260.55

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	6.98	51	3.49	219.91
2	0.14	13.84	52	3.56	222.57
3	0.21	20.58	53	3.63	225.21
4	0.27	27.21	54	3.70	227.83
5	0.34	33.71	55	3.77	230.43
6	0.41	40.11	56	3.84	233.00
7	0.48	46.40	57	3.90	235.55
8	0.55	52.58	58	3.97	238.08
9	0.62	58.66	59	4.04	240.58
10	0.68	64.64	60	4.11	243.07
11	0.75	70.52	61	4.18	245.53
12	0.82	76.31	62	4.25	247.97
13	0.89	82.00	63	4.31	250.40
14	0.96	87.61	64	4.38	252.80
15	1.03	93.12	65	4.45	255.18
16	1.10	98.54	66	4.52	257.54
17	1.16	103.88	67	4.59	259.88
18	1.23	109.14	68	4.66	262.21
19	1.30	114.32	69	4.73	264.51
20	1.37	119.42	70	4.79	266.80
21	1.44	124.44	71	4.86	269.07
22	1.51	129.17	72	4.93	271.32
23	1.58	132.86	73	5.00	273.56
24	1.64	136.49	74	5.07	275.77
25	1.71	140.07	75	5.14	277.97
26	1.78	143.61	76	5.21	280.15
27	1.85	147.10	77	5.27	282.32
28	1.92	150.54	78	5.34	284.47
29	1.99	153.94	79	5.41	286.60
30	2.05	157.30	80	5.48	288.72
31	2.12	160.62	81	5.55	290.82
32	2.19	163.90	82	5.62	292.90
33	2.26	167.14	83	5.68	294.97
34	2.33	170.34	84	5.75	297.02
35	2.40	173.51	85	5.82	299.06
36	2.47	176.64	86	5.89	301.09
37	2.53	179.74	87	5.96	303.10
38	2.60	182.80	88	6.03	305.09
39	2.67	185.83	89	6.10	307.07
40	2.74	188.83	90	6.16	309.04
41	2.81	191.80	91	6.23	310.99
42	2.88	194.73	92	6.30	312.93
43	2.95	197.64	93	6.37	314.85
44	3.01	200.52	94	6.44	316.76
45	3.08	203.37	95	6.51	318.66
46	3.15	206.19	96	6.58	320.54
47	3.22	208.99	97	6.64	322.41
48	3.29	211.76	98	6.71	324.27
49	3.36	214.50	99	6.78	326.11
50	3.42	217.21	100	6.85	327.95

CUARTA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	4.87	51	3.53	168.67
2	0.14	9.65	52	3.60	170.35
3	0.21	14.34	53	3.67	171.91
4	0.28	18.95	54	3.74	173.45
5	0.35	23.47	55	3.81	174.98
6	0.42	27.91	56	3.88	176.51
7	0.48	32.27	57	3.94	178.02
8	0.55	36.55	58	4.01	179.52
9	0.62	40.76	59	4.08	181.01
10	0.69	44.90	60	4.15	182.48
11	0.76	48.96	61	4.22	183.95
12	0.83	52.95	62	4.29	185.41
13	0.90	56.88	63	4.36	186.85
14	0.97	60.74	64	4.43	188.29
15	1.04	64.53	65	4.50	189.71
16	1.11	68.26	66	4.57	191.12
17	1.18	71.93	67	4.64	192.53
18	1.25	75.54	68	4.71	193.92
19	1.31	79.10	69	4.77	195.31
20	1.38	82.59	70	4.84	196.68
21	1.45	86.03	71	4.91	198.05
22	1.52	89.42	72	4.98	199.40
23	1.59	92.75	73	5.05	200.75
24	1.66	96.03	74	5.12	202.09
25	1.73	99.26	75	5.19	203.41
26	1.80	102.44	76	5.26	204.73
27	1.87	105.57	77	5.33	206.04
28	1.94	108.65	78	5.40	207.34
29	2.01	111.69	79	5.47	208.63
30	2.08	114.69	80	5.54	209.92
31	2.15	117.64	81	5.61	211.19
32	2.21	120.54	82	5.67	212.46
33	2.28	123.41	83	5.74	213.71
34	2.35	126.23	84	5.81	214.96
35	2.42	129.01	85	5.88	216.20
36	2.49	131.75	86	5.95	217.43
37	2.56	134.46	87	6.02	218.66
38	2.63	137.12	88	6.09	219.87
39	2.70	139.75	89	6.16	221.08
40	2.77	142.35	90	6.23	222.28
41	2.84	144.90	91	6.30	223.47
42	2.91	147.43	92	6.37	224.65
43	2.98	149.91	93	6.44	225.83
44	3.04	152.37	94	6.50	226.99
45	3.11	154.79	95	6.57	228.15
46	3.18	157.18	96	6.64	229.31
47	3.25	159.54	97	6.71	230.45
48	3.32	161.86	98	6.78	231.59
49	3.39	164.16	99	6.85	232.72
50	3.46	166.43	100	6.92	233.84

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	5.52	51	3.51	183.66
2	0.14	10.94	52	3.58	185.69
3	0.21	16.27	53	3.65	187.70
4	0.28	21.50	54	3.72	189.70
5	0.34	26.65	55	3.79	191.68
6	0.41	31.71	56	3.86	193.65
7	0.48	36.68	57	3.93	195.60
8	0.55	41.57	58	3.99	197.53
9	0.62	46.37	59	4.06	199.45
10	0.69	51.10	60	4.13	201.35
11	0.76	55.75	61	4.20	203.24
12	0.83	60.32	62	4.27	205.11
13	0.90	64.83	63	4.34	206.96
14	0.96	69.25	64	4.41	208.81
15	1.03	73.61	65	4.48	210.63
16	1.10	77.90	66	4.55	212.45
17	1.17	82.13	67	4.61	214.24
18	1.24	86.28	68	4.68	216.03
19	1.31	90.38	69	4.75	217.80
20	1.38	94.41	70	4.82	219.56
21	1.45	98.38	71	4.89	221.30
22	1.52	102.29	72	4.96	223.03
23	1.58	106.14	73	5.03	224.75
24	1.65	109.94	74	5.10	226.46
25	1.72	113.68	75	5.17	228.15
26	1.79	117.36	76	5.23	229.83
27	1.86	120.99	77	5.30	231.49
28	1.93	124.57	78	5.37	233.15
29	2.00	128.10	79	5.44	234.79
30	2.07	131.58	80	5.51	236.42
31	2.13	135.01	81	5.58	238.04
32	2.20	138.39	82	5.65	239.65
33	2.27	141.73	83	5.72	241.24
34	2.34	145.01	84	5.79	242.83
35	2.41	148.26	85	5.85	244.40
36	2.48	150.86	86	5.92	245.96
37	2.55	153.20	87	5.99	247.51
38	2.62	155.51	88	6.06	249.05
39	2.69	157.79	89	6.13	250.58
40	2.75	160.06	90	6.20	252.10
41	2.82	162.31	91	6.27	253.60
42	2.89	164.53	92	6.34	255.10
43	2.96	166.73	93	6.40	256.59
44	3.03	168.91	94	6.47	258.06
45	3.10	171.08	95	6.54	259.53
46	3.17	173.22	96	6.61	260.98
47	3.24	175.34	97	6.68	262.43
48	3.31	177.45	98	6.75	263.86
49	3.37	179.54	99	6.82	265.29
50	3.44	181.61	100	6.89	266.70

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	6.47	51	3.49	209.39
2	0.14	12.83	52	3.56	212.08
3	0.21	19.09	53	3.63	214.75
4	0.27	25.25	54	3.70	217.39
5	0.34	31.31	55	3.77	220.00
6	0.41	37.28	56	3.84	222.60
7	0.48	43.15	57	3.90	225.17
8	0.55	48.93	58	3.97	227.72
9	0.62	54.62	59	4.04	230.24
10	0.68	60.22	60	4.11	232.75
11	0.75	65.73	61	4.18	235.23
12	0.82	71.17	62	4.25	237.69
13	0.89	76.52	63	4.31	240.13
14	0.96	81.79	64	4.38	242.55
15	1.03	86.98	65	4.45	244.95
16	1.10	92.09	66	4.52	247.33
17	1.16	97.14	67	4.59	249.69
18	1.23	102.10	68	4.66	252.03
19	1.30	106.18	69	4.73	254.35
20	1.37	110.08	70	4.79	256.65
21	1.44	113.91	71	4.86	258.94
22	1.51	117.70	72	4.93	261.20
23	1.58	121.42	73	5.00	263.45
24	1.64	125.10	74	5.07	265.68
25	1.71	128.72	75	5.14	267.89
26	1.78	132.30	76	5.21	270.09
27	1.85	135.83	77	5.27	272.27
28	1.92	139.31	78	5.34	274.43
29	1.99	142.75	79	5.41	276.57
30	2.05	146.15	80	5.48	278.70
31	2.12	149.51	81	5.55	280.82
32	2.19	152.82	82	5.62	282.91
33	2.26	156.10	83	5.68	284.99
34	2.33	159.34	84	5.75	287.06
35	2.40	162.54	85	5.82	289.11
36	2.47	165.70	86	5.89	291.14
37	2.53	168.83	87	5.96	293.16
38	2.60	171.93	88	6.03	295.17
39	2.67	174.99	89	6.10	297.16
40	2.74	178.02	90	6.16	299.14
41	2.81	181.02	91	6.23	301.10
42	2.88	183.98	92	6.30	303.04
43	2.95	186.92	93	6.37	304.98
44	3.01	189.83	94	6.44	306.90
45	3.08	192.70	95	6.51	308.80
46	3.15	195.55	96	6.58	310.70
47	3.22	198.38	97	6.64	312.58
48	3.29	201.17	98	6.71	314.44
49	3.36	203.94	99	6.78	316.29
50	3.42	206.68	100	6.85	318.13

QUINTA ITERACION - HARDENING SOIL

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	6.88	51	3.53	193.37
2	0.14	13.57	52	3.60	194.94
3	0.21	20.09	53	3.67	196.51
4	0.28	26.45	54	3.74	198.06
5	0.35	32.64	55	3.81	199.60
6	0.42	38.68	56	3.88	201.13
7	0.48	44.57	57	3.94	202.65
8	0.55	50.31	58	4.01	204.16
9	0.62	55.92	59	4.08	205.66
10	0.69	61.39	60	4.15	207.15
11	0.76	66.73	61	4.22	208.63
12	0.83	71.95	62	4.29	210.10
13	0.90	77.05	63	4.36	211.55
14	0.97	82.03	64	4.43	213.00
15	1.04	86.90	65	4.50	214.44
16	1.11	91.66	66	4.57	215.87
17	1.18	96.32	67	4.64	217.29
18	1.25	100.88	68	4.71	218.70
19	1.31	105.33	69	4.77	220.10
20	1.38	109.70	70	4.84	221.49
21	1.45	113.97	71	4.91	222.87
22	1.52	118.15	72	4.98	224.24
23	1.59	122.24	73	5.05	225.61
24	1.66	126.26	74	5.12	226.96
25	1.73	130.19	75	5.19	228.31
26	1.80	134.04	76	5.26	229.64
27	1.87	137.81	77	5.33	230.97
28	1.94	141.51	78	5.40	232.29
29	2.01	145.14	79	5.47	233.60
30	2.08	148.70	80	5.54	234.90
31	2.15	152.19	81	5.61	236.19
32	2.21	155.62	82	5.67	237.48
33	2.28	158.98	83	5.74	238.75
34	2.35	162.28	84	5.81	240.02
35	2.42	165.52	85	5.88	241.28
36	2.49	168.32	86	5.95	242.53
37	2.56	170.08	87	6.02	243.78
38	2.63	171.82	88	6.09	245.01
39	2.70	173.56	89	6.16	246.24
40	2.77	175.28	90	6.23	247.46
41	2.84	176.98	91	6.30	248.67
42	2.91	178.68	92	6.37	249.87
43	2.98	180.36	93	6.44	251.07
44	3.04	182.03	94	6.50	252.25
45	3.11	183.68	95	6.57	253.43
46	3.18	185.33	96	6.64	254.61
47	3.25	186.96	97	6.71	255.77
48	3.32	188.58	98	6.78	256.93
49	3.39	190.19	99	6.85	258.08
50	3.46	191.78	100	6.92	259.22

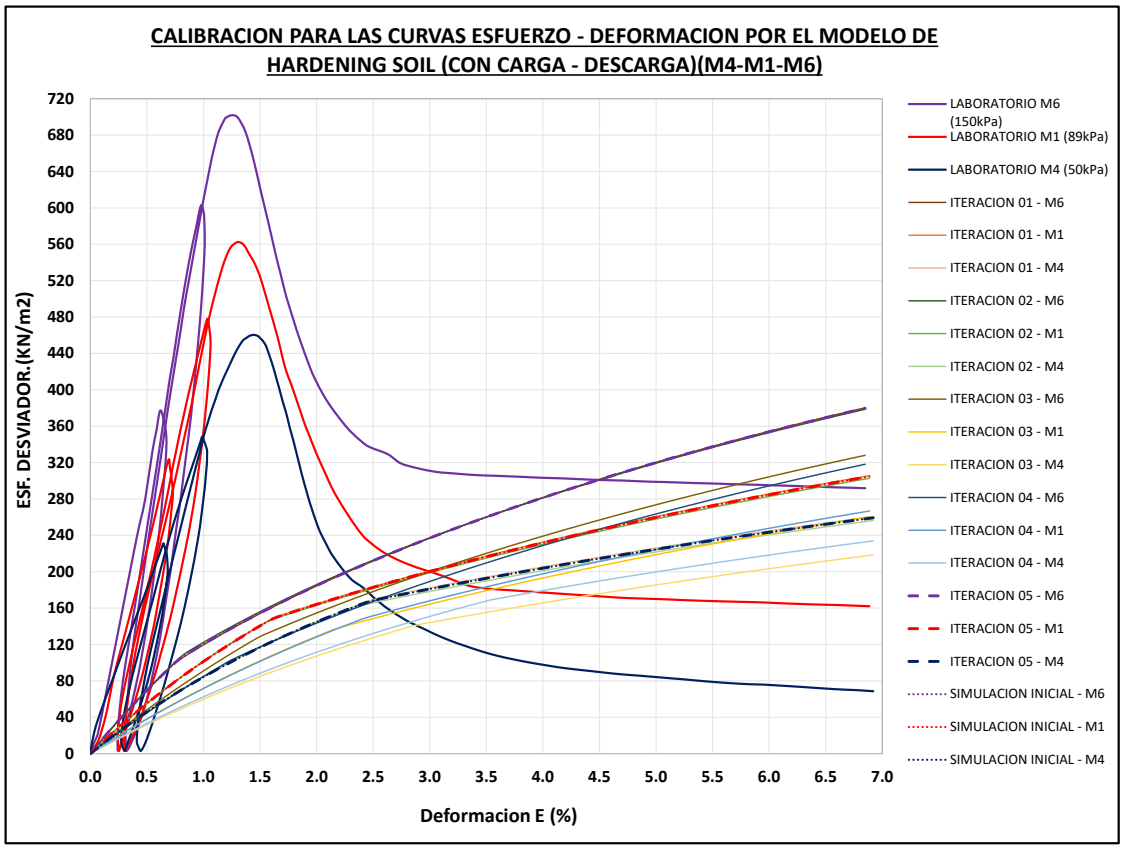
CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	8.23	51	3.51	216.88
2	0.14	16.25	52	3.58	219.04
3	0.21	24.05	53	3.65	221.17
4	0.28	31.66	54	3.72	223.29
5	0.34	39.08	55	3.79	225.40
6	0.41	46.31	56	3.86	227.48
7	0.48	53.36	57	3.93	229.54
8	0.55	60.24	58	3.99	231.59
9	0.62	66.96	59	4.06	233.63
10	0.69	73.51	60	4.13	235.64
11	0.76	79.91	61	4.20	237.64
12	0.83	86.17	62	4.27	239.62
13	0.90	92.28	63	4.34	241.59
14	0.96	98.25	64	4.41	243.54
15	1.03	104.09	65	4.48	245.48
16	1.10	109.80	66	4.55	247.40
17	1.17	115.38	67	4.61	249.30
18	1.24	120.84	68	4.68	251.19
19	1.31	126.19	69	4.75	253.07
20	1.38	131.42	70	4.82	254.93
21	1.45	136.54	71	4.89	256.78
22	1.52	141.56	72	4.96	258.61
23	1.58	146.47	73	5.03	260.43
24	1.65	150.24	74	5.10	262.23
25	1.72	153.06	75	5.17	264.02
26	1.79	155.84	76	5.23	265.79
27	1.86	158.60	77	5.30	267.56
28	1.93	161.33	78	5.37	269.31
29	2.00	164.02	79	5.44	271.04
30	2.07	166.68	80	5.51	272.77
31	2.13	169.32	81	5.58	274.48
32	2.20	171.93	82	5.65	276.17
33	2.27	174.51	83	5.72	277.86
34	2.34	177.06	84	5.79	279.53
35	2.41	179.59	85	5.85	281.19
36	2.48	182.09	86	5.92	282.84
37	2.55	184.56	87	5.99	284.47
38	2.62	187.02	88	6.06	286.09
39	2.69	189.44	89	6.13	287.71
40	2.75	191.85	90	6.20	289.31
41	2.82	194.23	91	6.27	290.89
42	2.89	196.59	92	6.34	292.47
43	2.96	198.93	93	6.40	294.03
44	3.03	201.24	94	6.47	295.59
45	3.10	203.54	95	6.54	297.13
46	3.17	205.81	96	6.61	298.66
47	3.24	208.06	97	6.68	300.18
48	3.31	210.30	98	6.75	301.69
49	3.37	212.51	99	6.82	303.19
50	3.44	214.70	100	6.89	304.68

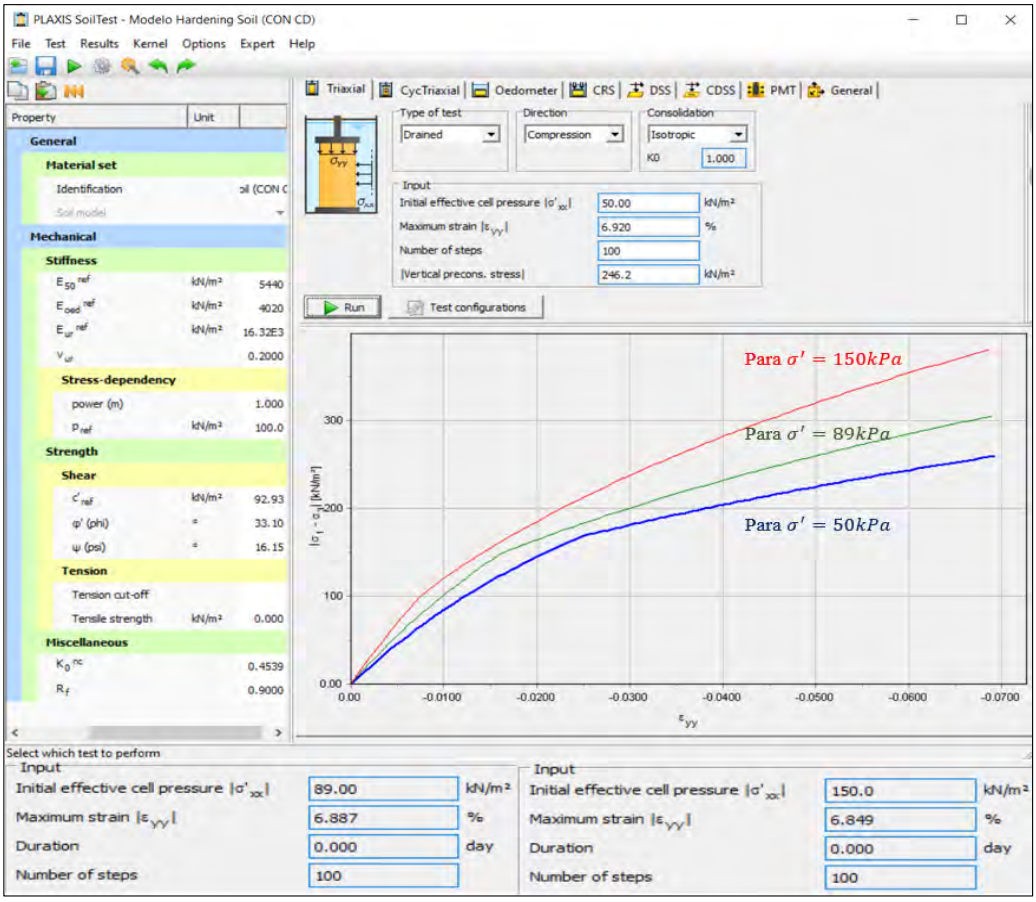
CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

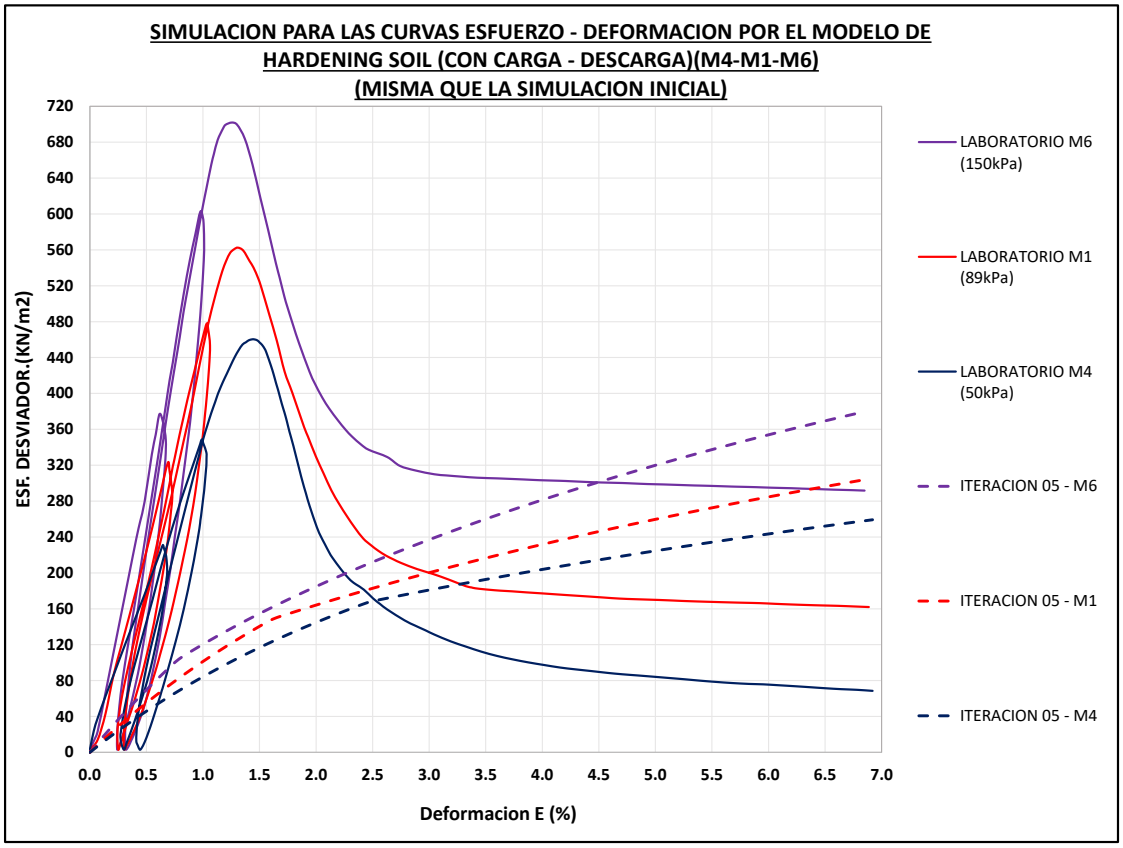
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	10.34	51	3.49	259.70
2	0.14	20.41	52	3.56	262.72
3	0.21	30.23	53	3.63	265.71
4	0.27	39.79	54	3.70	268.67
5	0.34	49.11	55	3.77	271.60
6	0.41	58.21	56	3.84	274.50
7	0.48	67.08	57	3.90	277.38
8	0.55	75.73	58	3.97	280.22
9	0.62	84.18	59	4.04	283.04
10	0.68	92.43	60	4.11	285.83
11	0.75	100.48	61	4.18	288.60
12	0.82	106.97	62	4.25	291.34
13	0.89	112.25	63	4.31	294.06
14	0.96	117.41	64	4.38	296.75
15	1.03	122.45	65	4.45	299.41
16	1.10	127.39	66	4.52	302.06
17	1.16	132.22	67	4.59	304.68
18	1.23	136.97	68	4.66	307.27
19	1.30	141.62	69	4.73	309.84
20	1.37	146.19	70	4.79	312.39
21	1.44	150.67	71	4.86	314.92
22	1.51	155.08	72	4.93	317.43
23	1.58	159.42	73	5.00	319.91
24	1.64	163.69	74	5.07	322.37
25	1.71	167.88	75	5.14	324.81
26	1.78	172.02	76	5.21	327.23
27	1.85	176.09	77	5.27	329.63
28	1.92	180.11	78	5.34	332.01
29	1.99	184.06	79	5.41	334.37
30	2.05	187.96	80	5.48	336.71
31	2.12	191.81	81	5.55	339.03
32	2.19	195.61	82	5.62	341.33
33	2.26	199.35	83	5.68	343.61
34	2.33	203.05	84	5.75	345.87
35	2.40	206.70	85	5.82	348.12
36	2.47	210.31	86	5.89	350.34
37	2.53	213.87	87	5.96	352.55
38	2.60	217.39	88	6.03	354.74
39	2.67	220.87	89	6.10	356.91
40	2.74	224.30	90	6.16	359.07
41	2.81	227.70	91	6.23	361.21
42	2.88	231.06	92	6.30	363.33
43	2.95	234.38	93	6.37	365.43
44	3.01	237.67	94	6.44	367.51
45	3.08	240.92	95	6.51	369.58
46	3.15	244.13	96	6.58	371.64
47	3.22	247.31	97	6.64	373.68
48	3.29	250.45	98	6.71	375.70
49	3.36	253.57	99	6.78	377.70
50	3.42	256.65	100	6.85	379.69

SE VUELVE A USAR LOS DATOS INICIALES COMO LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE HARDENING SOIL (CON CARGA - DESCARGA)



CURVAS DE LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE HARDENING SOIL EN LA HERRAMIENTA SOIL TEST (CON CARGA - DESCARGA)




SIMULACION PARA LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE HARDENING SOIL (CON CARGA - DESCARGA)(M4-M1-M6)
(MISMA QUE LA SIMULACION INICIAL)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion E (%)
LABORATORIO M6 (150kPa)
LABORATORIO M1 (89kPa)
LABORATORIO M4 (50kPa)
ITERACION 05 - M6
ITERACION 05 - M1
ITERACION 05 - M4

ANEXO B3

RESULTADOS DE SIMULACION MEDIANTE EL MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PENDIENTE M PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Formulas a Usar (Criterio de Cambridge): $p' = \frac{(\sigma_1 + 2 * \sigma_3)}{3}$ $q' = \sigma 1 - \sigma 3$ $\sigma 1 = q' + \sigma 3$

$\sigma 3$: Esfuerzo de Confinamiento
$\sigma 1$: Esfuerzo Total
q': Esfuerzo Desviador

MUESTRA M3 (50kPa)

p'	q'
50.975	2.925
61.116	33.348
66.815	50.445
76.618	79.853
85.774	107.323
95.551	136.652
104.998	164.993
114.747	194.241
124.168	222.503
133.890	251.671
143.599	280.798
153.295	309.885
162.977	338.932
172.332	366.995
181.359	394.076
190.059	420.177
197.179	441.536
199.950	449.851
202.093	456.280
202.981	458.942
203.015	459.044
202.964	458.893
202.757	458.271
201.924	455.773
201.569	454.706
200.421	451.262
197.062	441.187
191.352	424.057
174.182	372.546
168.362	355.086
157.265	321.796
147.306	291.919
138.663	265.990
132.219	246.657
127.183	231.550
123.093	219.278
119.313	207.939
116.470	199.409
114.562	193.685
113.276	189.828
112.634	187.902
112.472	187.416
111.992	185.976
110.710	182.130
109.426	178.277
108.151	174.454
106.874	170.623
105.599	166.798
104.480	163.440
103.363	160.088
101.594	154.782
99.984	149.951
98.531	145.594
96.930	140.789
96.192	138.575
95.485	136.456
93.708	131.124
93.066	129.199
92.090	126.271
91.114	123.342
90.447	121.342
89.425	118.275
88.496	115.487
88.048	114.144

MUESTRA M2 (89kPa)

p'	q'
89.974	2.922
94.724	17.173
97.542	25.626
99.156	30.469
100.739	35.217
101.562	37.686
102.637	40.912
104.219	45.658
109.754	62.261
119.322	90.967
128.309	117.926
136.841	143.522
145.613	169.839
164.256	225.768
181.242	276.726
202.486	340.459
225.147	408.440
247.023	474.068
266.082	531.247
276.118	561.355
276.803	563.409
276.425	562.275
275.110	558.331
272.861	551.582
268.740	539.220
263.063	522.189
256.766	503.299
249.539	481.617
242.628	460.884
236.345	442.035
230.066	423.199
223.792	404.376
218.144	387.433
212.811	371.434
208.726	359.178
205.265	348.795
201.807	338.420
198.661	328.983
195.828	320.485
193.680	314.040
190.009	303.026
187.582	295.746
185.499	289.498
183.574	283.723
179.887	272.660
176.518	262.553
173.466	253.398
170.884	245.653
168.634	238.902
168.310	237.929
166.356	232.067
164.713	227.140
163.381	223.144
162.359	220.076
161.175	216.526
160.468	214.404
159.914	212.743
159.205	210.614
159.104	210.311
158.397	208.191
157.994	206.983
157.593	205.778
157.493	205.480
156.942	203.827

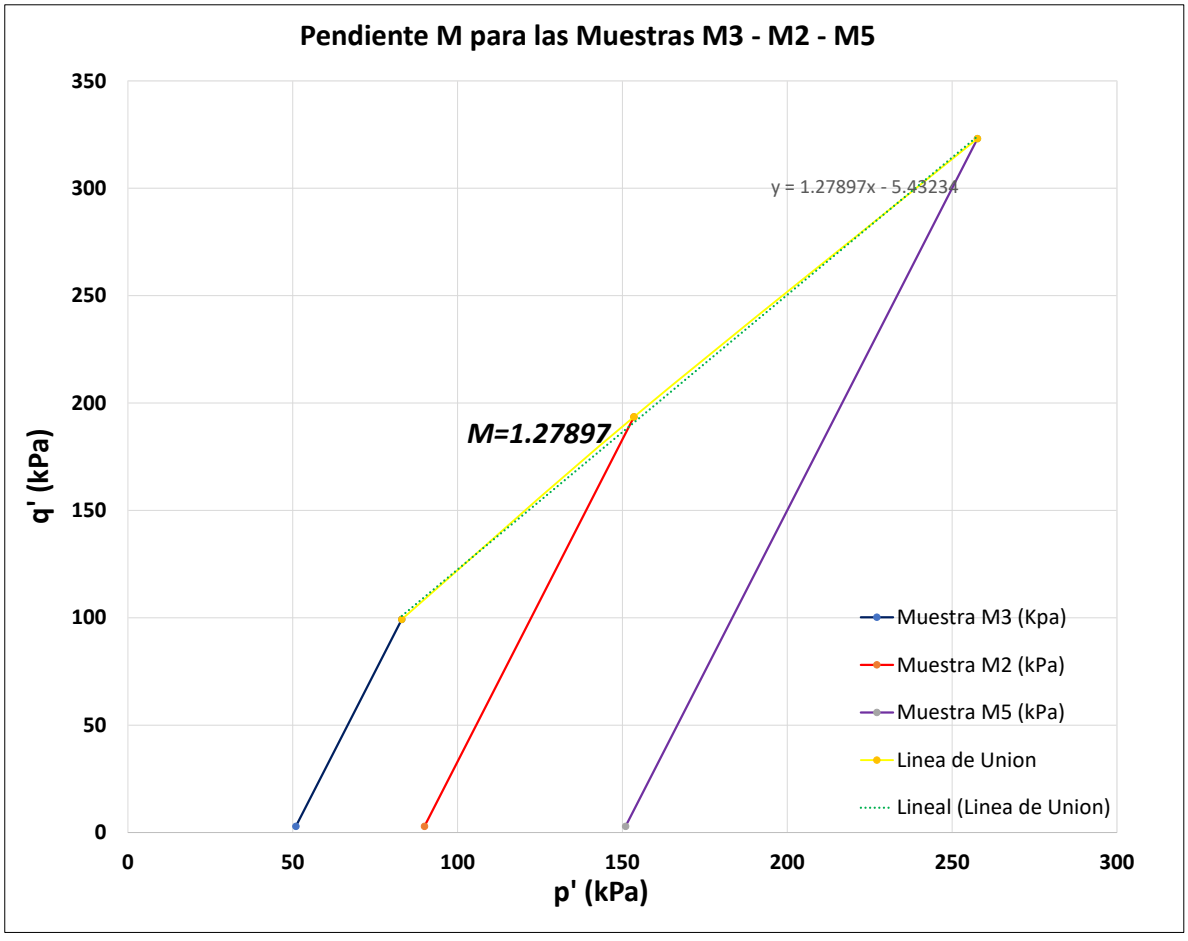
MUESTRA M5 (150kPa)

p'	q'
150.968	2.904
160.405	31.215
167.634	52.903
182.392	97.176
198.072	144.216
213.730	191.190
229.366	238.099
244.981	284.944
253.407	310.221
262.140	336.421
269.928	359.785
277.711	383.132
294.823	434.470
310.349	481.048
325.854	527.561
333.598	550.794
342.897	578.691
358.357	625.072
372.237	666.712
378.080	684.239
381.426	694.279
383.058	699.175
383.574	700.721
383.505	700.515
383.144	699.432
382.006	696.017
380.714	692.141
373.097	669.290
362.075	636.224
349.827	599.481
337.596	562.789
326.002	528.006
319.997	509.990
311.834	485.501
306.465	469.394
301.721	455.162
298.064	444.192
294.875	434.625
291.844	425.533
288.972	416.916
286.412	409.235
284.162	402.486
282.223	396.669
280.287	390.860
278.660	385.980
277.035	381.106
275.719	377.158
274.712	374.135
273.399	370.197
272.394	367.182
271.390	364.171
270.693	362.080
269.997	359.992
269.302	357.906
268.608	355.823
267.914	353.743
267.222	351.665
266.682	350.047
266.143	348.430
265.371	346.112
264.600	343.800
264.134	342.401
263.820	341.459
263.204	339.612

87.186	111.558
86.499	109.498
86.328	108.984
85.973	107.920
85.274	105.821
84.456	103.368
84.227	102.682
84.029	102.086
83.830	101.491
83.482	100.446
83.435	100.306
83.091	99.273

156.844	203.532
156.257	201.771
155.762	200.286
155.515	199.546
155.377	199.131
155.131	198.393
154.915	197.745
154.729	197.187
154.454	196.363
154.240	195.719
153.995	194.986
153.752	194.256
153.509	193.526

263.192	339.577
262.127	336.381
261.665	334.995
261.204	333.613
260.894	332.682
260.435	331.304
260.126	330.377
259.966	329.898
259.807	329.420
259.588	328.763
259.428	328.285
259.180	327.540
259.021	327.062
258.773	326.318
258.613	325.840
258.454	325.363
258.266	324.797
258.077	324.232
257.889	323.667
257.706	323.118
257.701	323.102



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5
(MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test) **Nro de pasos de Calculo:** 100

SIMULACION DE CURVA M3 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	14.958
0.137	31.399
0.206	49.469
0.275	69.330
0.343	91.157
0.412	115.144
0.481	135.906
0.549	134.566
0.618	133.296
0.687	132.103
0.755	130.980
0.824	129.922
0.893	128.926
0.962	127.987
1.030	127.102
1.099	126.267
1.168	125.479
1.236	124.735
1.305	124.032
1.374	123.369
1.442	122.742
1.511	122.149
1.580	121.589
1.648	121.059
1.717	120.558
1.786	120.085
1.854	119.636
1.923	119.212
1.992	118.811
2.060	118.431
2.129	118.071
2.198	117.730
2.266	117.408
2.335	117.102
2.404	116.813
2.473	116.538
2.541	116.278
2.610	116.032
2.679	115.799
2.747	115.577
2.816	115.367
2.885	115.168
2.953	114.980
3.022	114.801
3.091	114.632
3.159	114.471
3.228	114.319
3.297	114.174
3.365	114.037
3.434	113.907
3.503	113.784
3.571	113.667
3.640	113.556
3.709	113.451
3.777	113.351
3.846	113.256
3.915	113.166
3.983	113.081
4.052	113.000
4.121	112.923
4.190	112.850
4.258	112.781
4.327	112.716
4.396	112.653
4.464	112.594
4.533	112.538
4.602	112.485

SIMULACION DE CURVA M2 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	26.737
0.138	56.136
0.207	88.462
0.276	124.003
0.345	135.180
0.414	138.061
0.483	140.806
0.552	143.436
0.621	145.955
0.690	148.369
0.759	150.679
0.828	152.892
0.897	155.009
0.966	157.034
1.035	158.973
1.104	160.826
1.172	162.599
1.241	164.293
1.310	165.911
1.379	167.458
1.448	168.935
1.517	170.345
1.586	171.692
1.655	172.977
1.724	174.203
1.793	175.373
1.862	176.489
1.931	177.553
2.000	178.568
2.069	179.535
2.138	180.457
2.207	181.336
2.276	182.173
2.345	182.970
2.414	183.730
2.483	184.453
2.552	185.142
2.621	185.798
2.690	186.422
2.759	187.016
2.828	187.581
2.897	188.120
2.966	188.632
3.035	189.119
3.104	189.583
3.173	190.024
3.242	190.443
3.311	190.843
3.380	191.222
3.449	191.583
3.517	191.926
3.586	192.252
3.655	192.563
3.724	192.857
3.793	193.138
3.862	193.404
3.931	193.657
4.000	193.898
4.069	194.127
4.138	194.344
4.207	194.550
4.276	194.747
4.345	194.933
4.414	195.110
4.483	195.278
4.552	195.439
4.621	195.591

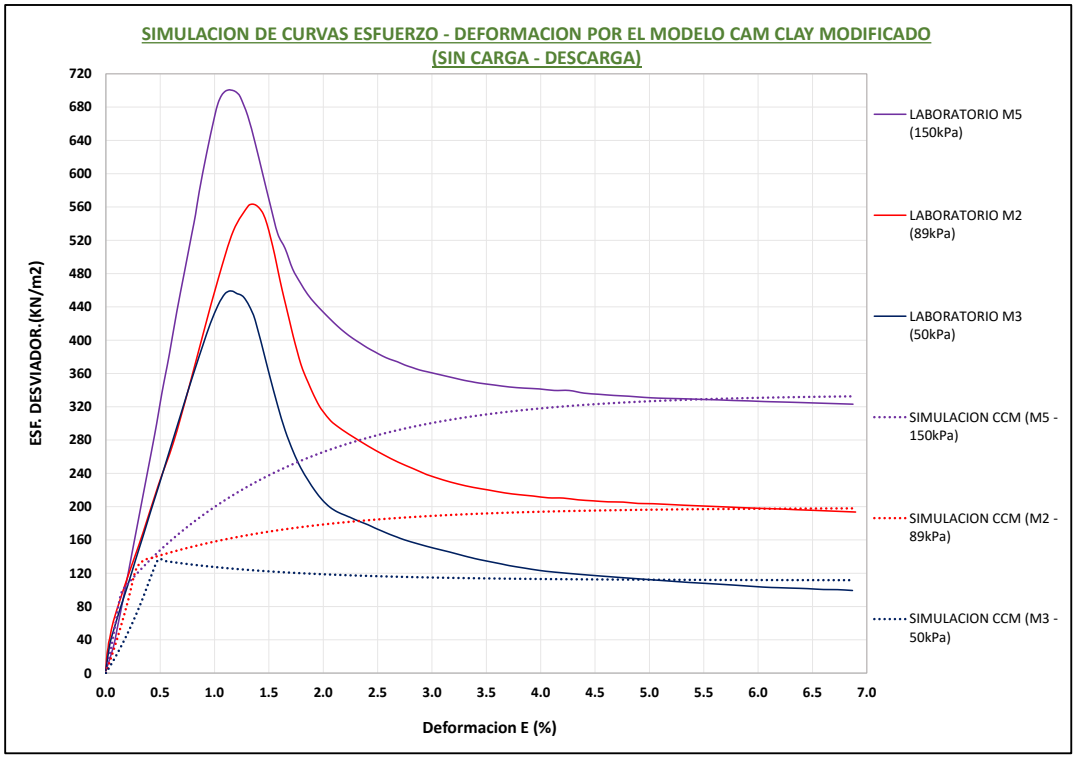
SIMULACION DE CURVA M5 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	44.905
0.137	94.267
0.206	107.727
0.275	117.976
0.344	127.629
0.412	136.767
0.481	145.447
0.550	153.714
0.619	161.603
0.687	169.141
0.756	176.354
0.825	183.261
0.893	189.878
0.962	196.222
1.031	202.304
1.100	208.138
1.168	213.733
1.237	219.099
1.306	224.246
1.375	229.182
1.443	233.915
1.512	238.453
1.581	242.802
1.650	246.970
1.718	250.964
1.787	254.789
1.856	258.451
1.924	261.960
1.993	265.316
2.062	268.528
2.131	271.601
2.199	274.540
2.268	277.351
2.337	280.037
2.406	282.604
2.474	285.057
2.543	287.400
2.612	289.637
2.680	291.774
2.749	293.813
2.818	295.759
2.887	297.616
2.955	299.388
3.024	301.078
3.093	302.689
3.162	304.226
3.230	305.691
3.299	307.087
3.368	308.417
3.437	309.685
3.505	310.893
3.574	312.043
3.643	313.139
3.711	314.183
3.780	315.177
3.849	316.123
3.918	317.024
3.986	317.882
4.055	318.698
4.124	319.475
4.193	320.215
4.261	320.919
4.330	321.589
4.399	322.226
4.467	322.832
4.536	323.409
4.605	323.957

4.670	112.434
4.739	112.386
4.808	112.341
4.876	112.298
4.945	112.257
5.014	112.218
5.082	112.181
5.151	112.146
5.220	112.113
5.288	112.081
5.357	112.051
5.426	112.023
5.494	111.996
5.563	111.970
5.632	111.946
5.701	111.923
5.769	111.901
5.838	111.881
5.907	111.861
5.975	111.842
6.044	111.824
6.113	111.808
6.181	111.792
6.250	111.777
6.319	111.762
6.387	111.749
6.456	111.736
6.525	111.723
6.593	111.712
6.662	111.701
6.731	111.690
6.799	111.680
6.868	111.671

4.690	195.735
4.759	195.872
4.828	196.003
4.897	196.127
4.966	196.244
5.035	196.356
5.104	196.463
5.173	196.564
5.242	196.660
5.311	196.751
5.380	196.837
5.449	196.919
5.518	196.997
5.587	197.071
5.656	197.142
5.725	197.208
5.793	197.272
5.862	197.332
5.931	197.389
6.000	197.443
6.069	197.495
6.138	197.544
6.207	197.590
6.276	197.634
6.345	197.676
6.414	197.716
6.483	197.753
6.552	197.789
6.621	197.823
6.690	197.855
6.759	197.886
6.828	197.915
6.897	197.943

4.674	324.479
4.742	324.975
4.811	325.446
4.880	325.895
4.949	326.321
5.017	326.727
5.086	327.112
5.155	327.479
5.223	327.827
5.292	328.158
5.361	328.473
5.430	328.772
5.498	329.057
5.567	329.328
5.636	329.585
5.705	329.830
5.773	330.062
5.842	330.283
5.911	330.492
5.980	330.692
6.048	330.882
6.117	331.062
6.186	331.234
6.254	331.397
6.323	331.551
6.392	331.698
6.461	331.838
6.529	331.970
6.598	332.096
6.667	332.216
6.736	332.330
6.804	332.438
6.873	332.540



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION CALIBRADA DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

PRIMERA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	16.24	51	3.50	113.76
2	0.14	34.24	52	3.57	113.64
3	0.21	54.16	53	3.64	113.53
4	0.27	76.24	54	3.71	113.43
5	0.34	100.68	55	3.78	113.33
6	0.41	127.75	56	3.85	113.24
7	0.48	135.27	57	3.91	113.15
8	0.55	133.98	58	3.98	113.07
9	0.62	132.75	59	4.05	112.99
10	0.69	131.60	60	4.12	112.91
11	0.76	130.51	61	4.19	112.84
12	0.82	129.48	62	4.26	112.77
13	0.89	128.52	63	4.33	112.71
14	0.96	127.60	64	4.40	112.65
15	1.03	126.74	65	4.46	112.59
16	1.10	125.93	66	4.53	112.54
17	1.17	125.16	67	4.60	112.48
18	1.24	124.44	68	4.67	112.43
19	1.30	123.76	69	4.74	112.39
20	1.37	123.11	70	4.81	112.34
21	1.44	122.50	71	4.88	112.30
22	1.51	121.92	72	4.95	112.26
23	1.58	121.38	73	5.01	112.22
24	1.65	120.86	74	5.08	112.19
25	1.72	120.37	75	5.15	112.15
26	1.79	119.91	76	5.22	112.12
27	1.85	119.47	77	5.29	112.09
28	1.92	119.06	78	5.36	112.06
29	1.99	118.67	79	5.43	112.03
30	2.06	118.30	80	5.49	112.00
31	2.13	117.95	81	5.56	111.98
32	2.20	117.61	82	5.63	111.96
33	2.27	117.30	83	5.70	111.93
34	2.34	117.00	84	5.77	111.91
35	2.40	116.72	85	5.84	111.89
36	2.47	116.45	86	5.91	111.87
37	2.54	116.19	87	5.98	111.85
38	2.61	115.95	88	6.04	111.84
39	2.68	115.73	89	6.11	111.82
40	2.75	115.51	90	6.18	111.80
41	2.82	115.30	91	6.25	111.79
42	2.88	115.11	92	6.32	111.78
43	2.95	114.93	93	6.39	111.76
44	3.02	114.75	94	6.46	111.75
45	3.09	114.58	95	6.52	111.74
46	3.16	114.43	96	6.59	111.73
47	3.23	114.28	97	6.66	111.72
48	3.30	114.14	98	6.73	111.71
49	3.37	114.00	99	6.80	111.70
50	3.43	113.88	100	6.87	111.69

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	29.03	51	3.52	192.10
2	0.14	61.21	52	3.59	192.42
3	0.21	96.86	53	3.66	192.73
4	0.28	133.36	54	3.72	193.02
5	0.34	136.22	55	3.79	193.29
6	0.41	139.05	56	3.86	193.55
7	0.48	141.77	57	3.93	193.80
8	0.55	144.37	58	4.00	194.03
9	0.62	146.87	59	4.07	194.26
10	0.69	149.25	60	4.14	194.47
11	0.76	151.54	61	4.21	194.67
12	0.83	153.72	62	4.28	194.86
13	0.90	155.81	63	4.35	195.05
14	0.97	157.81	64	4.41	195.22
15	1.03	159.72	65	4.48	195.38
16	1.10	161.55	66	4.55	195.54
17	1.17	163.30	67	4.62	195.69
18	1.24	164.97	68	4.69	195.83
19	1.31	166.56	69	4.76	195.96
20	1.38	168.08	70	4.83	196.09
21	1.45	169.54	71	4.90	196.21
22	1.52	170.93	72	4.97	196.33
23	1.59	172.25	73	5.03	196.44
24	1.66	173.51	74	5.10	196.54
25	1.72	174.72	75	5.17	196.64
26	1.79	175.87	76	5.24	196.73
27	1.86	176.97	77	5.31	196.82
28	1.93	178.01	78	5.38	196.91
29	2.00	179.01	79	5.45	196.99
30	2.07	179.96	80	5.52	197.06
31	2.14	180.86	81	5.59	197.14
32	2.21	181.72	82	5.66	197.21
33	2.28	182.55	83	5.72	197.27
34	2.34	183.33	84	5.79	197.33
35	2.41	184.07	85	5.86	197.39
36	2.48	184.78	86	5.93	197.45
37	2.55	185.46	87	6.00	197.50
38	2.62	186.10	88	6.07	197.55
39	2.69	186.71	89	6.14	197.60
40	2.76	187.30	90	6.21	197.64
41	2.83	187.85	91	6.28	197.69
42	2.90	188.38	92	6.35	197.73
43	2.97	188.88	93	6.41	197.77
44	3.03	189.36	94	6.48	197.80
45	3.10	189.81	95	6.55	197.84
46	3.17	190.24	96	6.62	197.87
47	3.24	190.65	97	6.69	197.90
48	3.31	191.04	98	6.76	197.93
49	3.38	191.41	99	6.83	197.96
50	3.45	191.77	100	6.90	197.99

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	48.76	51	3.51	311.43
2	0.14	98.66	52	3.57	312.56
3	0.21	109.68	53	3.64	313.64
4	0.27	119.95	54	3.71	314.66
5	0.34	129.62	55	3.78	315.63
6	0.41	138.76	56	3.85	316.56
7	0.48	147.44	57	3.92	317.45
8	0.55	155.70	58	3.99	318.29
9	0.62	163.58	59	4.06	319.09
10	0.69	171.10	60	4.12	319.85
11	0.76	178.30	61	4.19	320.57
12	0.82	185.18	62	4.26	321.26
13	0.89	191.77	63	4.33	321.92
14	0.96	198.08	64	4.40	322.54
15	1.03	204.13	65	4.47	323.14
16	1.10	209.93	66	4.54	323.70
17	1.17	215.49	67	4.60	324.24
18	1.24	220.82	68	4.67	324.75
19	1.31	225.93	69	4.74	325.23
20	1.37	230.82	70	4.81	325.70
21	1.44	235.52	71	4.88	326.14
22	1.51	240.01	72	4.95	326.55
23	1.58	244.32	73	5.02	326.95
24	1.65	248.44	74	5.09	327.33
25	1.72	252.39	75	5.15	327.69
26	1.79	256.18	76	5.22	328.03
27	1.86	259.80	77	5.29	328.35
28	1.92	263.26	78	5.36	328.66
29	1.99	266.57	79	5.43	328.95
30	2.06	269.74	80	5.50	329.23
31	2.13	272.78	81	5.57	329.50
32	2.20	275.67	82	5.64	329.75
33	2.27	278.44	83	5.70	329.99
34	2.34	281.09	84	5.77	330.21
35	2.41	283.62	85	5.84	330.43
36	2.47	286.04	86	5.91	330.64
37	2.54	288.34	87	5.98	330.83
38	2.61	290.54	88	6.05	331.02
39	2.68	292.65	89	6.12	331.19
40	2.75	294.65	90	6.19	331.36
41	2.82	296.57	91	6.25	331.52
42	2.89	298.39	92	6.32	331.67
43	2.96	300.13	93	6.39	331.81
44	3.02	301.79	94	6.46	331.95
45	3.09	303.38	95	6.53	332.08
46	3.16	304.89	96	6.60	332.20
47	3.23	306.33	97	6.67	332.32
48	3.30	307.70	98	6.74	332.43
49	3.37	309.00	99	6.80	332.54
50	3.44	310.25	100	6.87	332.64

SEGUNDA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	14.21	51	3.50	113.81
2	0.14	29.77	52	3.57	113.69
3	0.21	46.78	53	3.64	113.58
4	0.27	65.40	54	3.71	113.47
5	0.34	85.77	55	3.78	113.37
6	0.41	108.06	56	3.85	113.27
7	0.48	132.44	57	3.91	113.18
8	0.55	134.96	58	3.98	113.10
9	0.62	133.67	59	4.05	113.01
10	0.69	132.45	60	4.12	112.94
11	0.76	131.31	61	4.19	112.86
12	0.82	130.23	62	4.26	112.79
13	0.89	129.21	63	4.33	112.73
14	0.96	128.25	64	4.40	112.66
15	1.03	127.35	65	4.46	112.60
16	1.10	126.50	66	4.53	112.55
17	1.17	125.70	67	4.60	112.49
18	1.24	124.94	68	4.67	112.44
19	1.30	124.23	69	4.74	112.39
20	1.37	123.55	70	4.81	112.35
21	1.44	122.91	71	4.88	112.30
22	1.51	122.31	72	4.95	112.26
23	1.58	121.74	73	5.01	112.22
24	1.65	121.20	74	5.08	112.18
25	1.72	120.69	75	5.15	112.15
26	1.79	120.21	76	5.22	112.11
27	1.85	119.75	77	5.29	112.08
28	1.92	119.32	78	5.36	112.05
29	1.99	118.91	79	5.43	112.02
30	2.06	118.53	80	5.49	112.00
31	2.13	118.16	81	5.56	111.97
32	2.20	117.82	82	5.63	111.95
33	2.27	117.49	83	5.70	111.92
34	2.34	117.18	84	5.77	111.90
35	2.40	116.88	85	5.84	111.88
36	2.47	116.61	86	5.91	111.86
37	2.54	116.34	87	5.98	111.84
38	2.61	116.09	88	6.04	111.82
39	2.68	115.85	89	6.11	111.80
40	2.75	115.63	90	6.18	111.79
41	2.82	115.42	91	6.25	111.77
42	2.88	115.21	92	6.32	111.76
43	2.95	115.02	93	6.39	111.75
44	3.02	114.84	94	6.46	111.73
45	3.09	114.67	95	6.52	111.72
46	3.16	114.51	96	6.59	111.71
47	3.23	114.35	97	6.66	111.70
48	3.30	114.21	98	6.73	111.69
49	3.37	114.07	99	6.80	111.68
50	3.43	113.93	100	6.87	111.67

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	25.41	51	3.52	191.82
2	0.14	53.21	52	3.59	192.15
3	0.21	83.65	53	3.66	192.46
4	0.28	116.97	54	3.72	192.76
5	0.34	134.51	55	3.79	193.04
6	0.41	137.41	56	3.86	193.31
7	0.48	140.17	57	3.93	193.57
8	0.55	142.82	58	4.00	193.82
9	0.62	145.35	59	4.07	194.05
10	0.69	147.79	60	4.14	194.27
11	0.76	150.11	61	4.21	194.48
12	0.83	152.34	62	4.28	194.68
13	0.90	154.48	63	4.35	194.87
14	0.97	156.52	64	4.41	195.05
15	1.03	158.48	65	4.48	195.22
16	1.10	160.35	66	4.55	195.38
17	1.17	162.14	67	4.62	195.53
18	1.24	163.85	68	4.69	195.68
19	1.31	165.48	69	4.76	195.82
20	1.38	167.05	70	4.83	195.95
21	1.45	168.54	71	4.90	196.08
22	1.52	169.96	72	4.97	196.20
23	1.59	171.33	73	5.03	196.31
24	1.66	172.62	74	5.10	196.42
25	1.72	173.86	75	5.17	196.52
26	1.79	175.05	76	5.24	196.62
27	1.86	176.18	77	5.31	196.71
28	1.93	177.25	78	5.38	196.80
29	2.00	178.28	79	5.45	196.88
30	2.07	179.26	80	5.52	196.96
31	2.14	180.19	81	5.59	197.04
32	2.21	181.08	82	5.66	197.11
33	2.28	181.93	83	5.72	197.18
34	2.34	182.74	84	5.79	197.24
35	2.41	183.51	85	5.86	197.30
36	2.48	184.24	86	5.93	197.36
37	2.55	184.94	87	6.00	197.41
38	2.62	185.60	88	6.07	197.47
39	2.69	186.23	89	6.14	197.52
40	2.76	186.84	90	6.21	197.56
41	2.83	187.41	91	6.28	197.61
42	2.90	187.96	92	6.35	197.65
43	2.97	188.47	93	6.41	197.69
44	3.03	188.97	94	6.48	197.73
45	3.10	189.44	95	6.55	197.77
46	3.17	189.89	96	6.62	197.80
47	3.24	190.31	97	6.69	197.83
48	3.31	190.72	98	6.76	197.86
49	3.38	191.10	99	6.83	197.89
50	3.45	191.47	100	6.90	197.92

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	42.67	51	3.51	310.55
2	0.14	89.36	52	3.57	311.72
3	0.21	106.52	53	3.64	312.83
4	0.27	116.76	54	3.71	313.88
5	0.34	126.39	55	3.78	314.89
6	0.41	135.52	56	3.85	315.85
7	0.48	144.20	57	3.92	316.76
8	0.55	152.46	58	3.99	317.63
9	0.62	160.36	59	4.06	318.46
10	0.69	167.90	60	4.12	319.25
11	0.76	175.13	61	4.19	320.00
12	0.82	182.05	62	4.26	320.71
13	0.89	188.68	63	4.33	321.39
14	0.96	195.04	64	4.40	322.03
15	1.03	201.14	65	4.47	322.65
16	1.10	207.00	66	4.54	323.23
17	1.17	212.61	67	4.60	323.79
18	1.24	218.00	68	4.67	324.32
19	1.31	223.17	69	4.74	324.82
20	1.37	228.14	70	4.81	325.30
21	1.44	232.89	71	4.88	325.75
22	1.51	237.46	72	4.95	326.18
23	1.58	241.84	73	5.02	326.59
24	1.65	246.03	74	5.09	326.99
25	1.72	250.05	75	5.15	327.36
26	1.79	253.90	76	5.22	327.71
27	1.86	257.59	77	5.29	328.05
28	1.92	261.13	78	5.36	328.37
29	1.99	264.51	79	5.43	328.67
30	2.06	267.75	80	5.50	328.96
31	2.13	270.85	81	5.57	329.23
32	2.20	273.82	82	5.64	329.49
33	2.27	276.65	83	5.70	329.74
34	2.34	279.36	84	5.77	329.98
35	2.41	281.95	85	5.84	330.20
36	2.47	284.43	86	5.91	330.41
37	2.54	286.80	87	5.98	330.62
38	2.61	289.06	88	6.05	330.81
39	2.68	291.22	89	6.12	330.99
40	2.75	293.28	90	6.19	331.17
41	2.82	295.24	91	6.25	331.33
42	2.89	297.12	92	6.32	331.49
43	2.96	298.91	93	6.39	331.64
44	3.02	300.62	94	6.46	331.78
45	3.09	302.25	95	6.53	331.91
46	3.16	303.81	96	6.60	332.04
47	3.23	305.29	97	6.67	332.16
48	3.30	306.70	98	6.74	332.28
49	3.37	308.05	99	6.80	332.39
50	3.44	309.33	100	6.87	332.49

TERCERA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	13.20	51	3.50	113.85
2	0.14	27.55	52	3.57	113.73
3	0.21	43.16	53	3.64	113.62
4	0.27	60.13	54	3.71	113.51
5	0.34	78.59	55	3.78	113.40
6	0.41	98.65	56	3.85	113.31
7	0.48	120.47	57	3.91	113.21
8	0.55	135.61	58	3.98	113.12
9	0.62	134.26	59	4.05	113.04
10	0.69	133.00	60	4.12	112.96
11	0.76	131.82	61	4.19	112.89
12	0.82	130.71	62	4.26	112.81
13	0.89	129.66	63	4.33	112.75
14	0.96	128.67	64	4.40	112.68
15	1.03	127.74	65	4.46	112.62
16	1.10	126.87	66	4.53	112.56
17	1.17	126.04	67	4.60	112.51
18	1.24	125.26	68	4.67	112.45
19	1.30	124.53	69	4.74	112.40
20	1.37	123.83	70	4.81	112.36
21	1.44	123.18	71	4.88	112.31
22	1.51	122.56	72	4.95	112.27
23	1.58	121.97	73	5.01	112.23
24	1.65	121.42	74	5.08	112.19
25	1.72	120.90	75	5.15	112.16
26	1.79	120.40	76	5.22	112.12
27	1.85	119.94	77	5.29	112.09
28	1.92	119.50	78	5.36	112.06
29	1.99	119.08	79	5.43	112.03
30	2.06	118.68	80	5.49	112.00
31	2.13	118.31	81	5.56	111.97
32	2.20	117.95	82	5.63	111.95
33	2.27	117.62	83	5.70	111.92
34	2.34	117.30	84	5.77	111.90
35	2.40	117.00	85	5.84	111.88
36	2.47	116.71	86	5.91	111.86
37	2.54	116.44	87	5.98	111.84
38	2.61	116.19	88	6.04	111.82
39	2.68	115.94	89	6.11	111.81
40	2.75	115.71	90	6.18	111.79
41	2.82	115.50	91	6.25	111.77
42	2.88	115.29	92	6.32	111.76
43	2.95	115.09	93	6.39	111.74
44	3.02	114.91	94	6.46	111.73
45	3.09	114.73	95	6.52	111.72
46	3.16	114.57	96	6.59	111.71
47	3.23	114.41	97	6.66	111.69
48	3.30	114.26	98	6.73	111.68
49	3.37	114.12	99	6.80	111.67
50	3.43	113.98	100	6.87	111.66

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	23.59	51	3.52	191.65
2	0.14	49.25	52	3.59	191.98
3	0.21	77.17	53	3.66	192.31
4	0.28	107.54	54	3.72	192.61
5	0.34	133.46	55	3.79	192.90
6	0.41	136.37	56	3.86	193.18
7	0.48	139.16	57	3.93	193.44
8	0.55	141.83	58	4.00	193.69
9	0.62	144.40	59	4.07	193.93
10	0.69	146.86	60	4.14	194.16
11	0.76	149.22	61	4.21	194.37
12	0.83	151.47	62	4.28	194.57
13	0.90	153.64	63	4.35	194.77
14	0.97	155.71	64	4.41	194.95
15	1.03	157.69	65	4.48	195.13
16	1.10	159.59	66	4.55	195.29
17	1.17	161.41	67	4.62	195.45
18	1.24	163.14	68	4.69	195.60
19	1.31	164.80	69	4.76	195.74
20	1.38	166.39	70	4.83	195.88
21	1.45	167.91	71	4.90	196.01
22	1.52	169.36	72	4.97	196.13
23	1.59	170.74	73	5.03	196.25
24	1.66	172.06	74	5.10	196.36
25	1.72	173.33	75	5.17	196.46
26	1.79	174.53	76	5.24	196.56
27	1.86	175.68	77	5.31	196.66
28	1.93	176.78	78	5.38	196.75
29	2.00	177.82	79	5.45	196.83
30	2.07	178.82	80	5.52	196.91
31	2.14	179.77	81	5.59	196.99
32	2.21	180.68	82	5.66	197.06
33	2.28	181.55	83	5.72	197.13
34	2.34	182.37	84	5.79	197.20
35	2.41	183.16	85	5.86	197.26
36	2.48	183.90	86	5.93	197.32
37	2.55	184.62	87	6.00	197.38
38	2.62	185.29	88	6.07	197.43
39	2.69	185.94	89	6.14	197.48
40	2.76	186.56	90	6.21	197.53
41	2.83	187.14	91	6.28	197.58
42	2.90	187.70	92	6.35	197.62
43	2.97	188.23	93	6.41	197.66
44	3.03	188.73	94	6.48	197.70
45	3.10	189.22	95	6.55	197.74
46	3.17	189.67	96	6.62	197.77
47	3.24	190.11	97	6.69	197.81
48	3.31	190.52	98	6.76	197.84
49	3.38	190.92	99	6.83	197.87
50	3.45	191.29	100	6.90	197.90

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	39.62	51	3.51	310.02
2	0.14	82.71	52	3.57	311.21
3	0.21	104.68	53	3.64	312.34
4	0.27	114.88	54	3.71	313.42
5	0.34	124.49	55	3.78	314.45
6	0.41	133.60	56	3.85	315.43
7	0.48	142.27	57	3.92	316.36
8	0.55	150.54	58	3.99	317.24
9	0.62	158.44	59	4.06	318.09
10	0.69	165.99	60	4.12	318.89
11	0.76	173.23	61	4.19	319.66
12	0.82	180.17	62	4.26	320.39
13	0.89	186.82	63	4.33	321.08
14	0.96	193.21	64	4.40	321.74
15	1.03	199.34	65	4.47	322.36
16	1.10	205.22	66	4.54	322.96
17	1.17	210.87	67	4.60	323.53
18	1.24	216.30	68	4.67	324.07
19	1.31	221.50	69	4.74	324.58
20	1.37	226.50	70	4.81	325.07
21	1.44	231.30	71	4.88	325.54
22	1.51	235.91	72	4.95	325.98
23	1.58	240.32	73	5.02	326.40
24	1.65	244.56	74	5.09	326.80
25	1.72	248.62	75	5.15	327.18
26	1.79	252.52	76	5.22	327.54
27	1.86	256.25	77	5.29	327.88
28	1.92	259.83	78	5.36	328.21
29	1.99	263.25	79	5.43	328.52
30	2.06	266.53	80	5.50	328.81
31	2.13	269.67	81	5.57	329.09
32	2.20	272.68	82	5.64	329.36
33	2.27	275.55	83	5.70	329.61
34	2.34	278.30	84	5.77	329.86
35	2.41	280.93	85	5.84	330.08
36	2.47	283.45	86	5.91	330.30
37	2.54	285.85	87	5.98	330.51
38	2.61	288.15	88	6.05	330.71
39	2.68	290.34	89	6.12	330.89
40	2.75	292.44	90	6.19	331.07
41	2.82	294.44	91	6.25	331.24
42	2.89	296.35	92	6.32	331.40
43	2.96	298.17	93	6.39	331.55
44	3.02	299.91	94	6.46	331.70
45	3.09	301.57	95	6.53	331.84
46	3.16	303.15	96	6.60	331.97
47	3.23	304.66	97	6.67	332.09
48	3.30	306.10	98	6.74	332.21
49	3.37	307.47	99	6.80	332.32
50	3.44	308.78	100	6.87	332.43

CUARTA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	12.18	51	3.50	113.91
2	0.14	25.35	52	3.57	113.79
3	0.21	39.58	53	3.64	113.67
4	0.27	54.96	54	3.71	113.56
5	0.34	71.58	55	3.78	113.45
6	0.41	89.53	56	3.85	113.35
7	0.48	108.94	57	3.91	113.25
8	0.55	129.91	58	3.98	113.16
9	0.62	134.99	59	4.05	113.08
10	0.69	133.69	60	4.12	113.00
11	0.76	132.46	61	4.19	112.92
12	0.82	131.30	62	4.26	112.84
13	0.89	130.22	63	4.33	112.77
14	0.96	129.19	64	4.40	112.71
15	1.03	128.23	65	4.46	112.65
16	1.10	127.33	66	4.53	112.59
17	1.17	126.47	67	4.60	112.53
18	1.24	125.67	68	4.67	112.48
19	1.30	124.90	69	4.74	112.42
20	1.37	124.19	70	4.81	112.38
21	1.44	123.51	71	4.88	112.33
22	1.51	122.87	72	4.95	112.29
23	1.58	122.27	73	5.01	112.25
24	1.65	121.70	74	5.08	112.21
25	1.72	121.16	75	5.15	112.17
26	1.79	120.65	76	5.22	112.13
27	1.85	120.17	77	5.29	112.10
28	1.92	119.71	78	5.36	112.07
29	1.99	119.28	79	5.43	112.04
30	2.06	118.88	80	5.49	112.01
31	2.13	118.49	81	5.56	111.98
32	2.20	118.12	82	5.63	111.96
33	2.27	117.78	83	5.70	111.93
34	2.34	117.45	84	5.77	111.91
35	2.40	117.14	85	5.84	111.89
36	2.47	116.85	86	5.91	111.87
37	2.54	116.57	87	5.98	111.85
38	2.61	116.31	88	6.04	111.83
39	2.68	116.06	89	6.11	111.81
40	2.75	115.82	90	6.18	111.79
41	2.82	115.60	91	6.25	111.78
42	2.88	115.39	92	6.32	111.76
43	2.95	115.19	93	6.39	111.75
44	3.02	114.99	94	6.46	111.73
45	3.09	114.81	95	6.52	111.72
46	3.16	114.64	96	6.59	111.71
47	3.23	114.48	97	6.66	111.70
48	3.30	114.33	98	6.73	111.68
49	3.37	114.18	99	6.80	111.67
50	3.43	114.04	100	6.87	111.66

CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	21.78	51	3.52	191.45
2	0.14	45.32	52	3.59	191.80
3	0.21	70.77	53	3.66	192.13
4	0.28	98.28	54	3.72	192.44
5	0.34	128.03	55	3.79	192.74
6	0.41	135.16	56	3.86	193.02
7	0.48	137.99	57	3.93	193.29
8	0.55	140.69	58	4.00	193.55
9	0.62	143.29	59	4.07	193.80
10	0.69	145.78	60	4.14	194.03
11	0.76	148.17	61	4.21	194.25
12	0.83	150.46	62	4.28	194.46
13	0.90	152.66	63	4.35	194.66
14	0.97	154.76	64	4.41	194.85
15	1.03	156.77	65	4.48	195.03
16	1.10	158.70	66	4.55	195.20
17	1.17	160.55	67	4.62	195.36
18	1.24	162.32	68	4.69	195.51
19	1.31	164.01	69	4.76	195.66
20	1.38	165.62	70	4.83	195.80
21	1.45	167.17	71	4.90	195.93
22	1.52	168.65	72	4.97	196.06
23	1.59	170.06	73	5.03	196.18
24	1.66	171.41	74	5.10	196.29
25	1.72	172.70	75	5.17	196.40
26	1.79	173.93	76	5.24	196.50
27	1.86	175.10	77	5.31	196.60
28	1.93	176.22	78	5.38	196.69
29	2.00	177.29	79	5.45	196.78
30	2.07	178.31	80	5.52	196.86
31	2.14	179.28	81	5.59	196.94
32	2.21	180.21	82	5.66	197.02
33	2.28	181.10	83	5.72	197.09
34	2.34	181.94	84	5.79	197.16
35	2.41	182.74	85	5.86	197.22
36	2.48	183.51	86	5.93	197.28
37	2.55	184.24	87	6.00	197.34
38	2.62	184.94	88	6.07	197.39
39	2.69	185.60	89	6.14	197.45
40	2.76	186.23	90	6.21	197.50
41	2.83	186.83	91	6.28	197.54
42	2.90	187.40	92	6.35	197.59
43	2.97	187.94	93	6.41	197.63
44	3.03	188.46	94	6.48	197.67
45	3.10	188.96	95	6.55	197.71
46	3.17	189.43	96	6.62	197.75
47	3.24	189.87	97	6.69	197.78
48	3.31	190.30	98	6.76	197.81
49	3.38	190.70	99	6.83	197.84
50	3.45	191.08	100	6.90	197.87

CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	36.57	51	3.51	309.40
2	0.14	76.10	52	3.57	310.61
3	0.21	102.62	53	3.64	311.77
4	0.27	112.69	54	3.71	312.88
5	0.34	122.27	55	3.78	313.93
6	0.41	131.37	56	3.85	314.93
7	0.48	140.03	57	3.92	315.88
8	0.55	148.29	58	3.99	316.79
9	0.62	156.19	59	4.06	317.65
10	0.69	163.75	60	4.12	318.48
11	0.76	171.01	61	4.19	319.26
12	0.82	177.96	62	4.26	320.01
13	0.89	184.64	63	4.33	320.72
14	0.96	191.06	64	4.40	321.39
15	1.03	197.22	65	4.47	322.04
16	1.10	203.14	66	4.54	322.65
17	1.17	208.82	67	4.60	323.23
18	1.24	214.29	68	4.67	323.78
19	1.31	219.54	69	4.74	324.31
20	1.37	224.58	70	4.81	324.81
21	1.44	229.42	71	4.88	325.29
22	1.51	234.08	72	4.95	325.74
23	1.58	238.54	73	5.02	326.17
24	1.65	242.83	74	5.09	326.58
25	1.72	246.94	75	5.15	326.97
26	1.79	250.88	76	5.22	327.34
27	1.86	254.66	77	5.29	327.69
28	1.92	258.29	78	5.36	328.03
29	1.99	261.76	79	5.43	328.35
30	2.06	265.09	80	5.50	328.65
31	2.13	268.28	81	5.57	328.94
32	2.20	271.33	82	5.64	329.21
33	2.27	274.25	83	5.70	329.47
34	2.34	277.05	84	5.77	329.72
35	2.41	279.73	85	5.84	329.96
36	2.47	282.29	86	5.91	330.18
37	2.54	284.73	87	5.98	330.39
38	2.61	287.07	88	6.05	330.59
39	2.68	289.31	89	6.12	330.79
40	2.75	291.44	90	6.19	330.97
41	2.82	293.48	91	6.25	331.14
42	2.89	295.43	92	6.32	331.31
43	2.96	297.29	93	6.39	331.46
44	3.02	299.06	94	6.46	331.61
45	3.09	300.76	95	6.53	331.75
46	3.16	302.37	96	6.60	331.89
47	3.23	303.92	97	6.67	332.01
48	3.30	305.39	98	6.74	332.14
49	3.37	306.79	99	6.80	332.25
50	3.44	308.13	100	6.87	332.36

QUINTA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M3 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	14.96	51	3.50	113.78
2	0.14	31.40	52	3.57	113.67
3	0.21	49.47	53	3.64	113.56
4	0.27	69.33	54	3.71	113.45
5	0.34	91.16	55	3.78	113.35
6	0.41	115.14	56	3.85	113.26
7	0.48	135.91	57	3.91	113.17
8	0.55	134.57	58	3.98	113.08
9	0.62	133.30	59	4.05	113.00
10	0.69	132.10	60	4.12	112.92
11	0.76	130.98	61	4.19	112.85
12	0.82	129.92	62	4.26	112.78
13	0.89	128.93	63	4.33	112.72
14	0.96	127.99	64	4.40	112.65
15	1.03	127.10	65	4.46	112.59
16	1.10	126.27	66	4.53	112.54
17	1.17	125.48	67	4.60	112.48
18	1.24	124.73	68	4.67	112.43
19	1.30	124.03	69	4.74	112.39
20	1.37	123.37	70	4.81	112.34
21	1.44	122.74	71	4.88	112.30
22	1.51	122.15	72	4.95	112.26
23	1.58	121.59	73	5.01	112.22
24	1.65	121.06	74	5.08	112.18
25	1.72	120.56	75	5.15	112.15
26	1.79	120.08	76	5.22	112.11
27	1.85	119.64	77	5.29	112.08
28	1.92	119.21	78	5.36	112.05
29	1.99	118.81	79	5.43	112.02
30	2.06	118.43	80	5.49	112.00
31	2.13	118.07	81	5.56	111.97
32	2.20	117.73	82	5.63	111.95
33	2.27	117.41	83	5.70	111.92
34	2.34	117.10	84	5.77	111.90
35	2.40	116.81	85	5.84	111.88
36	2.47	116.54	86	5.91	111.86
37	2.54	116.28	87	5.98	111.84
38	2.61	116.03	88	6.04	111.82
39	2.68	115.80	89	6.11	111.81
40	2.75	115.58	90	6.18	111.79
41	2.82	115.37	91	6.25	111.78
42	2.88	115.17	92	6.32	111.76
43	2.95	114.98	93	6.39	111.75
44	3.02	114.80	94	6.46	111.74
45	3.09	114.63	95	6.52	111.72
46	3.16	114.47	96	6.59	111.71
47	3.23	114.32	97	6.66	111.70
48	3.30	114.17	98	6.73	111.69
49	3.37	114.04	99	6.80	111.68
50	3.43	113.91	100	6.87	111.67

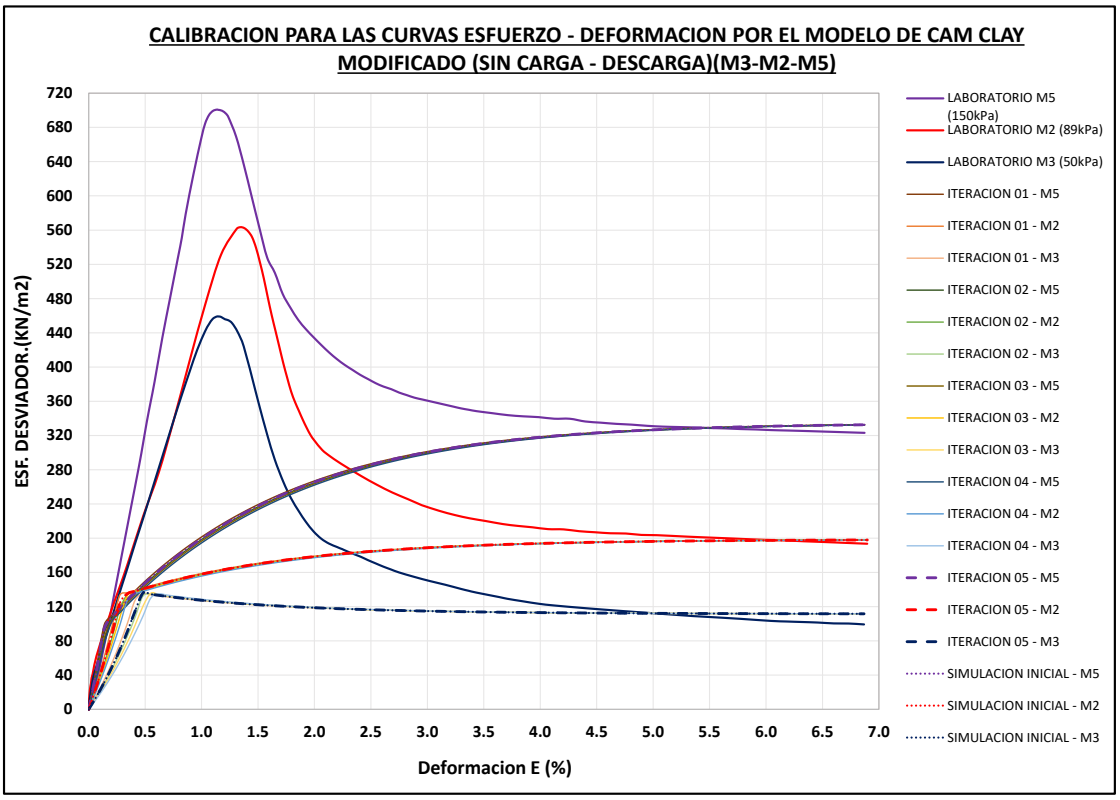
CALIBRACION CURVA M2 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.74	51	3.52	191.93
2	0.14	56.14	52	3.59	192.25
3	0.21	88.46	53	3.66	192.56
4	0.28	124.00	54	3.72	192.86
5	0.34	135.18	55	3.79	193.14
6	0.41	138.06	56	3.86	193.40
7	0.48	140.81	57	3.93	193.66
8	0.55	143.44	58	4.00	193.90
9	0.62	145.96	59	4.07	194.13
10	0.69	148.37	60	4.14	194.34
11	0.76	150.68	61	4.21	194.55
12	0.83	152.89	62	4.28	194.75
13	0.90	155.01	63	4.35	194.93
14	0.97	157.03	64	4.41	195.11
15	1.03	158.97	65	4.48	195.28
16	1.10	160.83	66	4.55	195.44
17	1.17	162.60	67	4.62	195.59
18	1.24	164.29	68	4.69	195.74
19	1.31	165.91	69	4.76	195.87
20	1.38	167.46	70	4.83	196.00
21	1.45	168.93	71	4.90	196.13
22	1.52	170.35	72	4.97	196.24
23	1.59	171.69	73	5.03	196.36
24	1.66	172.98	74	5.10	196.46
25	1.72	174.20	75	5.17	196.56
26	1.79	175.37	76	5.24	196.66
27	1.86	176.49	77	5.31	196.75
28	1.93	177.55	78	5.38	196.84
29	2.00	178.57	79	5.45	196.92
30	2.07	179.54	80	5.52	197.00
31	2.14	180.46	81	5.59	197.07
32	2.21	181.34	82	5.66	197.14
33	2.28	182.17	83	5.72	197.21
34	2.34	182.97	84	5.79	197.27
35	2.41	183.73	85	5.86	197.33
36	2.48	184.45	86	5.93	197.39
37	2.55	185.14	87	6.00	197.44
38	2.62	185.80	88	6.07	197.49
39	2.69	186.42	89	6.14	197.54
40	2.76	187.02	90	6.21	197.59
41	2.83	187.58	91	6.28	197.63
42	2.90	188.12	92	6.35	197.68
43	2.97	188.63	93	6.41	197.72
44	3.03	189.12	94	6.48	197.75
45	3.10	189.58	95	6.55	197.79
46	3.17	190.02	96	6.62	197.82
47	3.24	190.44	97	6.69	197.86
48	3.31	190.84	98	6.76	197.89
49	3.38	191.22	99	6.83	197.92
50	3.45	191.58	100	6.90	197.94

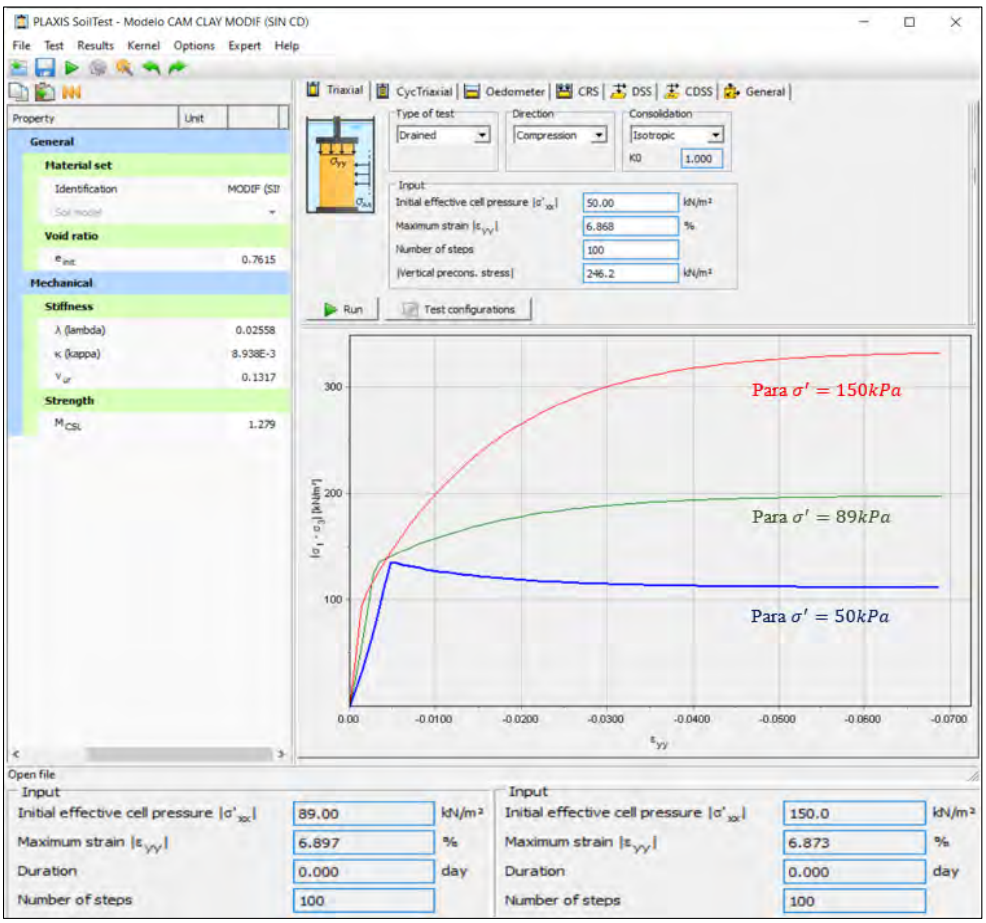
CALIBRACION CURVA M5 (150kPa)

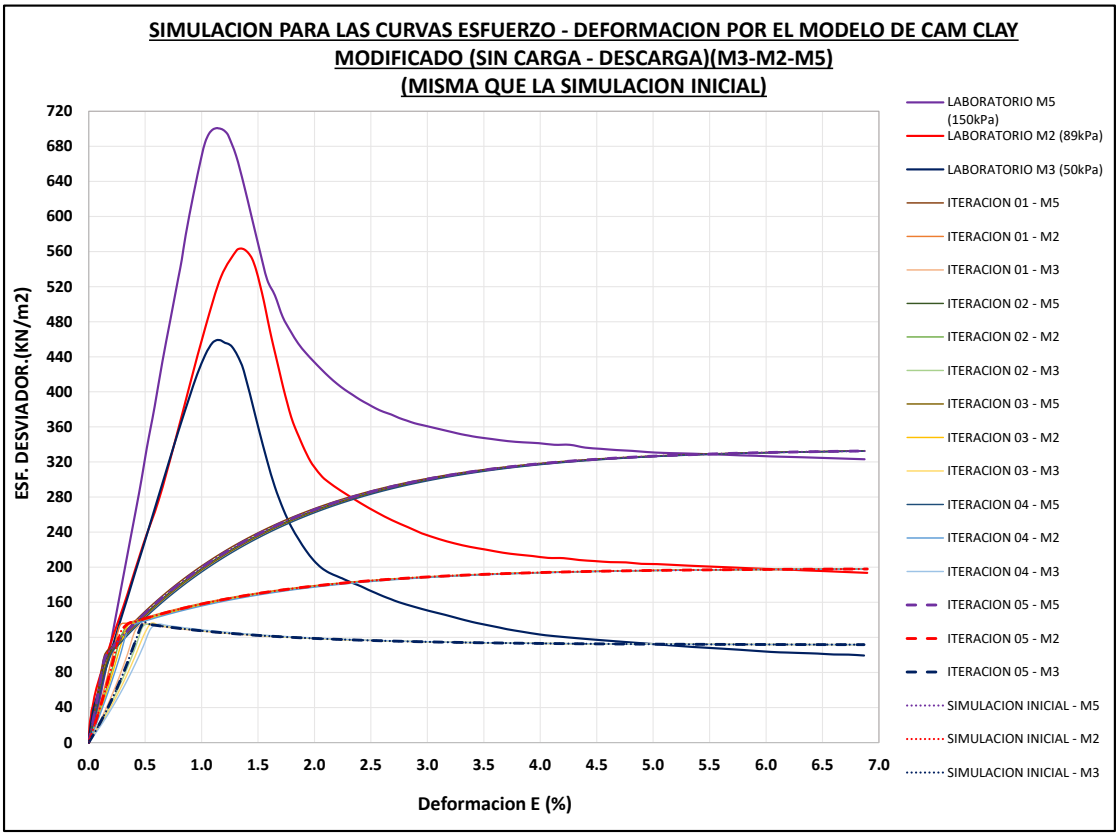
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	44.91	51	3.51	310.89
2	0.14	94.27	52	3.57	312.04
3	0.21	107.73	53	3.64	313.14
4	0.27	117.98	54	3.71	314.18
5	0.34	127.63	55	3.78	315.18
6	0.41	136.77	56	3.85	316.12
7	0.48	145.45	57	3.92	317.02
8	0.55	153.71	58	3.99	317.88
9	0.62	161.60	59	4.06	318.70
10	0.69	169.14	60	4.12	319.48
11	0.76	176.35	61	4.19	320.22
12	0.82	183.26	62	4.26	320.92
13	0.89	189.88	63	4.33	321.59
14	0.96	196.22	64	4.40	322.23
15	1.03	202.30	65	4.47	322.83
16	1.10	208.14	66	4.54	323.41
17	1.17	213.73	67	4.60	323.96
18	1.24	219.10	68	4.67	324.48
19	1.31	224.25	69	4.74	324.97
20	1.37	229.18	70	4.81	325.45
21	1.44	233.92	71	4.88	325.89
22	1.51	238.45	72	4.95	326.32
23	1.58	242.80	73	5.02	326.73
24	1.65	246.97	74	5.09	327.11
25	1.72	250.96	75	5.15	327.48
26	1.79	254.79	76	5.22	327.83
27	1.86	258.45	77	5.29	328.16
28	1.92	261.96	78	5.36	328.47
29	1.99	265.32	79	5.43	328.77
30	2.06	268.53	80	5.50	329.06
31	2.13	271.60	81	5.57	329.33
32	2.20	274.54	82	5.64	329.58
33	2.27	277.35	83	5.70	329.83
34	2.34	280.04	84	5.77	330.06
35	2.41	282.60	85	5.84	330.28
36	2.47	285.06	86	5.91	330.49
37	2.54	287.40	87	5.98	330.69
38	2.61	289.64	88	6.05	330.88
39	2.68	291.77	89	6.12	331.06
40	2.75	293.81	90	6.19	331.23
41	2.82	295.76	91	6.25	331.40
42	2.89	297.62	92	6.32	331.55
43	2.96	299.39	93	6.39	331.70
44	3.02	301.08	94	6.46	331.84
45	3.09	302.69	95	6.53	331.97
46	3.16	304.23	96	6.60	332.10
47	3.23	305.69	97	6.67	332.22
48	3.30	307.09	98	6.74	332.33
49	3.37	308.42	99	6.80	332.44
50	3.44	309.68	100	6.87	332.54

SE VUELVE A USAR LOS DATOS INICIALES COMO LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE CAM CLAY MODFICIADO (SIN CARGA - DESCARGA)



CURVAS DE LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE CAM CLAY MODFIFCADO EN LA HERRAMIENTA SOIL TEST (SIN CARGA - DESCARGA)




SIMULACION PARA LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO (SIN CARGA - DESCARGA)(M3-M2-M5)
(MISMA QUE LA SIMULACION INICIAL)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion E (%)
LABORATORIO M5 (150kPa)
LABORATORIO M2 (89kPa)
LABORATORIO M3 (50kPa)
ITERACION 01 - M5
ITERACION 01 - M2
ITERACION 01 - M3
ITERACION 02 - M5
ITERACION 02 - M2
ITERACION 02 - M3
ITERACION 03 - M5
ITERACION 03 - M2
ITERACION 03 - M3
ITERACION 04 - M5
ITERACION 04 - M2
ITERACION 04 - M3
ITERACION 05 - M5
ITERACION 05 - M2
ITERACION 05 - M3
SIMULACION INICIAL - M5
SIMULACION INICIAL - M2
SIMULACION INICIAL - M3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PENDIENTE M PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Formulas a Usar (Criterio de Cambridge): $p' = \frac{(\sigma_1 + 2 * \sigma_3)}{3}$ $q' = \sigma 1 - \sigma 3$ $\sigma 1 = q' + \sigma 3$

$\sigma 3$: Esfuerzo de Confinamiento
$\sigma 1$: Esfuerzo Total
q': Esfuerzo Desviador

MUESTRA M4 (50kPa)

p'	q'
50.981	2.942
57.994	23.981
62.771	38.313
70.882	62.647
78.505	85.516
86.277	108.831
93.879	131.636
101.311	153.933
108.733	176.199
116.620	199.861
124.496	223.489
127.015	231.045
125.739	227.218
123.828	221.484
121.604	214.813
117.166	201.499
114.320	192.960
111.157	183.472
107.996	173.987
104.834	164.502
101.355	154.066
98.130	144.390
93.766	131.298
88.704	116.112
83.007	99.022
78.417	85.250
73.317	69.951
64.092	42.277
59.872	29.616
55.839	17.518
53.552	10.657
52.567	7.701
50.978	2.933
52.886	8.658
55.749	17.246
57.656	22.969
60.518	31.553
63.696	41.088
67.445	52.334
74.176	72.527
81.218	93.653
85.464	106.393
96.166	138.498
106.662	169.987
117.841	203.524
128.245	234.734
137.842	263.527
146.794	290.382
155.259	315.777
159.519	328.556
164.652	343.955
166.216	348.647
164.619	343.856
161.433	334.299
159.096	327.288
156.383	319.150
155.124	315.371
147.250	291.749
145.676	287.028
142.528	277.583
137.804	263.413

MUESTRA M1 (89kPa)

p'	q'
89.970	2.909
93.687	14.062
103.288	42.864
117.250	84.749
128.205	117.614
138.987	149.961
149.943	182.830
160.884	215.652
172.374	250.123
184.600	286.801
196.528	322.584
193.631	313.893
187.788	296.364
183.682	284.046
178.215	267.646
167.624	235.872
157.815	206.445
149.503	181.510
139.810	152.431
134.023	135.069
120.406	94.218
111.005	66.015
105.234	48.701
101.845	38.534
92.892	11.675
91.068	6.204
89.967	2.902
92.484	10.451
97.674	26.022
103.805	44.415
107.734	56.201
115.271	78.814
127.975	116.926
133.865	134.596
145.979	170.936
158.357	208.071
171.658	247.975
185.474	289.421
195.290	318.870
196.379	322.136
199.896	332.687
206.802	353.405
213.234	372.702
219.693	392.079
225.679	410.037
231.567	427.701
237.357	445.071
243.174	462.523
248.332	477.996
245.970	470.909
240.174	453.523
231.919	428.757
221.089	396.267
214.804	377.411
206.713	353.138
195.511	319.534
184.927	287.781
176.211	261.632
168.238	237.714
159.921	212.763
154.404	196.211

MUESTRA M6 (150kPa)

p'	q'
150.990	2.969
154.207	12.620
157.743	23.229
171.879	65.636
186.316	108.949
200.734	152.202
215.132	195.396
229.510	238.530
235.890	257.671
243.223	279.669
260.767	332.301
268.088	354.263
275.723	377.170
271.843	365.530
266.064	348.192
259.035	327.105
250.101	300.304
243.720	281.159
235.740	257.219
229.357	238.070
224.569	223.706
218.182	204.545
211.795	185.384
208.600	175.801
199.015	147.044
189.423	118.270
181.426	94.279
176.626	79.879
165.418	46.254
155.800	17.401
152.592	7.777
150.987	2.962
152.272	6.815
154.198	12.594
157.408	22.225
160.618	31.855
167.037	51.110
176.659	79.978
189.476	118.429
199.080	147.241
208.677	176.031
221.463	214.388
234.236	252.709
246.997	290.992
259.746	329.239
269.302	357.906
278.851	386.552
288.393	415.179
294.744	434.233
304.275	462.826
320.138	510.413
332.803	548.409
342.279	576.838
350.798	602.393
348.519	595.556
345.319	585.957
338.941	566.822
332.576	547.727
318.274	504.822
307.154	471.461
297.623	442.868

136.230	258.691
133.080	249.240
124.768	224.305
117.052	201.156
103.311	159.932
91.639	124.916
81.091	93.272
73.945	71.836
73.471	70.412
72.996	68.989
71.066	63.199
69.611	58.832
66.509	49.526
61.916	35.748
57.638	22.913
53.832	11.496
51.611	4.833
50.976	2.929
52.564	7.693
54.153	12.458
57.328	21.985
60.503	31.510
64.630	43.890
66.851	50.554
70.341	61.024
73.195	69.586
78.426	85.279
85.237	105.711
91.504	124.512
103.264	159.792
115.197	195.592
126.798	230.393
138.319	264.956
154.282	312.845
160.933	332.799
166.640	349.920
171.396	364.188
176.085	378.254
180.110	390.329
182.699	398.098
184.194	402.581
187.613	412.840
190.684	422.052
193.815	431.446
196.819	440.456
199.379	448.137
201.497	454.492
202.243	456.730
202.482	457.446
203.079	459.236
203.413	460.239
203.412	460.236
203.022	459.067
202.206	456.618
201.357	454.072
199.781	449.342
198.505	445.515
193.739	431.216
190.567	421.702
187.401	412.203
185.818	407.453
183.918	401.754
179.491	388.472
176.326	378.979
173.166	369.499
169.064	357.191
163.855	341.564
152.352	307.057
146.209	288.628
141.644	274.932
133.615	250.844
130.274	240.822
127.467	232.400
124.125	222.375
122.263	216.789
117.935	203.805
114.838	194.514
113.444	190.333

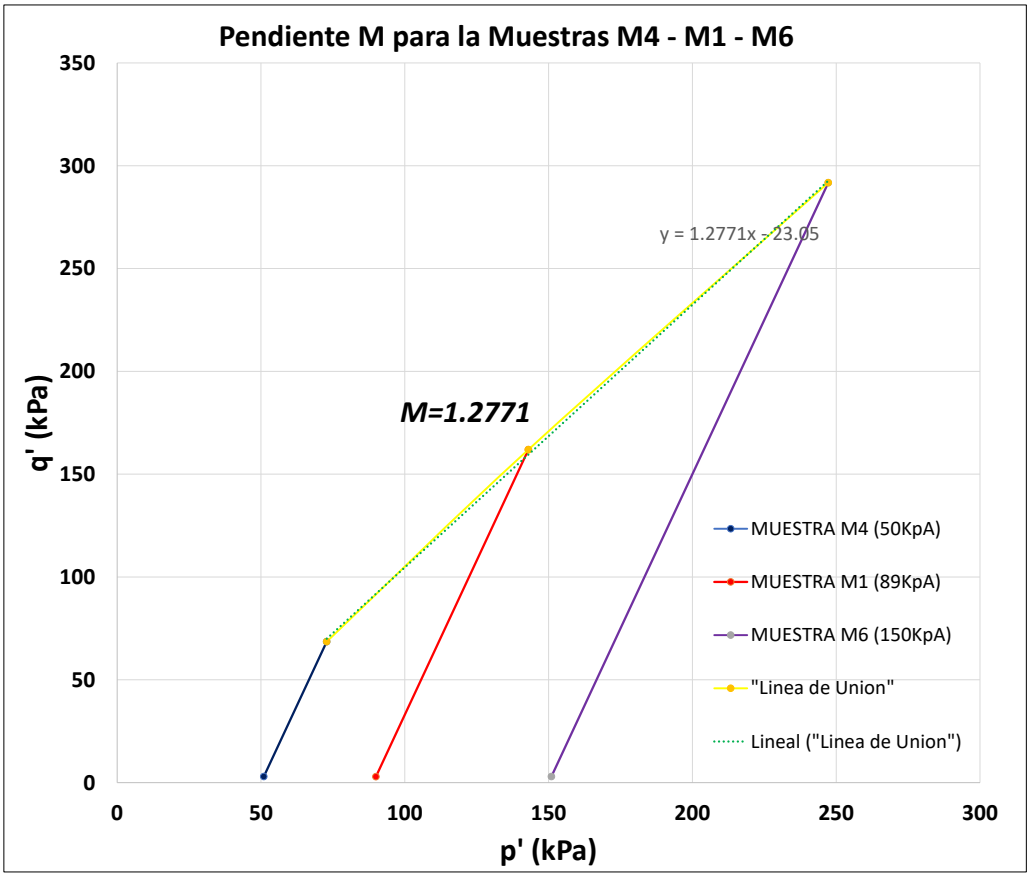
148.011	177.034
141.677	158.031
134.747	137.240
130.436	124.309
125.218	108.653
121.309	96.926
115.365	79.094
106.628	52.884
100.390	34.169
94.679	17.037
94.051	15.152
92.952	11.855
91.852	8.557
91.224	6.672
90.438	4.315
89.967	2.900
91.067	6.202
94.211	15.633
101.346	37.038
112.623	70.868
123.136	102.407
129.155	120.466
142.621	160.863
154.563	196.688
166.582	232.746
178.365	268.096
190.977	305.931
204.197	345.590
217.242	384.725
231.798	428.395
247.042	474.125
257.577	505.730
262.849	521.546
267.774	536.322
271.606	547.817
274.532	556.595
275.868	560.604
276.487	562.462
275.369	559.108
271.504	547.511
269.109	540.328
265.151	528.453
261.779	518.336
251.945	488.834
241.907	458.722
230.427	424.281
222.493	400.480
209.824	362.473
206.287	351.862
199.005	330.014
192.628	310.883
186.352	292.057
181.288	276.864
176.724	263.172
172.505	250.515
168.409	238.228
165.924	230.773
163.940	224.819
162.106	219.317
160.642	214.927
159.304	210.911
157.091	204.274
155.313	198.939
153.265	192.794
150.754	185.261
150.264	183.791
150.103	183.308
149.763	182.290
149.221	180.662
148.987	179.960
148.822	179.467
148.442	178.327
148.050	177.150
147.667	176.002
147.281	174.844
146.892	173.675
146.511	172.534
146.128	171.384

288.088	414.263
278.553	385.659
272.194	366.582
262.657	337.972
251.525	304.574
240.384	271.153
230.833	242.500
218.085	204.256
205.331	165.992
192.564	127.691
179.788	89.365
173.395	70.186
166.999	50.998
163.800	41.400
157.397	22.191
154.193	12.578
152.269	6.808
150.987	2.960
152.591	7.772
154.195	12.585
160.611	31.834
167.026	51.079
176.645	79.934
189.460	118.380
202.261	156.784
215.051	195.154
227.830	233.489
243.784	281.352
259.720	329.159
272.457	367.372
285.179	405.537
294.709	434.128
304.233	462.698
313.754	491.263
323.257	519.772
332.752	548.257
342.240	576.719
348.560	595.680
353.612	610.837
359.605	628.815
368.334	655.002
372.199	666.598
377.532	682.595
381.718	695.154
383.097	699.292
383.953	701.860
383.173	699.518
377.932	683.796
368.258	654.773
356.061	618.183
344.197	582.592
331.716	545.148
326.275	528.824
319.241	507.724
315.401	496.203
308.359	475.078
301.961	455.883
291.404	424.211
287.239	411.717
281.784	395.353
277.604	382.813
273.416	370.247
269.869	359.608
267.283	351.849
264.361	343.084
262.398	337.193
259.702	329.106
256.448	319.343
254.735	314.205
253.305	309.916
252.881	308.643
252.424	307.273
252.031	306.092
251.785	305.354
251.617	304.852
251.380	304.139
251.112	303.335
250.885	302.654

112.394	187.183
110.452	181.356
107.136	171.408
105.049	165.147
103.058	159.173
99.037	147.112
97.165	141.494
95.831	137.493
95.165	135.495
93.772	131.317
91.237	123.711
89.331	117.994
87.428	112.283
85.837	107.511
84.558	103.673
83.435	100.305
82.469	97.406
81.503	94.508
80.849	92.547
80.193	90.578
79.540	88.621
79.013	87.040
78.577	85.731
78.012	84.036
77.582	82.746
77.153	81.459
76.631	79.892
76.170	78.510
75.771	77.312
75.429	76.286
75.275	75.826
74.939	74.816
74.571	73.713
74.208	72.624
73.815	71.444
73.482	70.445
73.239	69.716
72.848	68.544

145.891	170.674
145.622	169.866
145.390	169.171
145.260	168.780
145.059	168.176
144.888	167.663
144.713	167.139
144.576	166.729
144.436	166.307
144.177	165.530
143.948	164.844
143.749	164.248
143.580	163.741
143.441	163.323
143.214	162.641
142.987	161.960

250.731	302.192
250.464	301.391
250.258	300.775
250.063	300.190
249.909	299.728
249.674	299.021
249.530	298.590
249.269	297.806
249.151	297.454
249.008	297.024
248.743	296.228
248.660	295.981
248.517	295.551
248.313	294.939
248.134	294.402
247.966	293.898
247.793	293.378
247.589	292.768
247.446	292.339
247.343	292.030
247.243	291.730



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6
(MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test) **Nro de pasos de Calculo:** 100

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	15.180
0.138	31.887
0.208	50.274
0.277	70.511
0.346	92.780
0.415	117.286
0.484	135.641
0.554	134.278
0.623	133.000
0.692	131.800
0.761	130.671
0.830	129.608
0.900	128.607
0.969	127.664
1.038	126.775
1.107	125.937
1.176	125.146
1.246	124.401
1.315	123.696
1.384	123.032
1.453	122.404
1.522	121.810
1.592	121.249
1.661	120.719
1.730	120.218
1.799	119.744
1.868	119.296
1.938	118.872
2.007	118.471
2.076	118.092
2.145	117.733
2.214	117.393
2.284	117.071
2.353	116.766
2.422	116.477
2.491	116.204
2.560	115.945
2.630	115.700
2.699	115.468
2.768	115.247
2.837	115.038
2.906	114.841
2.976	114.653
3.045	114.476
3.114	114.307
3.183	114.148
3.252	113.996
3.322	113.853
3.391	113.717
3.460	113.588
3.529	113.466
3.598	113.350
3.668	113.240
3.737	113.136
3.806	113.037
3.875	112.944
3.944	112.855
4.014	112.770
4.083	112.690
4.152	112.614
4.221	112.542
4.290	112.474
4.360	112.409
4.429	112.348
4.498	112.289
4.567	112.234
4.636	112.182

SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	26.891
0.138	56.475
0.207	89.020
0.275	124.822
0.344	135.156
0.413	138.015
0.482	140.737
0.551	143.346
0.620	145.845
0.689	148.238
0.758	150.530
0.826	152.724
0.895	154.824
0.964	156.833
1.033	158.756
1.102	160.594
1.171	162.352
1.240	164.032
1.309	165.637
1.377	167.171
1.446	168.636
1.515	170.035
1.584	171.371
1.653	172.646
1.722	173.862
1.791	175.023
1.859	176.130
1.928	177.186
1.997	178.193
2.066	179.152
2.135	180.067
2.204	180.939
2.273	181.769
2.342	182.561
2.410	183.315
2.479	184.032
2.548	184.716
2.617	185.367
2.686	185.987
2.755	186.577
2.824	187.138
2.893	187.672
2.961	188.181
3.030	188.665
3.099	189.125
3.168	189.563
3.237	189.980
3.306	190.377
3.375	190.754
3.444	191.112
3.512	191.453
3.581	191.777
3.650	192.085
3.719	192.378
3.788	192.657
3.857	192.922
3.926	193.173
3.994	193.413
4.063	193.640
4.132	193.856
4.201	194.061
4.270	194.257
4.339	194.442
4.408	194.618
4.477	194.786
4.545	194.945
4.614	195.096

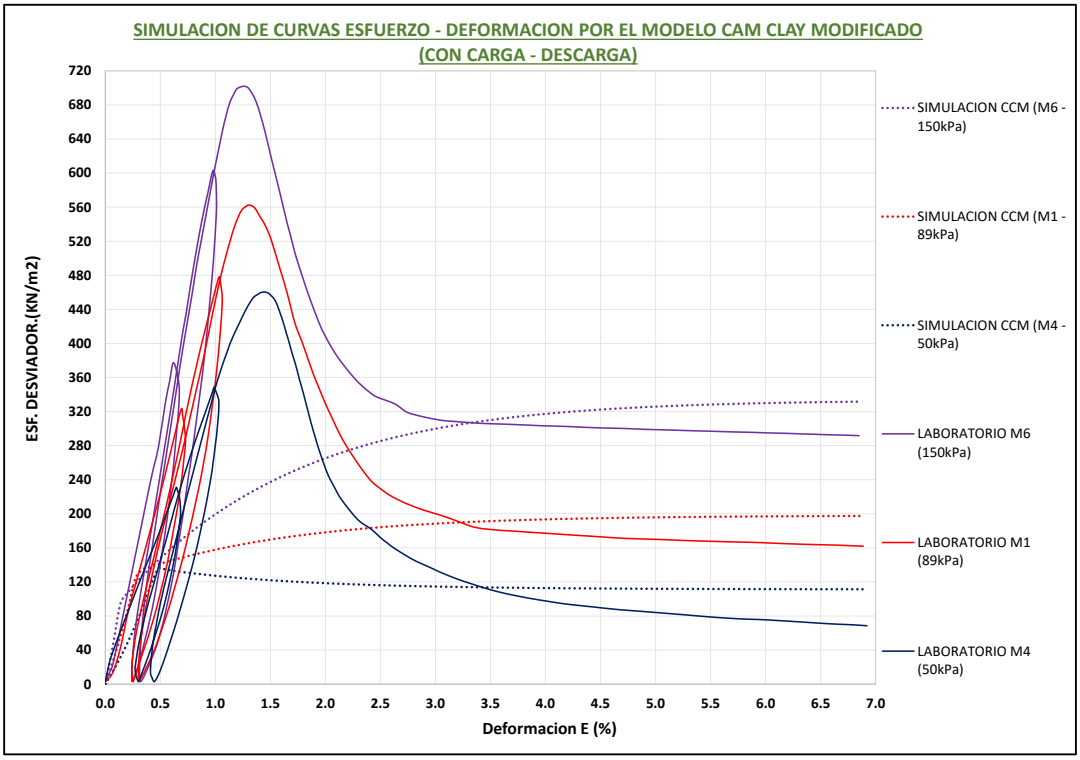
SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.068	45.072
0.137	94.632
0.205	107.779
0.274	117.970
0.342	127.569
0.411	136.656
0.479	145.288
0.548	153.509
0.616	161.354
0.685	168.851
0.753	176.024
0.822	182.892
0.890	189.473
0.959	195.782
1.027	201.832
1.096	207.634
1.164	213.199
1.233	218.537
1.301	223.657
1.370	228.567
1.438	233.276
1.507	237.791
1.575	242.119
1.644	246.267
1.712	250.242
1.781	254.049
1.849	257.695
1.918	261.187
1.986	264.529
2.055	267.728
2.123	270.789
2.192	273.716
2.260	276.516
2.329	279.192
2.397	281.750
2.466	284.195
2.534	286.530
2.603	288.761
2.671	290.891
2.740	292.925
2.808	294.866
2.877	296.718
2.945	298.486
3.014	300.172
3.082	301.781
3.151	303.314
3.219	304.777
3.288	306.171
3.356	307.500
3.425	308.766
3.493	309.973
3.561	311.123
3.630	312.218
3.698	313.261
3.767	314.255
3.835	315.201
3.904	316.102
3.972	316.960
4.041	317.777
4.109	318.555
4.178	319.295
4.246	320.000
4.315	320.670
4.383	321.308
4.452	321.916
4.520	322.493
4.589	323.043

4.706	112.132
4.775	112.084
4.844	112.040
4.913	111.997
4.982	111.957
5.052	111.919
5.121	111.882
5.190	111.848
5.259	111.815
5.328	111.784
5.398	111.755
5.467	111.727
5.536	111.701
5.605	111.676
5.674	111.652
5.744	111.629
5.813	111.608
5.882	111.588
5.951	111.568
6.020	111.550
6.090	111.533
6.159	111.516
6.228	111.501
6.297	111.486
6.366	111.472
6.436	111.459
6.505	111.446
6.574	111.434
6.643	111.423
6.712	111.412
6.782	111.402
6.851	111.392
6.920	111.383

4.683	195.240
4.752	195.376
4.821	195.506
4.890	195.629
4.959	195.747
5.028	195.858
5.096	195.964
5.165	196.064
5.234	196.160
5.303	196.251
5.372	196.337
5.441	196.419
5.510	196.496
5.578	196.570
5.647	196.640
5.716	196.706
5.785	196.770
5.854	196.830
5.923	196.887
5.992	196.941
6.061	196.992
6.129	197.041
6.198	197.087
6.267	197.131
6.336	197.173
6.405	197.212
6.474	197.250
6.543	197.285
6.612	197.319
6.680	197.352
6.749	197.382
6.818	197.411
6.887	197.439

4.657	323.565
4.726	324.063
4.794	324.536
4.863	324.985
4.931	325.413
5.000	325.820
5.068	326.207
5.137	326.575
5.205	326.924
5.274	327.257
5.342	327.573
5.411	327.874
5.479	328.160
5.548	328.432
5.616	328.690
5.685	328.936
5.753	329.170
5.822	329.392
5.890	329.603
5.959	329.803
6.027	329.994
6.096	330.176
6.164	330.349
6.233	330.513
6.301	330.668
6.370	330.816
6.438	330.957
6.507	331.091
6.575	331.218
6.644	331.338
6.712	331.453
6.781	331.562
6.849	331.665



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION CALIBRADA DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

PRIMERA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	15.96	51	3.53	113.45
2	0.14	33.60	52	3.60	113.33
3	0.21	53.11	53	3.67	113.22
4	0.28	74.68	54	3.74	113.12
5	0.35	98.53	55	3.81	113.02
6	0.42	124.90	56	3.88	112.93
7	0.48	135.20	57	3.94	112.84
8	0.55	133.89	58	4.01	112.76
9	0.62	132.64	59	4.08	112.68
10	0.69	131.47	60	4.15	112.61
11	0.76	130.36	61	4.22	112.54
12	0.83	129.32	62	4.29	112.47
13	0.90	128.34	63	4.36	112.40
14	0.97	127.41	64	4.43	112.34
15	1.04	126.54	65	4.50	112.29
16	1.11	125.72	66	4.57	112.23
17	1.18	124.94	67	4.64	112.18
18	1.25	124.21	68	4.71	112.13
19	1.31	123.51	69	4.77	112.08
20	1.38	122.86	70	4.84	112.04
21	1.45	122.24	71	4.91	112.00
22	1.52	121.66	72	4.98	111.96
23	1.59	121.11	73	5.05	111.92
24	1.66	120.59	74	5.12	111.88
25	1.73	120.10	75	5.19	111.85
26	1.80	119.63	76	5.26	111.82
27	1.87	119.19	77	5.33	111.79
28	1.94	118.77	78	5.40	111.76
29	2.01	118.38	79	5.47	111.73
30	2.08	118.00	80	5.54	111.71
31	2.15	117.65	81	5.61	111.68
32	2.21	117.31	82	5.67	111.66
33	2.28	117.00	83	5.74	111.64
34	2.35	116.70	84	5.81	111.61
35	2.42	116.41	85	5.88	111.59
36	2.49	116.14	86	5.95	111.57
37	2.56	115.89	87	6.02	111.56
38	2.63	115.65	88	6.09	111.54
39	2.70	115.42	89	6.16	111.52
40	2.77	115.20	90	6.23	111.51
41	2.84	115.00	91	6.30	111.49
42	2.91	114.80	92	6.37	111.48
43	2.98	114.62	93	6.44	111.47
44	3.04	114.44	94	6.50	111.45
45	3.11	114.28	95	6.57	111.44
46	3.18	114.12	96	6.64	111.43
47	3.25	113.97	97	6.71	111.42
48	3.32	113.83	98	6.78	111.41
49	3.39	113.69	99	6.85	111.40
50	3.46	113.57	100	6.92	111.39

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	28.27	51	3.51	191.55
2	0.14	59.51	52	3.58	191.87
3	0.21	94.04	53	3.65	192.18
4	0.28	132.21	54	3.72	192.47
5	0.34	135.74	55	3.79	192.74
6	0.41	138.57	56	3.86	193.01
7	0.48	141.28	57	3.93	193.25
8	0.55	143.88	58	3.99	193.49
9	0.62	146.36	59	4.06	193.71
10	0.69	148.74	60	4.13	193.93
11	0.76	151.02	61	4.20	194.13
12	0.83	153.19	62	4.27	194.32
13	0.90	155.28	63	4.34	194.51
14	0.96	157.27	64	4.41	194.68
15	1.03	159.18	65	4.48	194.85
16	1.10	161.01	66	4.55	195.00
17	1.17	162.75	67	4.61	195.15
18	1.24	164.41	68	4.68	195.29
19	1.31	166.01	69	4.75	195.43
20	1.38	167.53	70	4.82	195.56
21	1.45	168.98	71	4.89	195.68
22	1.52	170.37	72	4.96	195.79
23	1.58	171.69	73	5.03	195.90
24	1.65	172.95	74	5.10	196.01
25	1.72	174.16	75	5.17	196.11
26	1.79	175.31	76	5.23	196.20
27	1.86	176.40	77	5.30	196.29
28	1.93	177.45	78	5.37	196.38
29	2.00	178.44	79	5.44	196.46
30	2.07	179.39	80	5.51	196.53
31	2.13	180.30	81	5.58	196.61
32	2.20	181.16	82	5.65	196.68
33	2.27	181.98	83	5.72	196.74
34	2.34	182.77	84	5.79	196.80
35	2.41	183.51	85	5.85	196.86
36	2.48	184.22	86	5.92	196.92
37	2.55	184.90	87	5.99	196.97
38	2.62	185.54	88	6.06	197.02
39	2.69	186.15	89	6.13	197.07
40	2.75	186.74	90	6.20	197.12
41	2.82	187.29	91	6.27	197.16
42	2.89	187.82	92	6.34	197.20
43	2.96	188.32	93	6.40	197.24
44	3.03	188.80	94	6.47	197.28
45	3.10	189.25	95	6.54	197.31
46	3.17	189.69	96	6.61	197.35
47	3.24	190.10	97	6.68	197.38
48	3.31	190.49	98	6.75	197.41
49	3.37	190.86	99	6.82	197.44
50	3.44	191.22	100	6.89	197.46

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	47.38	51	3.49	310.29
2	0.14	98.00	52	3.56	311.43
3	0.21	108.92	53	3.63	312.51
4	0.27	119.11	54	3.70	313.55
5	0.34	128.72	55	3.77	314.53
6	0.41	137.82	56	3.84	315.46
7	0.48	146.45	57	3.90	316.35
8	0.55	154.67	58	3.97	317.20
9	0.62	162.51	59	4.04	318.01
10	0.68	170.00	60	4.11	318.78
11	0.75	177.16	61	4.18	319.51
12	0.82	184.02	62	4.25	320.20
13	0.89	190.59	63	4.31	320.87
14	0.96	196.88	64	4.38	321.50
15	1.03	202.91	65	4.45	322.10
16	1.10	208.69	66	4.52	322.67
17	1.16	214.24	67	4.59	323.21
18	1.23	219.56	68	4.66	323.73
19	1.30	224.65	69	4.73	324.22
20	1.37	229.54	70	4.79	324.68
21	1.44	234.22	71	4.86	325.13
22	1.51	238.72	72	4.93	325.55
23	1.58	243.02	73	5.00	325.95
24	1.64	247.14	74	5.07	326.33
25	1.71	251.09	75	5.14	326.70
26	1.78	254.87	76	5.21	327.04
27	1.85	258.49	77	5.27	327.37
28	1.92	261.96	78	5.34	327.68
29	1.99	265.28	79	5.41	327.98
30	2.05	268.45	80	5.48	328.26
31	2.12	271.49	81	5.55	328.53
32	2.19	274.39	82	5.62	328.79
33	2.26	277.17	83	5.68	329.03
34	2.33	279.82	84	5.75	329.26
35	2.40	282.36	85	5.82	329.48
36	2.47	284.78	86	5.89	329.69
37	2.53	287.09	87	5.96	329.88
38	2.60	289.30	88	6.03	330.07
39	2.67	291.41	89	6.10	330.25
40	2.74	293.43	90	6.16	330.42
41	2.81	295.35	91	6.23	330.58
42	2.88	297.18	92	6.30	330.74
43	2.95	298.93	93	6.37	330.88
44	3.01	300.60	94	6.44	331.02
45	3.08	302.19	95	6.51	331.15
46	3.15	303.71	96	6.58	331.28
47	3.22	305.16	97	6.64	331.40
48	3.29	306.53	98	6.71	331.51
49	3.36	307.85	99	6.78	331.62
50	3.42	309.10	100	6.85	331.72

SEGUNDA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	14.32	51	3.53	113.49
2	0.14	30.00	52	3.60	113.37
3	0.21	47.17	53	3.67	113.26
4	0.28	65.96	54	3.74	113.16
5	0.35	86.54	55	3.81	113.06
6	0.42	109.07	56	3.88	112.96
7	0.48	133.73	57	3.94	112.87
8	0.55	134.71	58	4.01	112.79
9	0.62	133.41	59	4.08	112.70
10	0.69	132.18	60	4.15	112.63
11	0.76	131.03	61	4.22	112.55
12	0.83	129.94	62	4.29	112.48
13	0.90	128.92	63	4.36	112.42
14	0.97	127.96	64	4.43	112.36
15	1.04	127.05	65	4.50	112.30
16	1.11	126.19	66	4.57	112.24
17	1.18	125.38	67	4.64	112.19
18	1.25	124.62	68	4.71	112.14
19	1.31	123.91	69	4.77	112.09
20	1.38	123.23	70	4.84	112.04
21	1.45	122.59	71	4.91	112.00
22	1.52	121.98	72	4.98	111.96
23	1.59	121.41	73	5.05	111.92
24	1.66	120.87	74	5.12	111.88
25	1.73	120.36	75	5.19	111.85
26	1.80	119.88	76	5.26	111.82
27	1.87	119.42	77	5.33	111.78
28	1.94	118.99	78	5.40	111.75
29	2.01	118.58	79	5.47	111.73
30	2.08	118.20	80	5.54	111.70
31	2.15	117.83	81	5.61	111.67
32	2.21	117.48	82	5.67	111.65
33	2.28	117.16	83	5.74	111.63
34	2.35	116.85	84	5.81	111.61
35	2.42	116.55	85	5.88	111.58
36	2.49	116.28	86	5.95	111.57
37	2.56	116.01	87	6.02	111.55
38	2.63	115.76	88	6.09	111.53
39	2.70	115.53	89	6.16	111.51
40	2.77	115.30	90	6.23	111.50
41	2.84	115.09	91	6.30	111.48
42	2.91	114.89	92	6.37	111.47
43	2.98	114.70	93	6.44	111.45
44	3.04	114.52	94	6.50	111.44
45	3.11	114.35	95	6.57	111.43
46	3.18	114.18	96	6.64	111.42
47	3.25	114.03	97	6.71	111.41
48	3.32	113.89	98	6.78	111.40
49	3.39	113.75	99	6.85	111.39
50	3.46	113.62	100	6.92	111.38

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	25.37	51	3.51	191.32
2	0.14	53.13	52	3.58	191.65
3	0.21	83.52	53	3.65	191.97
4	0.28	116.78	54	3.72	192.27
5	0.34	134.37	55	3.79	192.55
6	0.41	137.25	56	3.86	192.82
7	0.48	139.99	57	3.93	193.07
8	0.55	142.62	58	3.99	193.32
9	0.62	145.14	59	4.06	193.55
10	0.69	147.56	60	4.13	193.77
11	0.76	149.87	61	4.20	193.98
12	0.83	152.09	62	4.27	194.18
13	0.90	154.21	63	4.34	194.36
14	0.96	156.24	64	4.41	194.54
15	1.03	158.18	65	4.48	194.71
16	1.10	160.04	66	4.55	194.88
17	1.17	161.82	67	4.61	195.03
18	1.24	163.51	68	4.68	195.18
19	1.31	165.14	69	4.75	195.32
20	1.38	166.69	70	4.82	195.45
21	1.45	168.17	71	4.89	195.57
22	1.52	169.59	72	4.96	195.69
23	1.58	170.94	73	5.03	195.81
24	1.65	172.24	74	5.10	195.91
25	1.72	173.47	75	5.17	196.02
26	1.79	174.64	76	5.23	196.11
27	1.86	175.77	77	5.30	196.20
28	1.93	176.84	78	5.37	196.29
29	2.00	177.86	79	5.44	196.38
30	2.07	178.83	80	5.51	196.45
31	2.13	179.76	81	5.58	196.53
32	2.20	180.64	82	5.65	196.60
33	2.27	181.49	83	5.72	196.67
34	2.34	182.29	84	5.79	196.73
35	2.41	183.06	85	5.85	196.79
36	2.48	183.78	86	5.92	196.85
37	2.55	184.48	87	5.99	196.91
38	2.62	185.14	88	6.06	196.96
39	2.69	185.77	89	6.13	197.01
40	2.75	186.37	90	6.20	197.06
41	2.82	186.94	91	6.27	197.10
42	2.89	187.48	92	6.34	197.14
43	2.96	188.00	93	6.40	197.18
44	3.03	188.49	94	6.47	197.22
45	3.10	188.96	95	6.54	197.26
46	3.17	189.40	96	6.61	197.29
47	3.24	189.83	97	6.68	197.33
48	3.31	190.23	98	6.75	197.36
49	3.37	190.61	99	6.82	197.39
50	3.44	190.98	100	6.89	197.41

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	42.52	51	3.49	309.58
2	0.14	89.04	52	3.56	310.75
3	0.21	106.38	53	3.63	311.86
4	0.27	116.56	54	3.70	312.92
5	0.34	126.14	55	3.77	313.93
6	0.41	135.22	56	3.84	314.89
7	0.48	143.85	57	3.90	315.80
8	0.55	152.07	58	3.97	316.67
9	0.62	159.92	59	4.04	317.50
10	0.68	167.42	60	4.11	318.29
11	0.75	174.61	61	4.18	319.04
12	0.82	181.49	62	4.25	319.76
13	0.89	188.09	63	4.31	320.44
14	0.96	194.42	64	4.38	321.09
15	1.03	200.49	65	4.45	321.70
16	1.10	206.32	66	4.52	322.29
17	1.16	211.91	67	4.59	322.85
18	1.23	217.28	68	4.66	323.38
19	1.30	222.43	69	4.73	323.88
20	1.37	227.36	70	4.79	324.36
21	1.44	232.10	71	4.86	324.82
22	1.51	236.65	72	4.93	325.25
23	1.58	241.01	73	5.00	325.67
24	1.64	245.19	74	5.07	326.06
25	1.71	249.19	75	5.14	326.43
26	1.78	253.03	76	5.21	326.79
27	1.85	256.71	77	5.27	327.13
28	1.92	260.23	78	5.34	327.45
29	1.99	263.61	79	5.41	327.75
30	2.05	266.84	80	5.48	328.05
31	2.12	269.93	81	5.55	328.32
32	2.19	272.88	82	5.62	328.58
33	2.26	275.71	83	5.68	328.83
34	2.33	278.42	84	5.75	329.07
35	2.40	281.00	85	5.82	329.30
36	2.47	283.48	86	5.89	329.51
37	2.53	285.84	87	5.96	329.72
38	2.60	288.09	88	6.03	329.91
39	2.67	290.25	89	6.10	330.09
40	2.74	292.31	90	6.16	330.27
41	2.81	294.27	91	6.23	330.44
42	2.88	296.15	92	6.30	330.59
43	2.95	297.94	93	6.37	330.75
44	3.01	299.65	94	6.44	330.89
45	3.08	301.28	95	6.51	331.02
46	3.15	302.83	96	6.58	331.15
47	3.22	304.31	97	6.64	331.28
48	3.29	305.73	98	6.71	331.39
49	3.36	307.07	99	6.78	331.50
50	3.42	308.36	100	6.85	331.61

TERCERA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	13.09	51	3.53	113.54
2	0.14	27.32	52	3.60	113.42
3	0.21	42.79	53	3.67	113.31
4	0.28	59.59	54	3.74	113.20
5	0.35	77.85	55	3.81	113.10
6	0.42	97.70	56	3.88	113.00
7	0.48	119.26	57	3.94	112.91
8	0.55	135.50	58	4.01	112.82
9	0.62	134.13	59	4.08	112.74
10	0.69	132.85	60	4.15	112.66
11	0.76	131.65	61	4.22	112.58
12	0.83	130.52	62	4.29	112.51
13	0.90	129.46	63	4.36	112.44
14	0.97	128.46	64	4.43	112.38
15	1.04	127.52	65	4.50	112.32
16	1.11	126.64	66	4.57	112.26
17	1.18	125.80	67	4.64	112.21
18	1.25	125.02	68	4.71	112.15
19	1.31	124.27	69	4.77	112.10
20	1.38	123.57	70	4.84	112.06
21	1.45	122.91	71	4.91	112.01
22	1.52	122.29	72	4.98	111.97
23	1.59	121.70	73	5.05	111.93
24	1.66	121.14	74	5.12	111.89
25	1.73	120.61	75	5.19	111.86
26	1.80	120.12	76	5.26	111.82
27	1.87	119.64	77	5.33	111.79
28	1.94	119.20	78	5.40	111.76
29	2.01	118.78	79	5.47	111.73
30	2.08	118.38	80	5.54	111.70
31	2.15	118.01	81	5.61	111.68
32	2.21	117.65	82	5.67	111.65
33	2.28	117.31	83	5.74	111.63
34	2.35	116.99	84	5.81	111.61
35	2.42	116.69	85	5.88	111.59
36	2.49	116.40	86	5.95	111.57
37	2.56	116.13	87	6.02	111.55
38	2.63	115.88	88	6.09	111.53
39	2.70	115.63	89	6.16	111.51
40	2.77	115.40	90	6.23	111.50
41	2.84	115.19	91	6.30	111.48
42	2.91	114.98	92	6.37	111.47
43	2.98	114.78	93	6.44	111.45
44	3.04	114.60	94	6.50	111.44
45	3.11	114.42	95	6.57	111.43
46	3.18	114.26	96	6.64	111.41
47	3.25	114.10	97	6.71	111.40
48	3.32	113.95	98	6.78	111.39
49	3.39	113.81	99	6.85	111.38
50	3.46	113.67	100	6.92	111.37

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	23.19	51	3.51	191.12
2	0.14	48.39	52	3.58	191.46
3	0.21	75.77	53	3.65	191.78
4	0.28	105.50	54	3.72	192.09
5	0.34	133.09	55	3.79	192.38
6	0.41	135.99	56	3.86	192.65
7	0.48	138.76	57	3.93	192.92
8	0.55	141.43	58	3.99	193.17
9	0.62	143.98	59	4.06	193.40
10	0.69	146.43	60	4.13	193.63
11	0.76	148.78	61	4.20	193.85
12	0.83	151.03	62	4.27	194.05
13	0.90	153.18	63	4.34	194.24
14	0.96	155.25	64	4.41	194.43
15	1.03	157.22	65	4.48	194.60
16	1.10	159.11	66	4.55	194.77
17	1.17	160.92	67	4.61	194.93
18	1.24	162.66	68	4.68	195.08
19	1.31	164.31	69	4.75	195.22
20	1.38	165.89	70	4.82	195.36
21	1.45	167.41	71	4.89	195.49
22	1.52	168.85	72	4.96	195.61
23	1.58	170.23	73	5.03	195.73
24	1.65	171.55	74	5.10	195.84
25	1.72	172.81	75	5.17	195.94
26	1.79	174.02	76	5.23	196.04
27	1.86	175.16	77	5.30	196.14
28	1.93	176.26	78	5.37	196.23
29	2.00	177.30	79	5.44	196.32
30	2.07	178.30	80	5.51	196.40
31	2.13	179.25	81	5.58	196.47
32	2.20	180.16	82	5.65	196.55
33	2.27	181.02	83	5.72	196.62
34	2.34	181.84	84	5.79	196.68
35	2.41	182.63	85	5.85	196.75
36	2.48	183.38	86	5.92	196.81
37	2.55	184.09	87	5.99	196.86
38	2.62	184.77	88	6.06	196.92
39	2.69	185.41	89	6.13	196.97
40	2.75	186.03	90	6.20	197.02
41	2.82	186.61	91	6.27	197.06
42	2.89	187.17	92	6.34	197.11
43	2.96	187.70	93	6.40	197.15
44	3.03	188.21	94	6.47	197.19
45	3.10	188.69	95	6.54	197.22
46	3.17	189.14	96	6.61	197.26
47	3.24	189.58	97	6.68	197.29
48	3.31	189.99	98	6.75	197.33
49	3.37	190.39	99	6.82	197.36
50	3.44	190.76	100	6.89	197.38

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	38.88	51	3.49	308.94
2	0.14	81.09	52	3.56	310.13
3	0.21	104.13	53	3.63	311.27
4	0.27	114.27	54	3.70	312.35
5	0.34	123.83	55	3.77	313.38
6	0.41	132.88	56	3.84	314.37
7	0.48	141.50	57	3.90	315.30
8	0.55	149.73	58	3.97	316.20
9	0.62	157.58	59	4.04	317.05
10	0.68	165.10	60	4.11	317.86
11	0.75	172.30	61	4.18	318.63
12	0.82	179.21	62	4.25	319.36
13	0.89	185.84	63	4.31	320.06
14	0.96	192.19	64	4.38	320.72
15	1.03	198.30	65	4.45	321.36
16	1.10	204.16	66	4.52	321.96
17	1.16	209.79	67	4.59	322.53
18	1.23	215.20	68	4.66	323.08
19	1.30	220.39	69	4.73	323.59
20	1.37	225.38	70	4.79	324.09
21	1.44	230.17	71	4.86	324.56
22	1.51	234.76	72	4.93	325.00
23	1.58	239.17	73	5.00	325.43
24	1.64	243.40	74	5.07	325.83
25	1.71	247.46	75	5.14	326.21
26	1.78	251.35	76	5.21	326.58
27	1.85	255.07	77	5.27	326.93
28	1.92	258.65	78	5.34	327.26
29	1.99	262.07	79	5.41	327.57
30	2.05	265.35	80	5.48	327.87
31	2.12	268.49	81	5.55	328.15
32	2.19	271.50	82	5.62	328.42
33	2.26	274.37	83	5.68	328.68
34	2.33	277.13	84	5.75	328.92
35	2.40	279.76	85	5.82	329.16
36	2.47	282.28	86	5.89	329.38
37	2.53	284.68	87	5.96	329.59
38	2.60	286.99	88	6.03	329.79
39	2.67	289.18	89	6.10	329.97
40	2.74	291.28	90	6.16	330.16
41	2.81	293.29	91	6.23	330.33
42	2.88	295.20	92	6.30	330.49
43	2.95	297.03	93	6.37	330.64
44	3.01	298.78	94	6.44	330.79
45	3.08	300.44	95	6.51	330.93
46	3.15	302.03	96	6.58	331.06
47	3.22	303.55	97	6.64	331.19
48	3.29	304.99	98	6.71	331.31
49	3.36	306.37	99	6.78	331.42
50	3.42	307.68	100	6.85	331.53

CUARTA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	11.46	51	3.53	113.65
2	0.14	23.78	52	3.60	113.52
3	0.21	37.05	53	3.67	113.40
4	0.28	51.31	54	3.74	113.29
5	0.35	66.67	55	3.81	113.18
6	0.42	83.18	56	3.88	113.08
7	0.48	100.95	57	3.94	112.98
8	0.55	120.06	58	4.01	112.89
9	0.62	135.44	59	4.08	112.80
10	0.69	134.08	60	4.15	112.72
11	0.76	132.79	61	4.22	112.64
12	0.83	131.59	62	4.29	112.56
13	0.90	130.46	63	4.36	112.49
14	0.97	129.39	64	4.43	112.43
15	1.04	128.39	65	4.50	112.36
16	1.11	127.45	66	4.57	112.30
17	1.18	126.56	67	4.64	112.25
18	1.25	125.73	68	4.71	112.19
19	1.31	124.94	69	4.77	112.14
20	1.38	124.20	70	4.84	112.09
21	1.45	123.50	71	4.91	112.05
22	1.52	122.84	72	4.98	112.00
23	1.59	122.22	73	5.05	111.96
24	1.66	121.63	74	5.12	111.92
25	1.73	121.07	75	5.19	111.88
26	1.80	120.55	76	5.26	111.85
27	1.87	120.05	77	5.33	111.81
28	1.94	119.58	78	5.40	111.78
29	2.01	119.14	79	5.47	111.75
30	2.08	118.72	80	5.54	111.72
31	2.15	118.33	81	5.61	111.70
32	2.21	117.95	82	5.67	111.67
33	2.28	117.60	83	5.74	111.64
34	2.35	117.26	84	5.81	111.62
35	2.42	116.95	85	5.88	111.60
36	2.49	116.65	86	5.95	111.58
37	2.56	116.36	87	6.02	111.56
38	2.63	116.09	88	6.09	111.54
39	2.70	115.84	89	6.16	111.52
40	2.77	115.59	90	6.23	111.50
41	2.84	115.37	91	6.30	111.49
42	2.91	115.15	92	6.37	111.47
43	2.98	114.94	93	6.44	111.46
44	3.04	114.75	94	6.50	111.45
45	3.11	114.57	95	6.57	111.43
46	3.18	114.39	96	6.64	111.42
47	3.25	114.23	97	6.71	111.41
48	3.32	114.07	98	6.78	111.40
49	3.39	113.92	99	6.85	111.39
50	3.46	113.78	100	6.92	111.38

CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	20.29	51	3.51	190.78
2	0.14	42.12	52	3.58	191.14
3	0.21	65.60	53	3.65	191.47
4	0.28	90.86	54	3.72	191.79
5	0.34	118.01	55	3.79	192.10
6	0.41	133.98	56	3.86	192.39
7	0.48	136.77	57	3.93	192.66
8	0.55	139.48	58	3.99	192.93
9	0.62	142.09	59	4.06	193.18
10	0.69	144.59	60	4.13	193.41
11	0.76	147.00	61	4.20	193.64
12	0.83	149.30	62	4.27	193.85
13	0.90	151.51	63	4.34	194.05
14	0.96	153.62	64	4.41	194.25
15	1.03	155.65	65	4.48	194.43
16	1.10	157.60	66	4.55	194.61
17	1.17	159.46	67	4.61	194.77
18	1.24	161.24	68	4.68	194.93
19	1.31	162.95	69	4.75	195.08
20	1.38	164.58	70	4.82	195.22
21	1.45	166.14	71	4.89	195.36
22	1.52	167.64	72	4.96	195.49
23	1.58	169.06	73	5.03	195.61
24	1.65	170.43	74	5.10	195.73
25	1.72	171.73	75	5.17	195.84
26	1.79	172.98	76	5.23	195.94
27	1.86	174.17	77	5.30	196.04
28	1.93	175.30	78	5.37	196.14
29	2.00	176.39	79	5.44	196.23
30	2.07	177.42	80	5.51	196.31
31	2.13	178.41	81	5.58	196.39
32	2.20	179.35	82	5.65	196.47
33	2.27	180.25	83	5.72	196.54
34	2.34	181.11	84	5.79	196.61
35	2.41	181.92	85	5.85	196.68
36	2.48	182.70	86	5.92	196.74
37	2.55	183.44	87	5.99	196.80
38	2.62	184.15	88	6.06	196.86
39	2.69	184.82	89	6.13	196.91
40	2.75	185.46	90	6.20	196.96
41	2.82	186.07	91	6.27	197.01
42	2.89	186.66	92	6.34	197.06
43	2.96	187.21	93	6.40	197.10
44	3.03	187.74	94	6.47	197.14
45	3.10	188.24	95	6.54	197.18
46	3.17	188.72	96	6.61	197.22
47	3.24	189.17	97	6.68	197.25
48	3.31	189.61	98	6.75	197.29
49	3.37	190.02	99	6.82	197.32
50	3.44	190.41	100	6.89	197.35

CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	34.02	51	3.49	307.83
2	0.14	70.59	52	3.56	309.08
3	0.21	100.45	53	3.63	310.26
4	0.27	110.50	54	3.70	311.39
5	0.34	119.99	55	3.77	312.46
6	0.41	129.02	56	3.84	313.49
7	0.48	137.62	57	3.90	314.47
8	0.55	145.83	58	3.97	315.40
9	0.62	153.69	59	4.04	316.28
10	0.68	161.22	60	4.11	317.13
11	0.75	168.45	61	4.18	317.93
12	0.82	175.39	62	4.25	318.70
13	0.89	182.05	63	4.31	319.42
14	0.96	188.46	64	4.38	320.12
15	1.03	194.62	65	4.45	320.78
16	1.10	200.54	66	4.52	321.41
17	1.16	206.23	67	4.59	322.00
18	1.23	211.71	68	4.66	322.57
19	1.30	216.97	69	4.73	323.11
20	1.37	222.03	70	4.79	323.63
21	1.44	226.89	71	4.86	324.12
22	1.51	231.57	72	4.93	324.59
23	1.58	236.06	73	5.00	325.03
24	1.64	240.37	74	5.07	325.45
25	1.71	244.51	75	5.14	325.85
26	1.78	248.48	76	5.21	326.23
27	1.85	252.30	77	5.27	326.60
28	1.92	255.95	78	5.34	326.94
29	1.99	259.46	79	5.41	327.27
30	2.05	262.83	80	5.48	327.58
31	2.12	266.05	81	5.55	327.88
32	2.19	269.14	82	5.62	328.16
33	2.26	272.10	83	5.68	328.43
34	2.33	274.93	84	5.75	328.69
35	2.40	277.64	85	5.82	328.93
36	2.47	280.24	86	5.89	329.16
37	2.53	282.72	87	5.96	329.38
38	2.60	285.09	88	6.03	329.59
39	2.67	287.36	89	6.10	329.79
40	2.74	289.53	90	6.16	329.98
41	2.81	291.61	91	6.23	330.16
42	2.88	293.59	92	6.30	330.33
43	2.95	295.48	93	6.37	330.49
44	3.01	297.29	94	6.44	330.64
45	3.08	299.02	95	6.51	330.79
46	3.15	300.66	96	6.58	330.93
47	3.22	302.24	97	6.64	331.06
48	3.29	303.74	98	6.71	331.18
49	3.36	305.17	99	6.78	331.30
50	3.42	306.53	100	6.85	331.42

QUINTA ITERACION - CAM CLAY MODIFICADO

CALIBRACION CURVA M4 (50kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	15.18	51	3.53	113.47
2	0.14	31.89	52	3.60	113.35
3	0.21	50.27	53	3.67	113.24
4	0.28	70.51	54	3.74	113.14
5	0.35	92.78	55	3.81	113.04
6	0.42	117.29	56	3.88	112.94
7	0.48	135.64	57	3.94	112.85
8	0.55	134.28	58	4.01	112.77
9	0.62	133.00	59	4.08	112.69
10	0.69	131.80	60	4.15	112.61
11	0.76	130.67	61	4.22	112.54
12	0.83	129.61	62	4.29	112.47
13	0.90	128.61	63	4.36	112.41
14	0.97	127.66	64	4.43	112.35
15	1.04	126.78	65	4.50	112.29
16	1.11	125.94	66	4.57	112.23
17	1.18	125.15	67	4.64	112.18
18	1.25	124.40	68	4.71	112.13
19	1.31	123.70	69	4.77	112.08
20	1.38	123.03	70	4.84	112.04
21	1.45	122.40	71	4.91	112.00
22	1.52	121.81	72	4.98	111.96
23	1.59	121.25	73	5.05	111.92
24	1.66	120.72	74	5.12	111.88
25	1.73	120.22	75	5.19	111.85
26	1.80	119.74	76	5.26	111.82
27	1.87	119.30	77	5.33	111.78
28	1.94	118.87	78	5.40	111.76
29	2.01	118.47	79	5.47	111.73
30	2.08	118.09	80	5.54	111.70
31	2.15	117.73	81	5.61	111.68
32	2.21	117.39	82	5.67	111.65
33	2.28	117.07	83	5.74	111.63
34	2.35	116.77	84	5.81	111.61
35	2.42	116.48	85	5.88	111.59
36	2.49	116.20	86	5.95	111.57
37	2.56	115.95	87	6.02	111.55
38	2.63	115.70	88	6.09	111.53
39	2.70	115.47	89	6.16	111.52
40	2.77	115.25	90	6.23	111.50
41	2.84	115.04	91	6.30	111.49
42	2.91	114.84	92	6.37	111.47
43	2.98	114.65	93	6.44	111.46
44	3.04	114.48	94	6.50	111.45
45	3.11	114.31	95	6.57	111.43
46	3.18	114.15	96	6.64	111.42
47	3.25	114.00	97	6.71	111.41
48	3.32	113.85	98	6.78	111.40
49	3.39	113.72	99	6.85	111.39
50	3.46	113.59	100	6.92	111.38

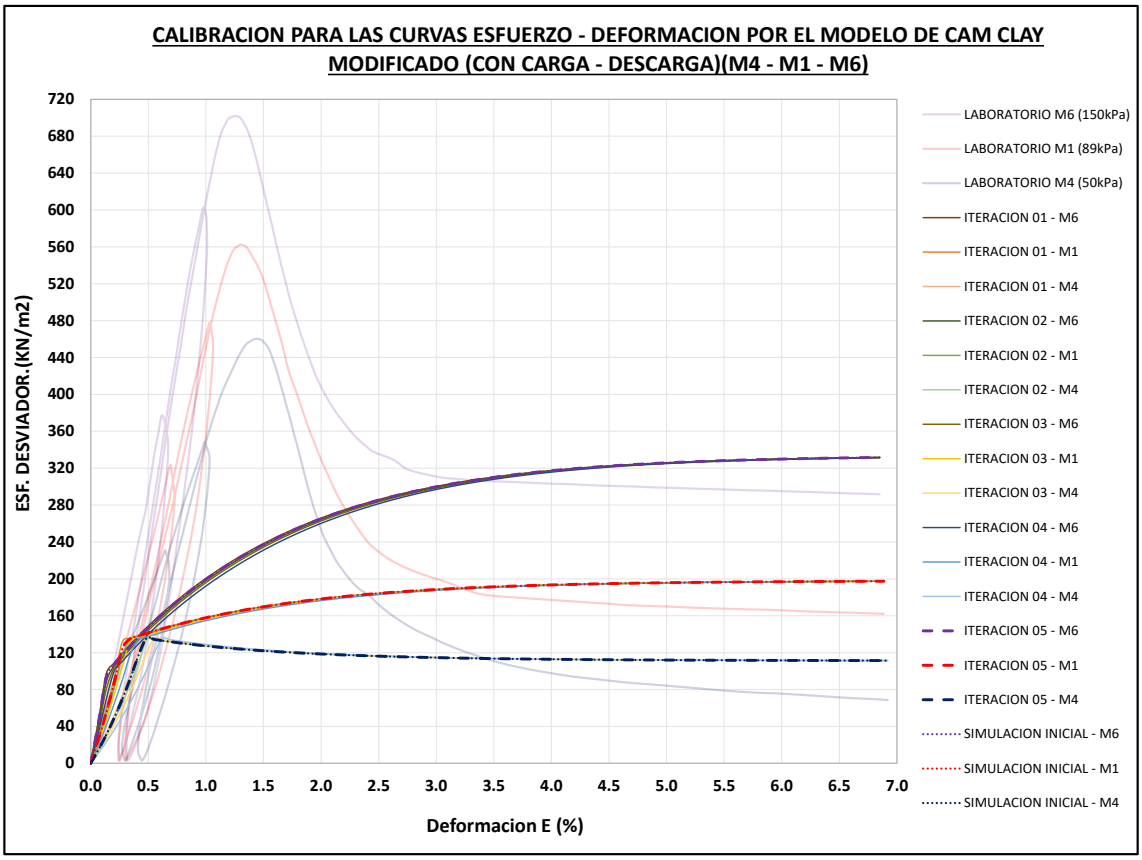
CALIBRACION CURVA M1 (89kPa)

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.89	51	3.51	191.45
2	0.14	56.47	52	3.58	191.78
3	0.21	89.02	53	3.65	192.09
4	0.28	124.82	54	3.72	192.38
5	0.34	135.16	55	3.79	192.66
6	0.41	138.01	56	3.86	192.92
7	0.48	140.74	57	3.93	193.17
8	0.55	143.35	58	3.99	193.41
9	0.62	145.84	59	4.06	193.64
10	0.69	148.24	60	4.13	193.86
11	0.76	150.53	61	4.20	194.06
12	0.83	152.72	62	4.27	194.26
13	0.90	154.82	63	4.34	194.44
14	0.96	156.83	64	4.41	194.62
15	1.03	158.76	65	4.48	194.79
16	1.10	160.59	66	4.55	194.94
17	1.17	162.35	67	4.61	195.10
18	1.24	164.03	68	4.68	195.24
19	1.31	165.64	69	4.75	195.38
20	1.38	167.17	70	4.82	195.51
21	1.45	168.64	71	4.89	195.63
22	1.52	170.04	72	4.96	195.75
23	1.58	171.37	73	5.03	195.86
24	1.65	172.65	74	5.10	195.96
25	1.72	173.86	75	5.17	196.06
26	1.79	175.02	76	5.23	196.16
27	1.86	176.13	77	5.30	196.25
28	1.93	177.19	78	5.37	196.34
29	2.00	178.19	79	5.44	196.42
30	2.07	179.15	80	5.51	196.50
31	2.13	180.07	81	5.58	196.57
32	2.20	180.94	82	5.65	196.64
33	2.27	181.77	83	5.72	196.71
34	2.34	182.56	84	5.79	196.77
35	2.41	183.31	85	5.85	196.83
36	2.48	184.03	86	5.92	196.89
37	2.55	184.72	87	5.99	196.94
38	2.62	185.37	88	6.06	196.99
39	2.69	185.99	89	6.13	197.04
40	2.75	186.58	90	6.20	197.09
41	2.82	187.14	91	6.27	197.13
42	2.89	187.67	92	6.34	197.17
43	2.96	188.18	93	6.40	197.21
44	3.03	188.66	94	6.47	197.25
45	3.10	189.13	95	6.54	197.29
46	3.17	189.56	96	6.61	197.32
47	3.24	189.98	97	6.68	197.35
48	3.31	190.38	98	6.75	197.38
49	3.37	190.75	99	6.82	197.41
50	3.44	191.11	100	6.89	197.44

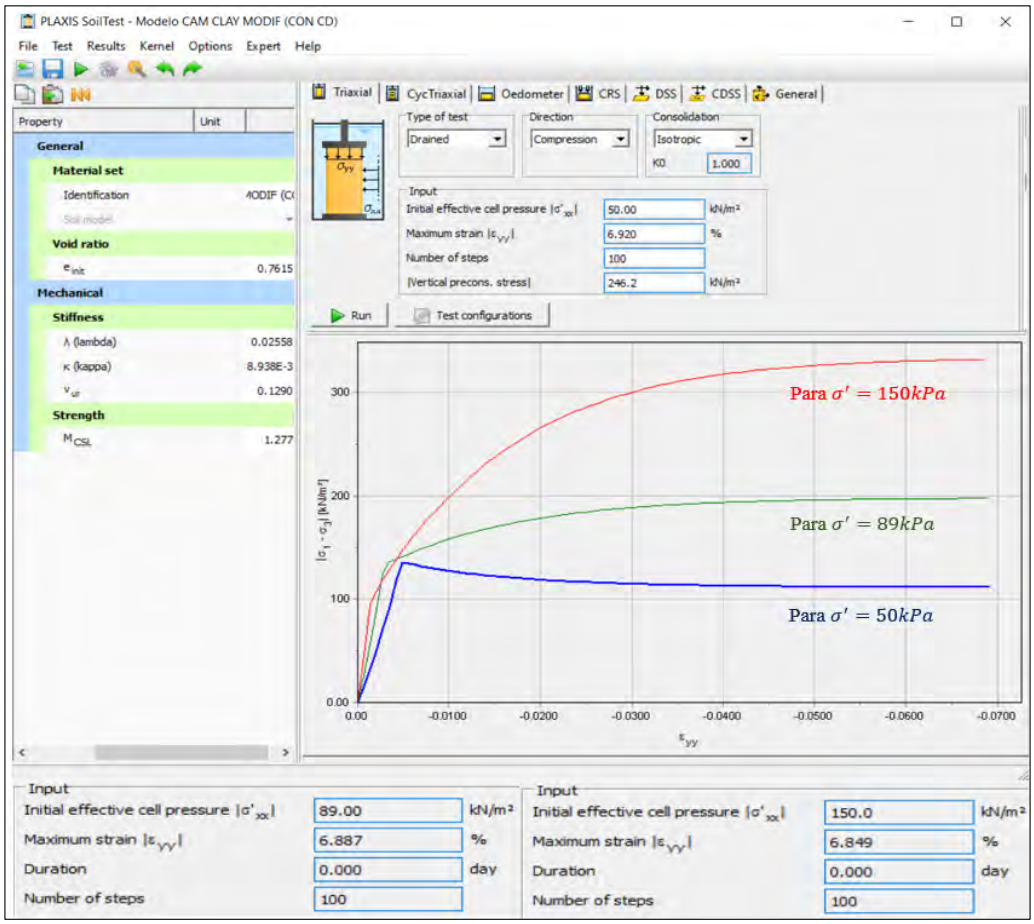
CALIBRACION CURVA M6 (150kPa)

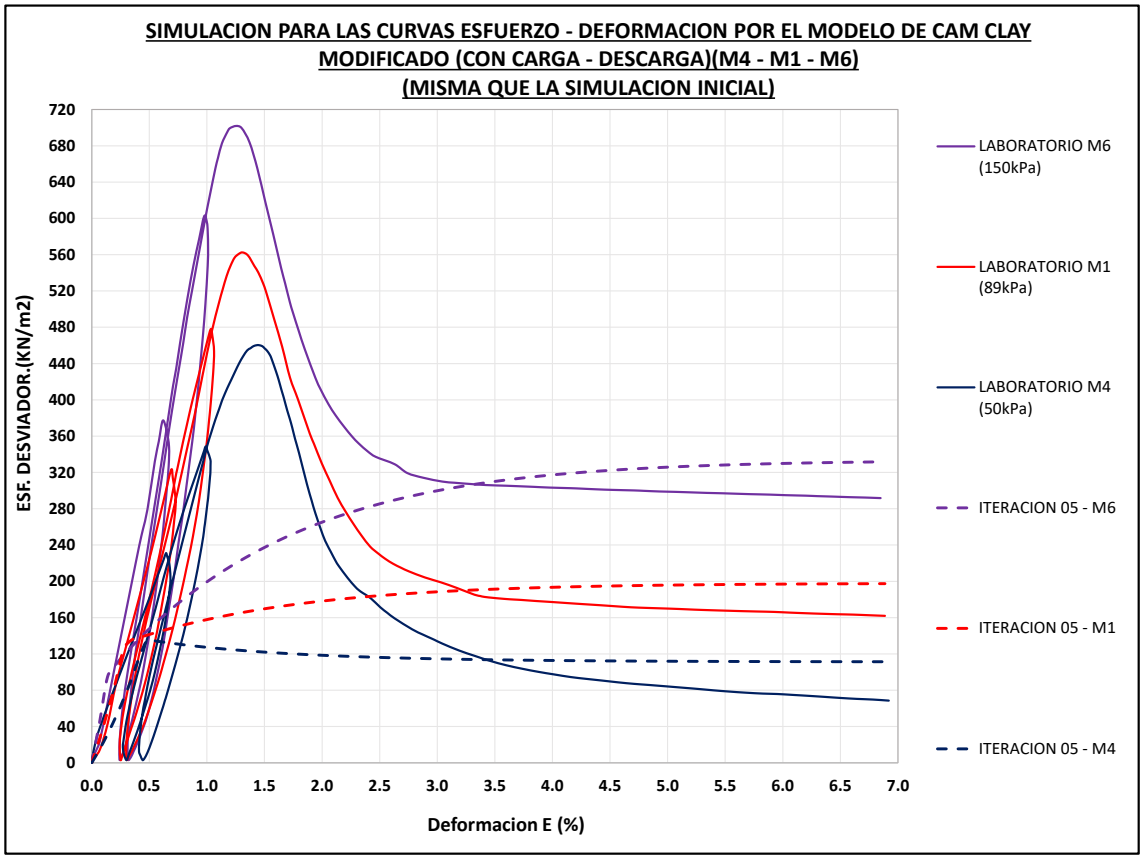
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	45.07	51	3.49	309.97
2	0.14	94.63	52	3.56	311.12
3	0.21	107.78	53	3.63	312.22
4	0.27	117.97	54	3.70	313.26
5	0.34	127.57	55	3.77	314.25
6	0.41	136.66	56	3.84	315.20
7	0.48	145.29	57	3.90	316.10
8	0.55	153.51	58	3.97	316.96
9	0.62	161.35	59	4.04	317.78
10	0.68	168.85	60	4.11	318.55
11	0.75	176.02	61	4.18	319.29
12	0.82	182.89	62	4.25	320.00
13	0.89	189.47	63	4.31	320.67
14	0.96	195.78	64	4.38	321.31
15	1.03	201.83	65	4.45	321.92
16	1.10	207.63	66	4.52	322.49
17	1.16	213.20	67	4.59	323.04
18	1.23	218.54	68	4.66	323.57
19	1.30	223.66	69	4.73	324.06
20	1.37	228.57	70	4.79	324.54
21	1.44	233.28	71	4.86	324.99
22	1.51	237.79	72	4.93	325.41
23	1.58	242.12	73	5.00	325.82
24	1.64	246.27	74	5.07	326.21
25	1.71	250.24	75	5.14	326.57
26	1.78	254.05	76	5.21	326.92
27	1.85	257.69	77	5.27	327.26
28	1.92	261.19	78	5.34	327.57
29	1.99	264.53	79	5.41	327.87
30	2.05	267.73	80	5.48	328.16
31	2.12	270.79	81	5.55	328.43
32	2.19	273.72	82	5.62	328.69
33	2.26	276.52	83	5.68	328.94
34	2.33	279.19	84	5.75	329.17
35	2.40	281.75	85	5.82	329.39
36	2.47	284.19	86	5.89	329.60
37	2.53	286.53	87	5.96	329.80
38	2.60	288.76	88	6.03	329.99
39	2.67	290.89	89	6.10	330.18
40	2.74	292.92	90	6.16	330.35
41	2.81	294.87	91	6.23	330.51
42	2.88	296.72	92	6.30	330.67
43	2.95	298.49	93	6.37	330.82
44	3.01	300.17	94	6.44	330.96
45	3.08	301.78	95	6.51	331.09
46	3.15	303.31	96	6.58	331.22
47	3.22	304.78	97	6.64	331.34
48	3.29	306.17	98	6.71	331.45
49	3.36	307.50	99	6.78	331.56
50	3.42	308.77	100	6.85	331.67

SE VUELVE A USAR LOS DATOS INICIALES COMO LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE CAM CLAY MODFICIADO (CON CARGA - DESCARGA)



CURVAS DE LA QUINTA ITERACION DEL MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO EN LA HERRAMIENTA SOIL TEST (CON CARGA - DESCARGA)




SIMULACION PARA LAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO (CON CARGA - DESCARGA)(M4 - M1 - M6)
(MISMA QUE LA SIMULACION INICIAL)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion E (%)
LABORATORIO M6 (150kPa)
LABORATORIO M1 (89kPa)
LABORATORIO M4 (50kPa)
ITERACION 05 - M6
ITERACION 05 - M1
ITERACION 05 - M4

ANEXO B4

RESULTADOS DE LAS PENDIENTES PARA EL MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PARAMETROS DE COMPRESIBILIDAD PARA EL MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD

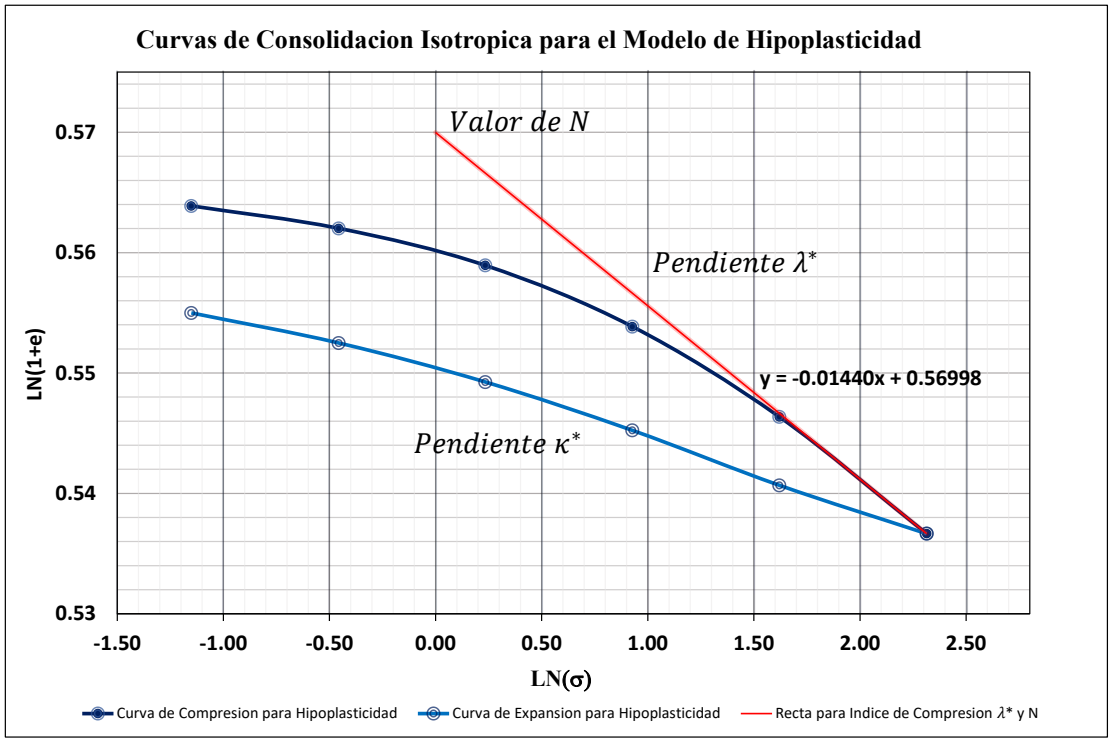
PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

RELACION DE CARGA APLICADA VS RELACION DE VACIOS

Carga Aplicada (P) (kg/cm²)	Relacion de Vacios *e*
0.000	0.762
0.316	0.757
0.634	0.754
1.264	0.749
2.527	0.740
5.053	0.727
10.115	0.710
5.053	0.717
2.527	0.725
1.264	0.732
0.634	0.738
0.316	0.742
0.000	0.751

LN(P)	LN(1+e)
-	0.566
-1.151	0.564
-0.456	0.562
0.234	0.559
0.927	0.554
1.620	0.546
2.314	0.537
1.620	0.541
0.927	0.545
0.234	0.549
-0.456	0.552
-1.151	0.555
-	0.560



Usando la siguiente ecuacion: $ln(1+e) = N - \lambda^* \ln p$ *, para la recta (Linea Roja de la figura), se obtiene:*

Indice de Compresion Hipoplasticidad	$\boldsymbol{\lambda^*}$:	**0.01440**
Indice de Expansion Hipoplasticidad	$\boldsymbol{\kappa^*}$:	**0.005168**
Oigen de la Linea de Consolidacion Normal	$\boldsymbol{N}$:	**0.56998**

ANEXO B5

SIMULACION MEDIANTE EL MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD

(MUESTRAS M3 - M2 - M5)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M3 (MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

ITERACION Nro. 01

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	112.29	51	3.50	58.06
2	0.14	250.06	52	3.57	58.28
3	0.21	388.24	53	3.64	58.51
4	0.27	456.96	54	3.71	58.75
5	0.34	328.85	55	3.78	58.99
6	0.41	234.48	56	3.85	59.24
7	0.48	187.91	57	3.91	59.49
8	0.55	159.50	58	3.98	59.74
9	0.62	139.96	59	4.05	59.99
10	0.69	125.53	60	4.12	60.25
11	0.76	114.38	61	4.19	60.51
12	0.82	105.48	62	4.26	60.77
13	0.89	98.21	63	4.33	61.03
14	0.96	92.17	64	4.40	61.29
15	1.03	87.07	65	4.46	61.55
16	1.10	82.74	66	4.53	61.82
17	1.17	79.02	67	4.60	62.08
18	1.24	75.81	68	4.67	62.34
19	1.30	73.03	69	4.74	62.60
20	1.37	70.61	70	4.81	62.86
21	1.44	68.50	71	4.88	63.12
22	1.51	66.66	72	4.95	63.38
23	1.58	65.06	73	5.01	63.64
24	1.65	63.66	74	5.08	63.89
25	1.72	62.44	75	5.15	64.15
26	1.79	61.38	76	5.22	64.41
27	1.85	60.47	77	5.29	64.66
28	1.92	59.68	78	5.36	64.92
29	1.99	59.00	79	5.43	65.17
30	2.06	58.43	80	5.49	65.42
31	2.13	57.95	81	5.56	65.67
32	2.20	57.55	82	5.63	65.92
33	2.27	57.22	83	5.70	66.16
34	2.34	56.96	84	5.77	66.41
35	2.40	56.76	85	5.84	66.65
36	2.47	56.61	86	5.91	66.90
37	2.54	56.51	87	5.98	67.14
38	2.61	56.45	88	6.04	67.38
39	2.68	56.43	89	6.11	67.62
40	2.75	56.45	90	6.18	67.86
41	2.82	56.49	91	6.25	68.10
42	2.88	56.56	92	6.32	68.33
43	2.95	56.66	93	6.39	68.56
44	3.02	56.78	94	6.46	68.80
45	3.09	56.92	95	6.52	69.03
46	3.16	57.08	96	6.59	69.26
47	3.23	57.25	97	6.66	69.49
48	3.30	57.44	98	6.73	69.72
49	3.37	57.63	99	6.80	69.94
50	3.43	57.84	100	6.87	70.17

ITERACION Nro. 02

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	17.88	51	3.50	114.35
2	0.14	37.66	52	3.57	112.42
3	0.21	59.45	53	3.64	110.59
4	0.27	83.37	54	3.71	108.84
5	0.34	109.50	55	3.78	107.17
6	0.41	137.91	56	3.85	105.57
7	0.48	168.64	57	3.91	104.04
8	0.55	201.67	58	3.98	102.58
9	0.62	236.91	59	4.05	101.18
10	0.69	274.20	60	4.12	99.84
11	0.76	313.26	61	4.19	98.55
12	0.82	353.64	62	4.26	97.32
13	0.89	394.65	63	4.33	96.14
14	0.96	435.28	64	4.40	95.00
15	1.03	473.88	65	4.46	93.91
16	1.10	507.77	66	4.53	92.86
17	1.17	531.88	67	4.60	91.85
18	1.24	534.56	68	4.67	90.88
19	1.30	487.70	69	4.74	89.95
20	1.37	413.93	70	4.81	89.06
21	1.44	361.61	71	4.88	88.19
22	1.51	324.89	72	4.95	87.36
23	1.58	297.21	73	5.01	86.56
24	1.65	275.28	74	5.08	85.79
25	1.72	257.29	75	5.15	85.05
26	1.79	242.13	76	5.22	84.33
27	1.85	229.14	77	5.29	83.65
28	1.92	217.83	78	5.36	82.98
29	1.99	207.86	79	5.43	82.34
30	2.06	198.99	80	5.49	81.73
31	2.13	191.03	81	5.56	81.14
32	2.20	183.83	82	5.63	80.57
33	2.27	177.30	83	5.70	80.01
34	2.34	171.32	84	5.77	79.48
35	2.40	165.83	85	5.84	78.97
36	2.47	160.77	86	5.91	78.48
37	2.54	156.08	87	5.98	78.01
38	2.61	151.73	88	6.04	77.55
39	2.68	147.68	89	6.11	77.11
40	2.75	143.90	90	6.18	76.69
41	2.82	140.36	91	6.25	76.28
42	2.88	137.04	92	6.32	75.89
43	2.95	133.91	93	6.39	75.51
44	3.02	130.97	94	6.46	75.15
45	3.09	128.19	95	6.52	74.80
46	3.16	125.57	96	6.59	74.46
47	3.23	123.08	97	6.66	74.14
48	3.30	120.73	98	6.73	73.83
49	3.37	118.49	99	6.80	73.53
50	3.43	116.37	100	6.87	73.25

ITERACION Nro. 03

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	15.40	51	3.50	111.09
2	0.14	31.83	52	3.57	109.25
3	0.21	49.27	53	3.64	107.50
4	0.27	67.67	54	3.71	105.83
5	0.34	87.01	55	3.78	104.25
6	0.41	107.22	56	3.85	102.74
7	0.48	128.26	57	3.91	101.30
8	0.55	150.05	58	3.98	99.93
9	0.62	172.49	59	4.05	98.62
10	0.69	195.48	60	4.12	97.36
11	0.76	218.90	61	4.19	96.17
12	0.82	242.60	62	4.26	95.02
13	0.89	266.39	63	4.33	93.92
14	0.96	290.04	64	4.40	92.87
15	1.03	313.26	65	4.46	91.86
16	1.10	335.68	66	4.53	90.90
17	1.17	356.78	67	4.60	89.97
18	1.24	375.83	68	4.67	89.08
19	1.30	391.69	69	4.74	88.23
20	1.37	402.47	70	4.81	87.41
21	1.44	404.35	71	4.88	86.63
22	1.51	388.10	72	4.95	85.87
23	1.58	344.82	73	5.01	85.15
24	1.65	304.14	74	5.08	84.45
25	1.72	275.08	75	5.15	83.79
26	1.79	253.21	76	5.22	83.14
27	1.85	235.85	77	5.29	82.53
28	1.92	221.59	78	5.36	81.93
29	1.99	209.55	79	5.43	81.36
30	2.06	199.18	80	5.49	80.82
31	2.13	190.13	81	5.56	80.29
32	2.20	182.12	82	5.63	79.78
33	2.27	174.98	83	5.70	79.30
34	2.34	168.55	84	5.77	78.83
35	2.40	162.73	85	5.84	78.38
36	2.47	157.42	86	5.91	77.95
37	2.54	152.56	87	5.98	77.54
38	2.61	148.09	88	6.04	77.14
39	2.68	143.96	89	6.11	76.76
40	2.75	140.13	90	6.18	76.40
41	2.82	136.57	91	6.25	76.04
42	2.88	133.25	92	6.32	75.71
43	2.95	130.14	93	6.39	75.39
44	3.02	127.24	94	6.46	75.08
45	3.09	124.51	95	6.52	74.78
46	3.16	121.94	96	6.59	74.50
47	3.23	119.52	97	6.66	74.22
48	3.30	117.23	98	6.73	73.97
49	3.37	115.07	99	6.80	73.72
50	3.43	113.03	100	6.87	73.48

ITERACION Nro. 04

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.41	71	4.88	87.35
2	0.14	55.28	72	4.95	86.65
3	0.21	86.43	73	5.01	85.97
4	0.27	119.64	74	5.08	85.32
5	0.34	154.64	75	5.15	84.69
6	0.41	191.11	76	5.22	84.08
7	0.48	228.64	77	5.29	83.50
8	0.55	266.69	78	5.36	82.93
9	0.62	304.56	79	5.43	82.39
10	0.69	341.27	80	5.49	81.86
11	0.76	375.43	81	5.56	81.35
12	0.82	404.87	82	5.63	80.86
13	0.89	425.97	83	5.70	80.39
14	0.96	431.91	84	5.77	79.93
15	1.03	411.59	85	5.84	79.49
16	1.10	370.04	86	5.91	79.06
17	1.17	331.61	87	5.98	78.65
18	1.24	301.86	88	6.04	78.26
19	1.30	278.60	89	6.11	77.87
20	1.37	259.82	90	6.18	77.51
21	1.44	244.23	91	6.25	77.15
22	1.51	231.00	92	6.32	76.81
23	1.58	219.58	93	6.39	76.48
24	1.65	209.58	94	6.46	76.16
25	1.72	200.73	95	6.52	75.85
26	1.79	192.82	96	6.59	75.56
27	1.85	185.69	97	6.66	75.28
28	1.92	179.23	98	6.73	75.00
29	1.99	173.33	99	6.80	74.74
30	2.06	167.92	100	6.87	74.49
31	2.13	162.94			
32	2.20	158.34			
33	2.27	154.07			
34	2.34	150.08			
35	2.40	146.37			
36	2.47	142.89			
37	2.54	139.63			
38	2.61	136.56			
39	2.68	133.66			
40	2.75	130.93			
41	2.82	128.35			
42	2.88	125.90			
43	2.95	123.59			
44	3.02	121.38			
45	3.09	119.29			
46	3.16	117.29			
47	3.23	115.39			
48	3.30	113.58			
49	3.37	111.85			
50	3.43	110.19			
51	3.50	108.61			
52	3.57	107.09			
53	3.64	105.64			
54	3.71	104.25			
55	3.78	102.92			
56	3.85	101.64			
57	3.91	100.41			
58	3.98	99.22			
59	4.05	98.09			
60	4.12	97.00			
61	4.19	95.95			
62	4.26	94.93			
63	4.33	93.96			
64	4.40	93.02			
65	4.46	92.12			
66	4.53	91.25			
67	4.60	90.41			
68	4.67	89.60			
69	4.74	88.82			
70	4.81	88.07			

ITERACION Nro. 05

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	30.26	71	4.88	78.78
2	0.14	63.82	72	4.95	78.24
3	0.21	100.47	73	5.01	77.73
4	0.27	139.88	74	5.08	77.23
5	0.34	181.57	75	5.15	76.76
6	0.41	224.89	76	5.22	76.31
7	0.48	268.89	77	5.29	75.87
8	0.55	312.24	78	5.36	75.45
9	0.62	352.90	79	5.43	75.05
10	0.69	387.66	80	5.49	74.67
11	0.76	410.86	81	5.56	74.30
12	0.82	412.00	82	5.63	73.95
13	0.89	381.07	83	5.70	73.61
14	0.96	338.22	84	5.77	73.29
15	1.03	302.98	85	5.84	72.98
16	1.10	275.99	86	5.91	72.68
17	1.17	254.76	87	5.98	72.40
18	1.24	237.54	88	6.04	72.13
19	1.30	223.17	89	6.11	71.87
20	1.37	210.96	90	6.18	71.63
21	1.44	200.40	91	6.25	71.40
22	1.51	191.15	92	6.32	71.17
23	1.58	182.96	93	6.39	70.96
24	1.65	175.63	94	6.46	70.76
25	1.72	169.03	95	6.52	70.57
26	1.79	163.05	96	6.59	70.40
27	1.85	157.60	97	6.66	70.23
28	1.92	152.60	98	6.73	70.06
29	1.99	148.00	99	6.80	69.91
30	2.06	143.75	100	6.87	69.77
31	2.13	139.82			
32	2.20	136.15			
33	2.27	132.74			
34	2.34	129.54			
35	2.40	126.55			
36	2.47	123.74			
37	2.54	121.09			
38	2.61	118.60			
39	2.68	116.24			
40	2.75	114.02			
41	2.82	111.91			
42	2.88	109.91			
43	2.95	108.02			
44	3.02	106.21			
45	3.09	104.50			
46	3.16	102.87			
47	3.23	101.31			
48	3.30	99.83			
49	3.37	98.42			
50	3.43	97.06			
51	3.50	95.77			
52	3.57	94.54			
53	3.64	93.36			
54	3.71	92.23			
55	3.78	91.14			
56	3.85	90.11			
57	3.91	89.11			
58	3.98	88.16			
59	4.05	87.25			
60	4.12	86.37			
61	4.19	85.53			
62	4.26	84.73			
63	4.33	83.95			
64	4.40	83.21			
65	4.46	82.50			
66	4.53	81.81			
67	4.60	81.16			
68	4.67	80.52			
69	4.74	79.92			
70	4.81	79.34			

ITERACION Nro. 06

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	41.95	71	4.88	76.76
2	0.14	89.35	72	4.95	76.22
3	0.21	141.70	73	5.01	75.69
4	0.27	198.21	74	5.08	75.20
5	0.34	257.82	75	5.15	74.72
6	0.41	318.94	76	5.22	74.26
7	0.48	379.16	77	5.29	73.82
8	0.55	434.57	78	5.36	73.40
9	0.62	478.08	79	5.43	72.99
10	0.69	494.29	80	5.49	72.61
11	0.76	456.04	81	5.56	72.24
12	0.82	392.16	82	5.63	71.89
13	0.89	343.41	83	5.70	71.55
14	0.96	308.21	84	5.77	71.22
15	1.03	281.51	85	5.84	70.92
16	1.10	260.34	86	5.91	70.62
17	1.17	242.97	87	5.98	70.34
18	1.24	228.38	88	6.04	70.08
19	1.30	215.89	89	6.11	69.82
20	1.37	205.02	90	6.18	69.58
21	1.44	195.46	91	6.25	69.35
22	1.51	186.95	92	6.32	69.13
23	1.58	179.33	93	6.39	68.93
24	1.65	172.46	94	6.46	68.73
25	1.72	166.21	95	6.52	68.55
26	1.79	160.50	96	6.59	68.37
27	1.85	155.26	97	6.66	68.21
28	1.92	150.43	98	6.73	68.05
29	1.99	145.97	99	6.80	67.91
30	2.06	141.82	100	6.87	67.77
31	2.13	137.97			
32	2.20	134.37			
33	2.27	131.00			
34	2.34	127.84			
35	2.40	124.87			
36	2.47	122.08			
37	2.54	119.44			
38	2.61	116.96			
39	2.68	114.60			
40	2.75	112.38			
41	2.82	110.26			
42	2.88	108.26			
43	2.95	106.35			
44	3.02	104.54			
45	3.09	102.81			
46	3.16	101.16			
47	3.23	99.59			
48	3.30	98.10			
49	3.37	96.67			
50	3.43	95.30			
51	3.50	93.99			
52	3.57	92.74			
53	3.64	91.54			
54	3.71	90.40			
55	3.78	89.30			
56	3.85	88.25			
57	3.91	87.24			
58	3.98	86.28			
59	4.05	85.35			
60	4.12	84.46			
61	4.19	83.61			
62	4.26	82.79			
63	4.33	82.00			
64	4.40	81.25			
65	4.46	80.53			
66	4.53	79.83			
67	4.60	79.17			
68	4.67	78.53			
69	4.74	77.91			
70	4.81	77.32			

ITERACION Nro. 07

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	42.18	71	4.88	76.94
2	0.14	88.20	72	4.95	76.42
3	0.21	137.25	73	5.01	75.92
4	0.27	188.39	74	5.08	75.44
5	0.34	240.57	75	5.15	74.98
6	0.41	292.49	76	5.22	74.54
7	0.48	342.46	77	5.29	74.12
8	0.55	387.95	78	5.36	73.71
9	0.62	424.84	79	5.43	73.32
10	0.69	445.12	80	5.49	72.95
11	0.76	431.87	81	5.56	72.60
12	0.82	381.80	82	5.63	72.26
13	0.89	334.61	83	5.70	71.94
14	0.96	299.88	84	5.77	71.63
15	1.03	273.70	85	5.84	71.33
16	1.10	253.09	86	5.91	71.05
17	1.17	236.29	87	5.98	70.78
18	1.24	222.22	88	6.04	70.52
19	1.30	210.20	89	6.11	70.28
20	1.37	199.78	90	6.18	70.05
21	1.44	190.61	91	6.25	69.83
22	1.51	182.47	92	6.32	69.62
23	1.58	175.18	93	6.39	69.42
24	1.65	168.60	94	6.46	69.24
25	1.72	162.62	95	6.52	69.06
26	1.79	157.17	96	6.59	68.89
27	1.85	152.16	97	6.66	68.74
28	1.92	147.54	98	6.73	68.59
29	1.99	143.27	99	6.80	68.45
30	2.06	139.31	100	6.87	68.32
31	2.13	135.62			
32	2.20	132.18			
33	2.27	128.95			
34	2.34	125.93			
35	2.40	123.09			
36	2.47	120.42			
37	2.54	117.89			
38	2.61	115.51			
39	2.68	113.26			
40	2.75	111.12			
41	2.82	109.10			
42	2.88	107.17			
43	2.95	105.34			
44	3.02	103.60			
45	3.09	101.95			
46	3.16	100.37			
47	3.23	98.86			
48	3.30	97.43			
49	3.37	96.05			
50	3.43	94.74			
51	3.50	93.49			
52	3.57	92.29			
53	3.64	91.14			
54	3.71	90.04			
55	3.78	88.99			
56	3.85	87.98			
57	3.91	87.01			
58	3.98	86.08			
59	4.05	85.19			
60	4.12	84.33			
61	4.19	83.52			
62	4.26	82.73			
63	4.33	81.98			
64	4.40	81.25			
65	4.46	80.56			
66	4.53	79.89			
67	4.60	79.25			
68	4.67	78.64			
69	4.74	78.05			
70	4.81	77.48			

ITERACION Nro. 08

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	40.90	71	4.88	71.51
2	0.14	83.65	72	4.95	71.16
3	0.21	127.32	73	5.01	70.83
4	0.27	170.95	74	5.08	70.52
5	0.34	213.61	75	5.15	70.23
6	0.41	254.26	76	5.22	69.95
7	0.48	291.59	77	5.29	69.68
8	0.55	323.75	78	5.36	69.43
9	0.62	347.77	79	5.43	69.20
10	0.69	358.11	80	5.49	68.98
11	0.76	344.91	81	5.56	68.77
12	0.82	309.38	82	5.63	68.58
13	0.89	275.06	83	5.70	68.40
14	0.96	248.75	84	5.77	68.23
15	1.03	228.44	85	5.84	68.07
16	1.10	212.21	86	5.91	67.92
17	1.17	198.86	87	5.98	67.79
18	1.24	187.61	88	6.04	67.66
19	1.30	177.96	89	6.11	67.55
20	1.37	169.55	90	6.18	67.44
21	1.44	162.14	91	6.25	67.35
22	1.51	155.55	92	6.32	67.26
23	1.58	149.63	93	6.39	67.18
24	1.65	144.28	94	6.46	67.12
25	1.72	139.42	95	6.52	67.06
26	1.79	134.98	96	6.59	67.00
27	1.85	130.90	97	6.66	66.96
28	1.92	127.14	98	6.73	66.92
29	1.99	123.67	99	6.80	66.89
30	2.06	120.44	100	6.87	66.87
31	2.13	117.44			
32	2.20	114.64			
33	2.27	112.03			
34	2.34	109.58			
35	2.40	107.28			
36	2.47	105.12			
37	2.54	103.08			
38	2.61	101.16			
39	2.68	99.35			
40	2.75	97.63			
41	2.82	96.01			
42	2.88	94.47			
43	2.95	93.02			
44	3.02	91.64			
45	3.09	90.32			
46	3.16	89.08			
47	3.23	87.89			
48	3.30	86.76			
49	3.37	85.69			
50	3.43	84.67			
51	3.50	83.70			
52	3.57	82.77			
53	3.64	81.89			
54	3.71	81.05			
55	3.78	80.24			
56	3.85	79.48			
57	3.91	78.75			
58	3.98	78.05			
59	4.05	77.39			
60	4.12	76.76			
61	4.19	76.16			
62	4.26	75.58			
63	4.33	75.04			
64	4.40	74.52			
65	4.46	74.02			
66	4.53	73.55			
67	4.60	73.10			
68	4.67	72.67			
69	4.74	72.27			
70	4.81	71.88			

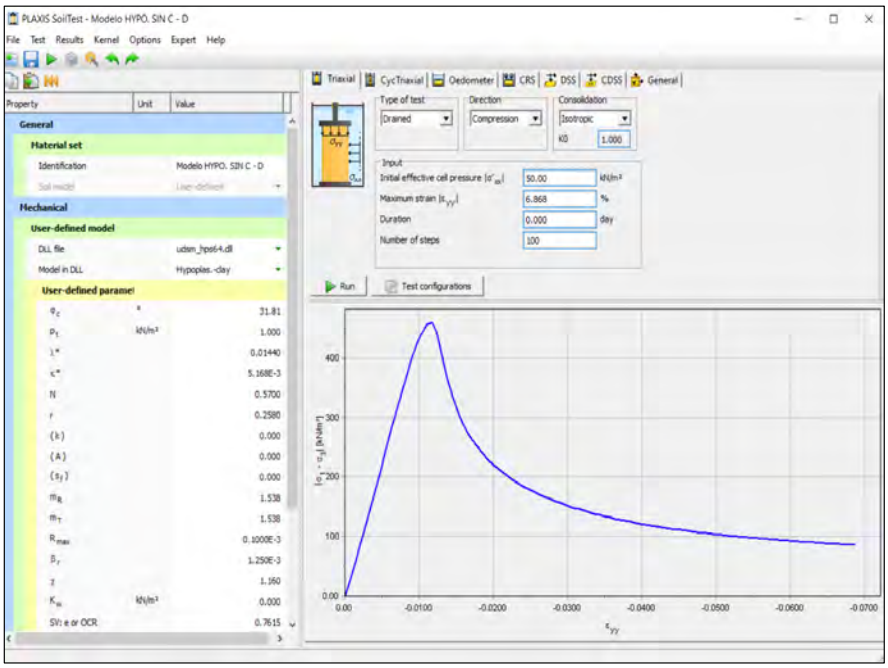
ITERACION Nro. 09

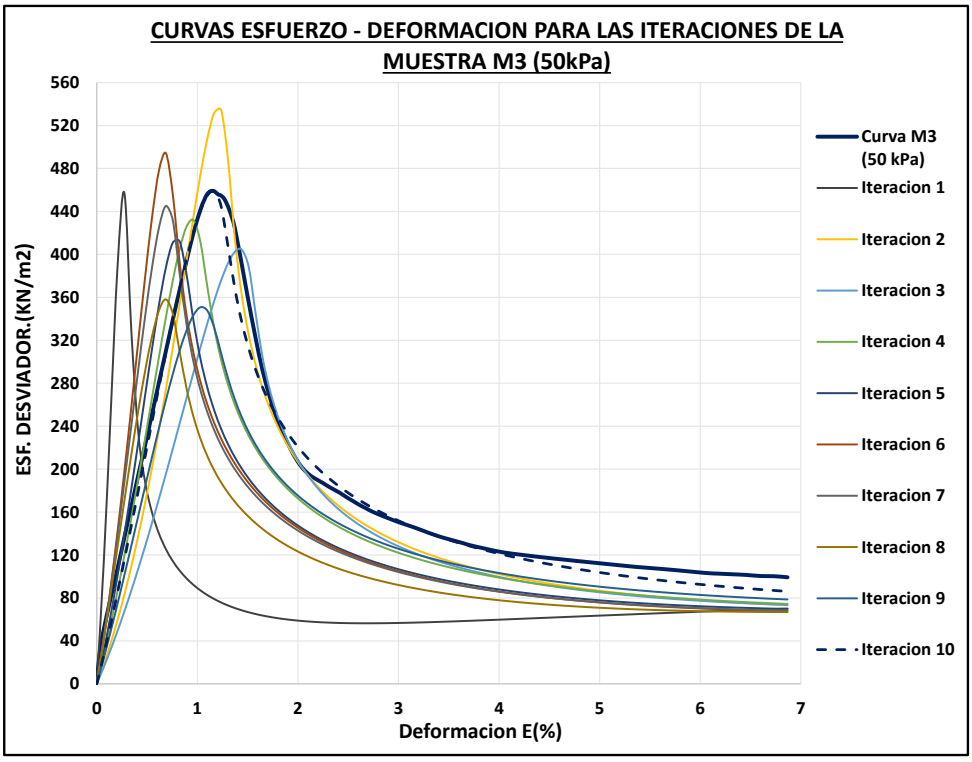
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	23.65	71	4.88	91.78
2	0.14	48.59	72	4.95	91.08
3	0.21	74.57	73	5.01	90.41
4	0.27	101.36	74	5.08	89.76
5	0.34	128.70	75	5.15	89.12
6	0.41	156.35	76	5.22	88.52
7	0.48	184.03	77	5.29	87.93
8	0.55	211.46	78	5.36	87.36
9	0.62	238.30	79	5.43	86.80
10	0.69	264.12	80	5.49	86.27
11	0.76	288.40	81	5.56	85.75
12	0.82	310.46	82	5.63	85.26
13	0.89	329.29	83	5.70	84.77
14	0.96	343.46	84	5.77	84.31
15	1.03	350.70	85	5.84	83.85
16	1.10	347.65	86	5.91	83.42
17	1.17	331.74	87	5.98	82.99
18	1.24	307.89	88	6.04	82.59
19	1.30	284.55	89	6.11	82.19
20	1.37	264.75	90	6.18	81.81
21	1.44	248.29	91	6.25	81.44
22	1.51	234.46	92	6.32	81.08
23	1.58	222.65	93	6.39	80.73
24	1.65	212.41	94	6.46	80.40
25	1.72	203.43	95	6.52	80.08
26	1.79	195.45	96	6.59	79.76
27	1.85	188.32	97	6.66	79.46
28	1.92	181.88	98	6.73	79.17
29	1.99	176.03	99	6.80	78.89
30	2.06	170.68	100	6.87	78.62
31	2.13	165.77			
32	2.20	161.24			
33	2.27	157.05			
34	2.34	153.15			
35	2.40	149.51			
36	2.47	146.11			
37	2.54	142.93			
38	2.61	139.93			
39	2.68	137.11			
40	2.75	134.45			
41	2.82	131.94			
42	2.88	129.55			
43	2.95	127.29			
44	3.02	125.15			
45	3.09	123.11			
46	3.16	121.17			
47	3.23	119.31			
48	3.30	117.54			
49	3.37	115.86			
50	3.43	114.24			
51	3.50	112.70			
52	3.57	111.22			
53	3.64	109.80			
54	3.71	108.44			
55	3.78	107.13			
56	3.85	105.88			
57	3.91	104.67			
58	3.98	103.51			
59	4.05	102.40			
60	4.12	101.32			
61	4.19	100.29			
62	4.26	99.30			
63	4.33	98.34			
64	4.40	97.41			
65	4.46	96.52			
66	4.53	95.66			
67	4.60	94.83			
68	4.67	94.02			
69	4.74	93.25			
70	4.81	92.50			

ITERACION Nro. 10

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.82	71	4.88	105.50
2	0.14	55.27	72	4.95	104.52
3	0.21	85.04	73	5.01	103.57
4	0.27	115.85	74	5.08	102.65
5	0.34	147.43	75	5.15	101.75
6	0.41	179.54	76	5.22	100.89
7	0.48	211.93	77	5.29	100.05
8	0.55	244.35	78	5.36	99.23
9	0.62	276.51	79	5.43	98.44
10	0.69	308.12	80	5.49	97.67
11	0.76	338.81	81	5.56	96.93
12	0.82	368.13	82	5.63	96.20
13	0.89	395.47	83	5.70	95.50
14	0.96	420.02	84	5.77	94.82
15	1.03	440.50	85	5.84	94.15
16	1.10	454.84	86	5.91	93.51
17	1.17	459.01	87	5.98	92.88
18	1.24	444.76	88	6.04	92.27
19	1.30	407.31	89	6.11	91.67
20	1.37	367.87	90	6.18	91.10
21	1.44	336.66	91	6.25	90.54
22	1.51	312.28	92	6.32	89.99
23	1.58	292.59	93	6.39	89.46
24	1.65	276.22	94	6.46	88.94
25	1.72	262.28	95	6.52	88.44
26	1.79	250.21	96	6.59	87.95
27	1.85	239.60	97	6.66	87.48
28	1.92	230.16	98	6.73	87.02
29	1.99	221.70	99	6.80	86.57
30	2.06	214.05	100	6.87	86.13
31	2.13	207.08			
32	2.20	200.70			
33	2.27	194.83			
34	2.34	189.39			
35	2.40	184.35			
36	2.47	179.66			
37	2.54	175.27			
38	2.61	171.17			
39	2.68	167.31			
40	2.75	163.67			
41	2.82	160.25			
42	2.88	157.00			
43	2.95	153.93			
44	3.02	151.02			
45	3.09	148.25			
46	3.16	145.62			
47	3.23	143.11			
48	3.30	140.71			
49	3.37	138.43			
50	3.43	136.24			
51	3.50	134.14			
52	3.57	132.14			
53	3.64	130.21			
54	3.71	128.37			
55	3.78	126.59			
56	3.85	124.89			
57	3.91	123.25			
58	3.98	121.67			
59	4.05	120.15			
60	4.12	118.68			
61	4.19	117.26			
62	4.26	115.90			
63	4.33	114.58			
64	4.40	113.31			
65	4.46	112.08			
66	4.53	110.89			
67	4.60	109.74			
68	4.67	108.63			
69	4.74	107.55			
70	4.81	106.51			

LA ITERACION Nro. 10 ES LA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M3





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M2 (MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

ITERACION Nro. 01

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	66.35	51	3.52	100.44
2	0.14	127.99	52	3.59	100.54
3	0.21	182.87	53	3.66	100.66
4	0.28	230.47	54	3.72	100.82
5	0.34	270.84	55	3.79	101.00
6	0.41	304.16	56	3.86	101.21
7	0.48	330.33	57	3.93	101.45
8	0.55	348.71	58	4.00	101.70
9	0.62	357.27	59	4.07	101.98
10	0.69	350.07	60	4.14	102.27
11	0.76	313.27	61	4.21	102.57
12	0.83	270.68	62	4.28	102.90
13	0.90	240.93	63	4.35	103.23
14	0.97	219.04	64	4.41	103.58
15	1.03	202.05	65	4.48	103.93
16	1.10	188.33	66	4.55	104.30
17	1.17	176.98	67	4.62	104.68
18	1.24	167.40	68	4.69	105.06
19	1.31	159.22	69	4.76	105.45
20	1.38	152.15	70	4.83	105.85
21	1.45	145.98	71	4.90	106.25
22	1.52	140.58	72	4.97	106.66
23	1.59	135.81	73	5.03	107.08
24	1.66	131.58	74	5.10	107.49
25	1.72	127.83	75	5.17	107.91
26	1.79	124.49	76	5.24	108.33
27	1.86	121.51	77	5.31	108.76
28	1.93	118.85	78	5.38	109.19
29	2.00	116.47	79	5.45	109.62
30	2.07	114.34	80	5.52	110.05
31	2.14	112.44	81	5.59	110.48
32	2.21	110.74	82	5.66	110.91
33	2.28	109.23	83	5.72	111.34
34	2.34	107.89	84	5.79	111.78
35	2.41	106.69	85	5.86	112.21
36	2.48	105.64	86	5.93	112.64
37	2.55	104.71	87	6.00	113.08
38	2.62	103.90	88	6.07	113.51
39	2.69	103.19	89	6.14	113.94
40	2.76	102.58	90	6.21	114.37
41	2.83	102.06	91	6.28	114.80
42	2.90	101.63	92	6.35	115.23
43	2.97	101.26	93	6.41	115.66
44	3.03	100.97	94	6.48	116.09
45	3.10	100.74	95	6.55	116.51
46	3.17	100.57	96	6.62	116.94
47	3.24	100.45	97	6.69	117.36
48	3.31	100.39	98	6.76	117.78
49	3.38	100.36	99	6.83	118.20
50	3.45	100.38	100	6.90	118.62

ITERACION Nro. 02

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	50.21	51	3.52	99.29
2	0.14	101.69	52	3.59	99.55
3	0.21	152.72	53	3.66	99.84
4	0.28	201.76	54	3.72	100.14
5	0.34	247.56	55	3.79	100.47
6	0.41	289.20	56	3.86	100.82
7	0.48	325.89	57	3.93	101.18
8	0.55	356.77	58	4.00	101.55
9	0.62	380.46	59	4.07	101.94
10	0.69	393.98	60	4.14	102.34
11	0.76	387.08	61	4.21	102.75
12	0.83	304.13	62	4.28	103.16
13	0.90	254.69	63	4.35	103.59
14	0.97	224.78	64	4.41	104.02
15	1.03	203.40	65	4.48	104.45
16	1.10	186.99	66	4.55	104.89
17	1.17	173.87	67	4.62	105.34
18	1.24	163.10	68	4.69	105.78
19	1.31	154.09	69	4.76	106.23
20	1.38	146.45	70	4.83	106.69
21	1.45	139.91	71	4.90	107.14
22	1.52	134.26	72	4.97	107.59
23	1.59	129.36	73	5.03	108.05
24	1.66	125.09	74	5.10	108.51
25	1.72	121.35	75	5.17	108.96
26	1.79	118.07	76	5.24	109.42
27	1.86	115.20	77	5.31	109.88
28	1.93	112.68	78	5.38	110.33
29	2.00	110.47	79	5.45	110.79
30	2.07	108.53	80	5.52	111.24
31	2.14	106.83	81	5.59	111.70
32	2.21	105.36	82	5.66	112.15
33	2.28	104.08	83	5.72	112.60
34	2.34	102.97	84	5.79	113.05
35	2.41	102.02	85	5.86	113.49
36	2.48	101.21	86	5.93	113.94
37	2.55	100.53	87	6.00	114.38
38	2.62	99.96	88	6.07	114.82
39	2.69	99.50	89	6.14	115.27
40	2.76	99.14	90	6.21	115.70
41	2.83	98.86	91	6.28	116.14
42	2.90	98.65	92	6.35	116.57
43	2.97	98.52	93	6.41	117.01
44	3.03	98.45	94	6.48	117.44
45	3.10	98.44	95	6.55	117.87
46	3.17	98.48	96	6.62	118.29
47	3.24	98.56	97	6.69	118.72
48	3.31	98.69	98	6.76	119.14
49	3.38	98.85	99	6.83	119.56
50	3.45	99.06	100	6.90	119.98

ITERACION Nro. 03

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	22.78	51	3.52	153.37
2	0.14	47.14	52	3.59	151.34
3	0.21	73.03	53	3.66	149.41
4	0.28	100.38	54	3.72	147.59
5	0.34	129.13	55	3.79	145.86
6	0.41	159.15	56	3.86	144.21
7	0.48	190.27	57	3.93	142.65
8	0.55	222.30	58	4.00	141.17
9	0.62	254.98	59	4.07	139.77
10	0.69	287.96	60	4.14	138.43
11	0.76	320.85	61	4.21	137.16
12	0.83	353.10	62	4.28	135.95
13	0.90	384.03	63	4.35	134.81
14	0.97	412.73	64	4.41	133.72
15	1.03	437.97	65	4.48	132.68
16	1.10	458.06	66	4.55	131.70
17	1.17	470.61	67	4.62	130.76
18	1.24	472.52	68	4.69	129.88
19	1.31	460.85	69	4.76	129.03
20	1.38	436.33	70	4.83	128.23
21	1.45	405.98	71	4.90	127.47
22	1.52	376.69	72	4.97	126.75
23	1.59	351.10	73	5.03	126.07
24	1.66	329.25	74	5.10	125.42
25	1.72	310.55	75	5.17	124.80
26	1.79	294.41	76	5.24	124.22
27	1.86	280.33	77	5.31	123.67
28	1.93	267.95	78	5.38	123.16
29	2.00	256.95	79	5.45	122.67
30	2.07	247.10	80	5.52	122.20
31	2.14	238.24	81	5.59	121.77
32	2.21	230.21	82	5.66	121.36
33	2.28	222.89	83	5.72	120.98
34	2.34	216.21	84	5.79	120.62
35	2.41	210.06	85	5.86	120.28
36	2.48	204.40	86	5.93	119.96
37	2.55	199.17	87	6.00	119.67
38	2.62	194.32	88	6.07	119.40
39	2.69	189.80	89	6.14	119.14
40	2.76	185.60	90	6.21	118.91
41	2.83	181.67	91	6.28	118.69
42	2.90	178.00	92	6.35	118.49
43	2.97	174.56	93	6.41	118.31
44	3.03	171.33	94	6.48	118.15
45	3.10	168.29	95	6.55	118.00
46	3.17	165.43	96	6.62	117.87
47	3.24	162.73	97	6.69	117.75
48	3.31	160.19	98	6.76	117.64
49	3.38	157.79	99	6.83	117.55
50	3.45	155.52	100	6.90	117.48

ITERACION Nro. 04

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	29.68	71	4.90	119.81
2	0.14	61.81	72	4.97	119.23
3	0.21	96.28	73	5.03	118.69
4	0.28	132.95	74	5.10	118.18
5	0.34	171.63	75	5.17	117.71
6	0.41	212.03	76	5.24	117.26
7	0.48	253.81	77	5.31	116.85
8	0.55	296.49	78	5.38	116.46
9	0.62	339.50	79	5.45	116.10
10	0.69	382.05	80	5.52	115.76
11	0.76	423.12	81	5.59	115.45
12	0.83	461.29	82	5.66	115.17
13	0.90	494.52	83	5.72	114.90
14	0.97	519.73	84	5.79	114.66
15	1.03	531.98	85	5.86	114.44
16	1.10	523.71	86	5.93	114.24
17	1.17	489.66	87	6.00	114.06
18	1.24	443.16	88	6.07	113.90
19	1.31	401.46	89	6.14	113.76
20	1.38	367.90	90	6.21	113.63
21	1.45	340.83	91	6.28	113.53
22	1.52	318.54	92	6.35	113.43
23	1.59	299.80	93	6.41	113.36
24	1.66	283.77	94	6.48	113.30
25	1.72	269.86	95	6.55	113.25
26	1.79	257.66	96	6.62	113.22
27	1.86	246.84	97	6.69	113.20
28	1.93	237.17	98	6.76	113.20
29	2.00	228.47	99	6.83	113.21
30	2.07	220.59	100	6.90	113.23
31	2.14	213.42			
32	2.21	206.86			
33	2.28	200.84			
34	2.34	195.30			
35	2.41	190.17			
36	2.48	185.42			
37	2.55	181.01			
38	2.62	176.90			
39	2.69	173.07			
40	2.76	169.48			
41	2.83	166.12			
42	2.90	162.97			
43	2.97	160.01			
44	3.03	157.23			
45	3.10	154.61			
46	3.17	152.15			
47	3.24	149.82			
48	3.31	147.62			
49	3.38	145.55			
50	3.45	143.59			
51	3.52	141.73			
52	3.59	139.97			
53	3.66	138.31			
54	3.72	136.74			
55	3.79	135.25			
56	3.86	133.84			
57	3.93	132.51			
58	4.00	131.24			
59	4.07	130.04			
60	4.14	128.91			
61	4.21	127.83			
62	4.28	126.81			
63	4.35	125.85			
64	4.41	124.93			
65	4.48	124.07			
66	4.55	123.25			
67	4.62	122.48			
68	4.69	121.75			
69	4.76	121.07			
70	4.83	120.42			

ITERACION Nro. 05

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	21.45	71	4.90	149.70
2	0.14	43.88	72	4.97	148.47
3	0.21	67.23	73	5.03	147.28
4	0.28	91.40	74	5.10	146.14
5	0.34	116.33	75	5.17	145.05
6	0.41	141.92	76	5.24	144.00
7	0.48	168.09	77	5.31	143.00
8	0.55	194.73	78	5.38	142.03
9	0.62	221.73	79	5.45	141.10
10	0.69	248.97	80	5.52	140.21
11	0.76	276.34	81	5.59	139.36
12	0.83	303.67	82	5.66	138.54
13	0.90	330.82	83	5.72	137.75
14	0.97	357.60	84	5.79	137.00
15	1.03	383.79	85	5.86	136.27
16	1.10	409.15	86	5.93	135.58
17	1.17	433.35	87	6.00	134.91
18	1.24	455.99	88	6.07	134.27
19	1.31	476.57	89	6.14	133.66
20	1.38	494.38	90	6.21	133.07
21	1.45	508.45	91	6.28	132.51
22	1.52	517.35	92	6.35	131.97
23	1.59	518.92	93	6.41	131.45
24	1.66	510.02	94	6.48	130.95
25	1.72	487.86	95	6.55	130.48
26	1.79	455.75	96	6.62	130.03
27	1.86	422.92	97	6.69	129.60
28	1.93	394.35	98	6.76	129.18
29	2.00	370.28	99	6.83	128.79
30	2.07	349.89	100	6.90	128.41
31	2.14	332.38			
32	2.21	317.15			
33	2.28	303.75			
34	2.34	291.84			
35	2.41	281.17			
36	2.48	271.53			
37	2.55	262.77			
38	2.62	254.77			
39	2.69	247.44			
40	2.76	240.67			
41	2.83	234.42			
42	2.90	228.61			
43	2.97	223.21			
44	3.03	218.17			
45	3.10	213.46			
46	3.17	209.03			
47	3.24	204.88			
48	3.31	200.97			
49	3.38	197.29			
50	3.45	193.81			
51	3.52	190.52			
52	3.59	187.40			
53	3.66	184.45			
54	3.72	181.64			
55	3.79	178.98			
56	3.86	176.45			
57	3.93	174.04			
58	4.00	171.74			
59	4.07	169.55			
60	4.14	167.46			
61	4.21	165.46			
62	4.28	163.56			
63	4.35	161.74			
64	4.41	160.00			
65	4.48	158.33			
66	4.55	156.73			
67	4.62	155.20			
68	4.69	153.74			
69	4.76	152.34			
70	4.83	150.99			

ITERACION Nro. 06

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	20.33	71	4.90	140.33
2	0.14	41.56	72	4.97	139.37
3	0.21	63.61	73	5.03	138.45
4	0.28	86.38	74	5.10	137.57
5	0.34	109.79	75	5.17	136.73
6	0.41	133.74	76	5.24	135.93
7	0.48	158.12	77	5.31	135.16
8	0.55	182.82	78	5.38	134.43
9	0.62	207.72	79	5.45	133.74
10	0.69	232.68	80	5.52	133.07
11	0.76	257.55	81	5.59	132.43
12	0.83	282.16	82	5.66	131.83
13	0.90	306.31	83	5.72	131.25
14	0.97	329.79	84	5.79	130.70
15	1.03	352.31	85	5.86	130.17
16	1.10	373.55	86	5.93	129.67
17	1.17	393.10	87	6.00	129.19
18	1.24	410.41	88	6.07	128.74
19	1.31	424.78	89	6.14	128.31
20	1.38	435.28	90	6.21	127.90
21	1.45	440.66	91	6.28	127.51
22	1.52	439.36	92	6.35	127.14
23	1.59	429.93	93	6.41	126.80
24	1.66	412.49	94	6.48	126.47
25	1.72	390.23	95	6.55	126.15
26	1.79	367.33	96	6.62	125.86
27	1.86	346.28	97	6.69	125.58
28	1.93	327.67	98	6.76	125.32
29	2.00	311.36	99	6.83	125.08
30	2.07	297.04	100	6.90	124.85
31	2.14	284.38			
32	2.21	273.12			
33	2.28	263.02			
34	2.34	253.92			
35	2.41	245.66			
36	2.48	238.14			
37	2.55	231.25			
38	2.62	224.92			
39	2.69	219.08			
40	2.76	213.67			
41	2.83	208.65			
42	2.90	203.98			
43	2.97	199.62			
44	3.03	195.54			
45	3.10	191.72			
46	3.17	188.13			
47	3.24	184.76			
48	3.31	181.59			
49	3.38	178.59			
50	3.45	175.77			
51	3.52	173.09			
52	3.59	170.56			
53	3.66	168.16			
54	3.72	165.89			
55	3.79	163.73			
56	3.86	161.68			
57	3.93	159.73			
58	4.00	157.87			
59	4.07	156.11			
60	4.14	154.43			
61	4.21	152.82			
62	4.28	151.30			
63	4.35	149.84			
64	4.41	148.45			
65	4.48	147.13			
66	4.55	145.86			
67	4.62	144.65			
68	4.69	143.50			
69	4.76	142.39			
70	4.83	141.34			

ITERACION Nro. 07

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	20.97	71	4.90	155.08
2	0.14	43.11	72	4.97	153.68
3	0.21	66.40	73	5.03	152.33
4	0.28	90.81	74	5.10	151.04
5	0.34	116.29	75	5.17	149.80
6	0.41	142.80	76	5.24	148.61
7	0.48	170.28	77	5.31	147.46
8	0.55	198.65	78	5.38	146.36
9	0.62	227.82	79	5.45	145.30
10	0.69	257.69	80	5.52	144.28
11	0.76	288.13	81	5.59	143.29
12	0.83	319.00	82	5.66	142.35
13	0.90	350.11	83	5.72	141.44
14	0.97	381.26	84	5.79	140.56
15	1.03	412.20	85	5.86	139.72
16	1.10	442.60	86	5.93	138.91
17	1.17	472.07	87	6.00	138.14
18	1.24	500.11	88	6.07	137.39
19	1.31	526.04	89	6.14	136.67
20	1.38	548.94	90	6.21	135.98
21	1.45	567.51	91	6.28	135.31
22	1.52	579.78	92	6.35	134.67
23	1.59	582.71	93	6.41	134.06
24	1.66	571.67	94	6.48	133.47
25	1.72	542.60	95	6.55	132.90
26	1.79	501.63	96	6.62	132.35
27	1.86	461.97	97	6.69	131.83
28	1.93	428.65	98	6.76	131.33
29	2.00	401.08	99	6.83	130.85
30	2.07	377.97	100	6.90	130.39
31	2.14	358.25			
32	2.21	341.17			
33	2.28	326.20			
34	2.34	312.92			
35	2.41	301.04			
36	2.48	290.33			
37	2.55	280.61			
38	2.62	271.75			
39	2.69	263.62			
40	2.76	256.13			
41	2.83	249.21			
42	2.90	242.78			
43	2.97	236.81			
44	3.03	231.23			
45	3.10	226.01			
46	3.17	221.12			
47	3.24	216.52			
48	3.31	212.20			
49	3.38	208.12			
50	3.45	204.26			
51	3.52	200.61			
52	3.59	197.16			
53	3.66	193.88			
54	3.72	190.77			
55	3.79	187.81			
56	3.86	185.00			
57	3.93	182.32			
58	4.00	179.76			
59	4.07	177.32			
60	4.14	174.99			
61	4.21	172.76			
62	4.28	170.64			
63	4.35	168.60			
64	4.41	166.65			
65	4.48	164.78			
66	4.55	162.99			
67	4.62	161.27			
68	4.69	159.63			
69	4.76	158.05			
70	4.83	156.53			

ITERACION Nro. 08

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	39.85	71	4.90	152.27
2	0.14	82.92	72	4.97	151.15
3	0.21	129.06	73	5.03	150.05
4	0.28	177.97	74	5.10	149.00
5	0.34	229.26	75	5.17	147.98
6	0.41	282.40	76	5.24	147.00
7	0.48	336.67	77	5.31	146.05
8	0.55	391.16	78	5.38	145.13
9	0.62	444.60	79	5.45	144.25
10	0.69	495.28	80	5.52	143.39
11	0.76	540.73	81	5.59	142.56
12	0.83	577.42	82	5.66	141.76
13	0.90	600.10	83	5.72	140.99
14	0.97	601.87	84	5.79	140.24
15	1.03	578.80	85	5.86	139.52
16	1.10	539.85	86	5.93	138.82
17	1.17	499.57	87	6.00	138.15
18	1.24	464.39	88	6.07	137.50
19	1.31	434.74	89	6.14	136.87
20	1.38	409.70	90	6.21	136.26
21	1.45	388.28	91	6.28	135.68
22	1.52	369.73	92	6.35	135.11
23	1.59	353.46	93	6.41	134.57
24	1.66	339.05	94	6.48	134.04
25	1.72	326.16	95	6.55	133.54
26	1.79	314.55	96	6.62	133.05
27	1.86	304.02	97	6.69	132.57
28	1.93	294.41	98	6.76	132.12
29	2.00	285.60	99	6.83	131.68
30	2.07	277.48	100	6.90	131.26
31	2.14	269.97			
32	2.21	263.00			
33	2.28	256.51			
34	2.34	250.45			
35	2.41	244.77			
36	2.48	239.44			
37	2.55	234.43			
38	2.62	229.70			
39	2.69	225.24			
40	2.76	221.01			
41	2.83	217.01			
42	2.90	213.21			
43	2.97	209.60			
44	3.03	206.17			
45	3.10	202.90			
46	3.17	199.78			
47	3.24	196.80			
48	3.31	193.96			
49	3.38	191.24			
50	3.45	188.63			
51	3.52	186.14			
52	3.59	183.75			
53	3.66	181.46			
54	3.72	179.26			
55	3.79	177.14			
56	3.86	175.11			
57	3.93	173.16			
58	4.00	171.28			
59	4.07	169.48			
60	4.14	167.74			
61	4.21	166.06			
62	4.28	164.45			
63	4.35	162.89			
64	4.41	161.39			
65	4.48	159.95			
66	4.55	158.55			
67	4.62	157.21			
68	4.69	155.91			
69	4.76	154.65			
70	4.83	153.44			

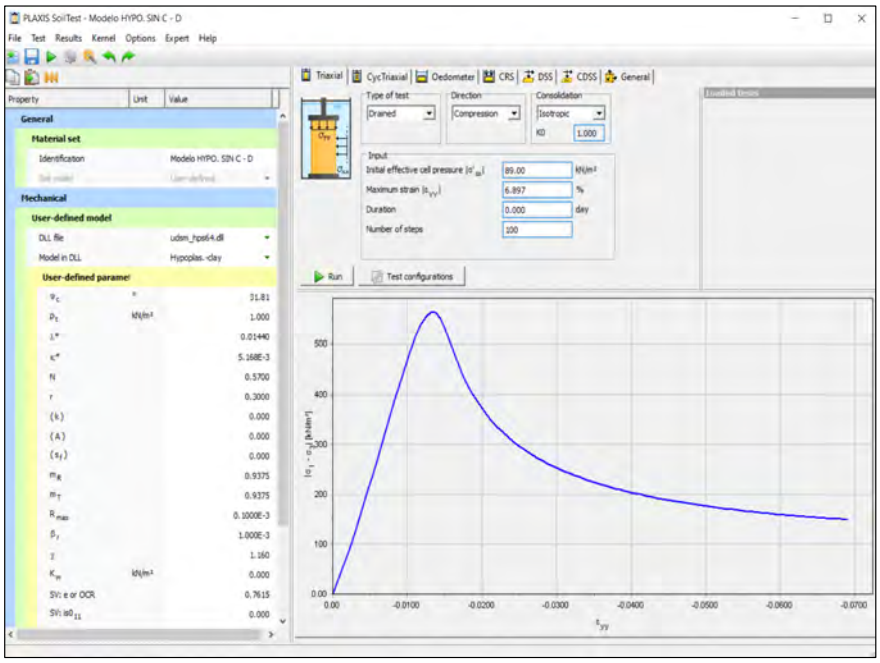
ITERACION Nro. 09

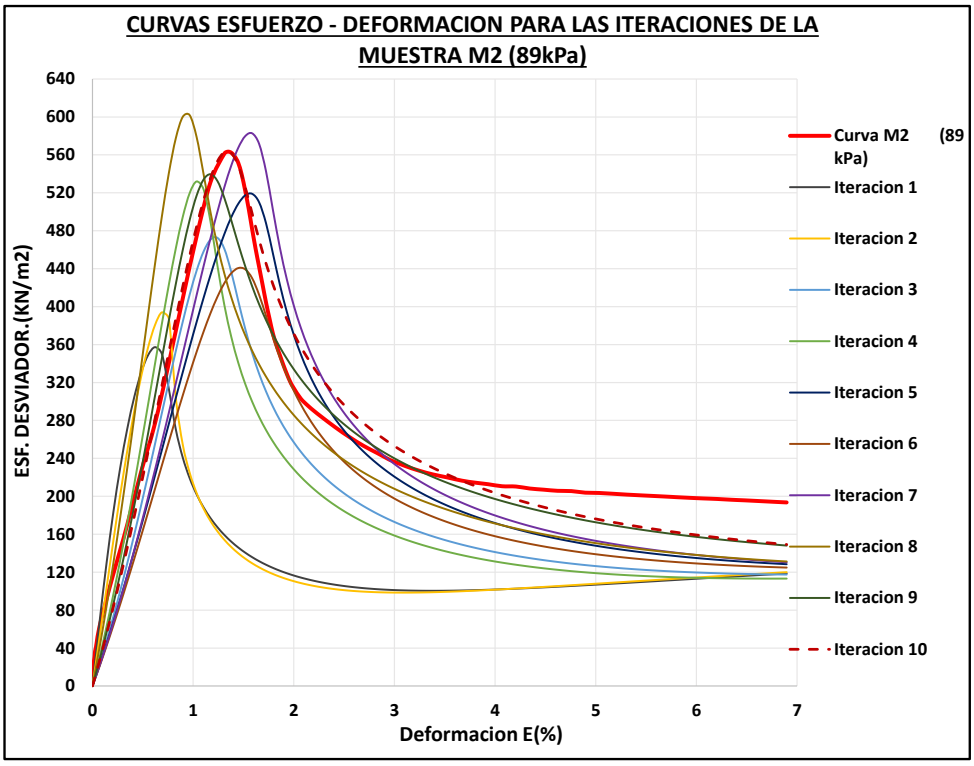
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.79	71	4.90	174.62
2	0.14	55.50	72	4.97	173.26
3	0.21	86.16	73	5.03	171.94
4	0.28	118.75	74	5.10	170.67
5	0.34	153.20	75	5.17	169.43
6	0.41	189.36	76	5.24	168.23
7	0.48	227.03	77	5.31	167.07
8	0.55	265.92	78	5.38	165.95
9	0.62	305.66	79	5.45	164.85
10	0.69	345.70	80	5.52	163.79
11	0.76	385.38	81	5.59	162.77
12	0.83	423.76	82	5.66	161.77
13	0.90	459.65	83	5.72	160.80
14	0.97	491.45	84	5.79	159.86
15	1.03	517.08	85	5.86	158.95
16	1.10	534.00	86	5.93	158.06
17	1.17	539.57	87	6.00	157.20
18	1.24	532.44	88	6.07	156.37
19	1.31	514.53	89	6.14	155.56
20	1.38	490.82	90	6.21	154.77
21	1.45	465.95	91	6.28	154.01
22	1.52	442.55	92	6.35	153.27
23	1.59	421.39	93	6.41	152.54
24	1.66	402.52	94	6.48	151.84
25	1.72	385.72	95	6.55	151.17
26	1.79	370.70	96	6.62	150.51
27	1.86	357.21	97	6.69	149.86
28	1.93	345.02	98	6.76	149.24
29	2.00	333.94	99	6.83	148.64
30	2.07	323.82	100	6.90	148.05
31	2.14	314.53			
32	2.21	305.97			
33	2.28	298.05			
34	2.34	290.69			
35	2.41	283.84			
36	2.48	277.43			
37	2.55	271.43			
38	2.62	265.80			
39	2.69	260.49			
40	2.76	255.48			
41	2.83	250.75			
42	2.90	246.27			
43	2.97	242.02			
44	3.03	237.98			
45	3.10	234.14			
46	3.17	230.48			
47	3.24	227.00			
48	3.31	223.67			
49	3.38	220.48			
50	3.45	217.44			
51	3.52	214.52			
52	3.59	211.73			
53	3.66	209.04			
54	3.72	206.47			
55	3.79	204.00			
56	3.86	201.62			
57	3.93	199.33			
58	4.00	197.13			
59	4.07	195.01			
60	4.14	192.97			
61	4.21	190.99			
62	4.28	189.09			
63	4.35	187.25			
64	4.41	185.48			
65	4.48	183.77			
66	4.55	182.11			
67	4.62	180.51			
68	4.69	178.96			
69	4.76	177.47			
70	4.83	176.02			

ITERACION Nro. 10

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	26.28	71	4.90	178.37
2	0.14	54.05	72	4.97	176.87
3	0.21	83.24	73	5.03	175.41
4	0.28	113.74	74	5.10	174.01
5	0.34	145.45	75	5.17	172.64
6	0.41	178.24	76	5.24	171.32
7	0.48	211.96	77	5.31	170.04
8	0.55	246.42	78	5.38	168.80
9	0.62	281.42	79	5.45	167.60
10	0.69	316.70	80	5.52	166.43
11	0.76	351.99	81	5.59	165.30
12	0.83	386.91	82	5.66	164.21
13	0.90	421.03	83	5.72	163.14
14	0.97	453.79	84	5.79	162.11
15	1.03	484.47	85	5.86	161.11
16	1.10	512.15	86	5.93	160.14
17	1.17	535.60	87	6.00	159.20
18	1.24	553.19	88	6.07	158.28
19	1.31	562.78	89	6.14	157.40
20	1.38	561.91	90	6.21	156.53
21	1.45	548.99	91	6.28	155.70
22	1.52	525.86	92	6.35	154.89
23	1.59	498.06	93	6.41	154.10
24	1.66	470.49	94	6.48	153.33
25	1.72	445.48	95	6.55	152.59
26	1.79	423.38	96	6.62	151.87
27	1.86	403.93	97	6.69	151.17
28	1.93	386.77	98	6.76	150.49
29	2.00	371.50	99	6.83	149.83
30	2.07	357.84	100	6.90	149.18
31	2.14	345.51			
32	2.21	334.33			
33	2.28	324.13			
34	2.34	314.77			
35	2.41	306.14			
36	2.48	298.17			
37	2.55	290.76			
38	2.62	283.86			
39	2.69	277.41			
40	2.76	271.37			
41	2.83	265.70			
42	2.90	260.36			
43	2.97	255.32			
44	3.03	250.56			
45	3.10	246.05			
46	3.17	241.77			
47	3.24	237.71			
48	3.31	233.85			
49	3.38	230.17			
50	3.45	226.66			
51	3.52	223.31			
52	3.59	220.11			
53	3.66	217.05			
54	3.72	214.12			
55	3.79	211.30			
56	3.86	208.61			
57	3.93	206.02			
58	4.00	203.53			
59	4.07	201.14			
60	4.14	198.84			
61	4.21	196.63			
62	4.28	194.50			
63	4.35	192.44			
64	4.41	190.46			
65	4.48	188.55			
66	4.55	186.70			
67	4.62	184.92			
68	4.69	183.20			
69	4.76	181.54			
70	4.83	179.93			

LA ITERACION Nro. 10 ES LA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M2





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M5 (MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

ITERACION Nro. 01

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	35.47	51	3.51	218.94
2	0.14	72.62	52	3.57	216.63
3	0.21	111.16	53	3.64	214.46
4	0.27	150.82	54	3.71	212.42
5	0.34	191.31	55	3.78	210.49
6	0.41	232.32	56	3.85	208.68
7	0.48	273.49	57	3.92	206.98
8	0.55	314.43	58	3.99	205.39
9	0.62	354.67	59	4.06	203.88
10	0.69	393.69	60	4.12	202.47
11	0.76	430.90	61	4.19	201.15
12	0.82	465.52	62	4.26	199.90
13	0.89	496.67	63	4.33	198.74
14	0.96	523.21	64	4.40	197.65
15	1.03	543.79	65	4.47	196.63
16	1.10	556.79	66	4.54	195.67
17	1.17	560.59	67	4.60	194.78
18	1.24	554.18	68	4.67	193.95
19	1.31	538.21	69	4.74	193.18
20	1.37	515.57	70	4.81	192.46
21	1.44	490.12	71	4.88	191.80
22	1.51	464.78	72	4.95	191.18
23	1.58	441.15	73	5.02	190.61
24	1.65	419.69	74	5.09	190.09
25	1.72	400.43	75	5.15	189.61
26	1.79	383.17	76	5.22	189.18
27	1.86	367.70	77	5.29	188.78
28	1.92	353.78	78	5.36	188.42
29	1.99	341.22	79	5.43	188.10
30	2.06	329.83	80	5.50	187.82
31	2.13	319.48	81	5.57	187.57
32	2.20	310.02	82	5.64	187.35
33	2.27	301.36	83	5.70	187.17
34	2.34	293.41	84	5.77	187.01
35	2.41	286.08	85	5.84	186.88
36	2.47	279.32	86	5.91	186.78
37	2.54	273.05	87	5.98	186.71
38	2.61	267.24	88	6.05	186.66
39	2.68	261.85	89	6.12	186.64
40	2.75	256.82	90	6.19	186.64
41	2.82	252.14	91	6.25	186.66
42	2.89	247.76	92	6.32	186.71
43	2.96	243.67	93	6.39	186.77
44	3.02	239.85	94	6.46	186.86
45	3.09	236.26	95	6.53	186.96
46	3.16	232.90	96	6.60	187.08
47	3.23	229.75	97	6.67	187.22
48	3.30	226.79	98	6.74	187.38
49	3.37	224.01	99	6.80	187.55
50	3.44	221.40	100	6.87	187.74

ITERACION Nro. 02

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	30.25	51	3.51	276.70
2	0.14	61.83	52	3.57	272.80
3	0.21	94.64	53	3.64	269.10
4	0.27	128.53	54	3.71	265.60
5	0.34	163.40	55	3.78	262.27
6	0.41	199.09	56	3.85	259.10
7	0.48	235.46	57	3.92	256.09
8	0.55	272.32	58	3.99	253.23
9	0.62	309.48	59	4.06	250.50
10	0.69	346.72	60	4.12	247.91
11	0.76	383.76	61	4.19	245.43
12	0.82	420.33	62	4.26	243.07
13	0.89	456.08	63	4.33	240.82
14	0.96	490.61	64	4.40	238.68
15	1.03	523.43	65	4.47	236.63
16	1.10	553.97	66	4.54	234.68
17	1.17	581.50	67	4.60	232.82
18	1.24	605.14	68	4.67	231.04
19	1.31	623.81	69	4.74	229.34
20	1.37	636.23	70	4.81	227.72
21	1.44	641.02	71	4.88	226.17
22	1.51	637.01	72	4.95	224.69
23	1.58	623.97	73	5.02	223.28
24	1.65	603.37	74	5.09	221.93
25	1.72	578.27	75	5.15	220.64
26	1.79	551.77	76	5.22	219.42
27	1.86	526.11	77	5.29	218.25
28	1.92	502.26	78	5.36	217.13
29	1.99	480.53	79	5.43	216.06
30	2.06	460.85	80	5.50	215.04
31	2.13	443.06	81	5.57	214.07
32	2.20	426.95	82	5.64	213.15
33	2.27	412.32	83	5.70	212.27
34	2.34	398.99	84	5.77	211.43
35	2.41	386.80	85	5.84	210.64
36	2.47	375.61	86	5.91	209.88
37	2.54	365.30	87	5.98	209.16
38	2.61	355.79	88	6.05	208.48
39	2.68	346.98	89	6.12	207.83
40	2.75	338.79	90	6.19	207.22
41	2.82	331.17	91	6.25	206.64
42	2.89	324.06	92	6.32	206.10
43	2.96	317.41	93	6.39	205.58
44	3.02	311.18	94	6.46	205.09
45	3.09	305.33	95	6.53	204.63
46	3.16	299.83	96	6.60	204.20
47	3.23	294.66	97	6.67	203.80
48	3.30	289.78	98	6.74	203.42
49	3.37	285.17	99	6.80	203.07
50	3.44	280.82	100	6.87	202.74

ITERACION Nro. 03

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	31.37	51	3.51	310.04
2	0.14	64.38	52	3.57	305.39
3	0.21	98.96	53	3.64	300.97
4	0.27	135.00	54	3.71	296.76
5	0.34	172.43	55	3.78	292.75
6	0.41	211.16	56	3.85	288.93
7	0.48	251.03	57	3.92	285.28
8	0.55	291.89	58	3.99	281.79
9	0.62	333.54	59	4.06	278.46
10	0.69	375.77	60	4.12	275.28
11	0.76	418.29	61	4.19	272.23
12	0.82	460.79	62	4.26	269.32
13	0.89	502.87	63	4.33	266.53
14	0.96	544.08	64	4.40	263.85
15	1.03	583.84	65	4.47	261.28
16	1.10	621.45	66	4.54	258.82
17	1.17	656.02	67	4.60	256.46
18	1.24	686.46	68	4.67	254.19
19	1.31	711.39	69	4.74	252.02
20	1.37	729.10	70	4.81	249.93
21	1.44	737.63	71	4.88	247.92
22	1.51	735.13	72	4.95	245.99
23	1.58	720.81	73	5.02	244.14
24	1.65	696.27	74	5.09	242.36
25	1.72	665.64	75	5.15	240.65
26	1.79	633.30	76	5.22	239.01
27	1.86	602.26	77	5.29	237.43
28	1.92	573.71	78	5.36	235.91
29	1.99	547.93	79	5.43	234.45
30	2.06	524.76	80	5.50	233.04
31	2.13	503.93	81	5.57	231.69
32	2.20	485.14	82	5.64	230.39
33	2.27	468.13	83	5.70	229.14
34	2.34	452.66	84	5.77	227.94
35	2.41	438.52	85	5.84	226.79
36	2.47	425.56	86	5.91	225.68
37	2.54	413.62	87	5.98	224.62
38	2.61	402.59	88	6.05	223.59
39	2.68	392.36	89	6.12	222.61
40	2.75	382.86	90	6.19	221.66
41	2.82	374.00	91	6.25	220.76
42	2.89	365.72	92	6.32	219.89
43	2.96	357.96	93	6.39	219.05
44	3.02	350.68	94	6.46	218.25
45	3.09	343.83	95	6.53	217.48
46	3.16	337.38	96	6.60	216.74
47	3.23	331.29	97	6.67	216.04
48	3.30	325.54	98	6.74	215.36
49	3.37	320.10	99	6.80	214.71
50	3.44	314.94	100	6.87	214.10

ITERACION Nro. 04

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	48.21	71	4.88	231.40
2	0.14	99.09	72	4.95	229.92
3	0.21	152.34	73	5.02	228.49
4	0.27	207.64	74	5.09	227.13
5	0.34	264.60	75	5.15	225.81
6	0.41	322.73	76	5.22	224.55
7	0.48	381.46	77	5.29	223.34
8	0.55	440.12	78	5.36	222.18
9	0.62	497.87	79	5.43	221.06
10	0.69	553.70	80	5.50	219.98
11	0.76	606.33	81	5.57	218.95
12	0.82	654.11	82	5.64	217.96
13	0.89	694.94	83	5.70	217.01
14	0.96	726.09	84	5.77	216.10
15	1.03	744.28	85	5.84	215.23
16	1.10	746.19	86	5.91	214.39
17	1.17	730.55	87	5.98	213.59
18	1.24	700.84	88	6.05	212.82
19	1.31	664.53	89	6.12	212.08
20	1.37	627.91	90	6.19	211.38
21	1.44	594.17	91	6.25	210.71
22	1.51	564.05	92	6.32	210.06
23	1.58	537.40	93	6.39	209.45
24	1.65	513.80	94	6.46	208.86
25	1.72	492.80	95	6.53	208.30
26	1.79	474.01	96	6.60	207.77
27	1.86	457.09	97	6.67	207.26
28	1.92	441.77	98	6.74	206.77
29	1.99	427.83	99	6.80	206.31
30	2.06	415.07	100	6.87	205.88
31	2.13	403.35			
32	2.20	392.54			
33	2.27	382.53			
34	2.34	373.24			
35	2.41	364.58			
36	2.47	356.50			
37	2.54	348.93			
38	2.61	341.83			
39	2.68	335.16			
40	2.75	328.87			
41	2.82	322.93			
42	2.89	317.33			
43	2.96	312.02			
44	3.02	306.99			
45	3.09	302.22			
46	3.16	297.68			
47	3.23	293.37			
48	3.30	289.27			
49	3.37	285.36			
50	3.44	281.63			
51	3.51	278.07			
52	3.57	274.67			
53	3.64	271.42			
54	3.71	268.32			
55	3.78	265.34			
56	3.85	262.50			
57	3.92	259.77			
58	3.99	257.16			
59	4.06	254.65			
60	4.12	252.25			
61	4.19	249.95			
62	4.26	247.74			
63	4.33	245.62			
64	4.40	243.58			
65	4.47	241.62			
66	4.54	239.74			
67	4.60	237.94			
68	4.67	236.21			
69	4.74	234.54			
70	4.81	232.94			

ITERACION Nro. 05

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	58.24	71	4.88	204.88
2	0.14	118.61	72	4.95	203.97
3	0.21	180.55	73	5.02	203.09
4	0.27	243.37	74	5.09	202.27
5	0.34	306.27	75	5.15	201.49
6	0.41	368.37	76	5.22	200.75
7	0.48	428.60	77	5.29	200.05
8	0.55	485.72	78	5.36	199.39
9	0.62	538.18	79	5.43	198.76
10	0.69	584.03	80	5.50	198.18
11	0.76	620.82	81	5.57	197.62
12	0.82	645.50	82	5.64	197.10
13	0.89	654.86	83	5.70	196.62
14	0.96	647.03	84	5.77	196.16
15	1.03	624.16	85	5.84	195.74
16	1.10	592.85	86	5.91	195.34
17	1.17	559.78	87	5.98	194.97
18	1.24	528.73	88	6.05	194.63
19	1.31	500.87	89	6.12	194.32
20	1.37	476.22	90	6.19	194.03
21	1.44	454.45	91	6.25	193.77
22	1.51	435.15	92	6.32	193.53
23	1.58	417.95	93	6.39	193.31
24	1.65	402.53	94	6.46	193.11
25	1.72	388.61	95	6.53	192.94
26	1.79	376.00	96	6.60	192.79
27	1.86	364.50	97	6.67	192.66
28	1.92	353.98	98	6.74	192.55
29	1.99	344.31	99	6.80	192.46
30	2.06	335.39	100	6.87	192.38
31	2.13	327.14			
32	2.20	319.48			
33	2.27	312.34			
34	2.34	305.69			
35	2.41	299.47			
36	2.47	293.64			
37	2.54	288.17			
38	2.61	283.02			
39	2.68	278.18			
40	2.75	273.61			
41	2.82	269.29			
42	2.89	265.22			
43	2.96	261.36			
44	3.02	257.70			
45	3.09	254.23			
46	3.16	250.95			
47	3.23	247.82			
48	3.30	244.86			
49	3.37	242.04			
50	3.44	239.35			
51	3.51	236.80			
52	3.57	234.37			
53	3.64	232.06			
54	3.71	229.85			
55	3.78	227.75			
56	3.85	225.75			
57	3.92	223.84			
58	3.99	222.02			
59	4.06	220.29			
60	4.12	218.63			
61	4.19	217.06			
62	4.26	215.56			
63	4.33	214.12			
64	4.40	212.76			
65	4.47	211.46			
66	4.54	210.22			
67	4.60	209.05			
68	4.67	207.92			
69	4.74	206.86			
70	4.81	205.84			

ITERACION Nro. 06

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	86.90	71	4.88	174.61
2	0.14	174.05	72	4.95	174.53
3	0.21	260.06	73	5.02	174.47
4	0.27	343.00	74	5.09	174.45
5	0.34	420.70	75	5.15	174.46
6	0.41	490.55	76	5.22	174.50
7	0.48	549.22	77	5.29	174.57
8	0.55	592.35	78	5.36	174.67
9	0.62	614.42	79	5.43	174.79
10	0.69	610.52	80	5.50	174.94
11	0.76	582.47	81	5.57	175.12
12	0.82	542.40	82	5.64	175.32
13	0.89	502.24	83	5.70	175.54
14	0.96	466.74	84	5.77	175.78
15	1.03	436.40	85	5.84	176.04
16	1.10	410.53	86	5.91	176.32
17	1.17	388.30	87	5.98	176.62
18	1.24	369.01	88	6.05	176.93
19	1.31	352.13	89	6.12	177.27
20	1.37	337.21	90	6.19	177.61
21	1.44	323.94	91	6.25	177.97
22	1.51	312.04	92	6.32	178.35
23	1.58	301.30	93	6.39	178.75
24	1.65	291.58	94	6.46	179.15
25	1.72	282.73	95	6.53	179.56
26	1.79	274.64	96	6.60	179.99
27	1.86	267.23	97	6.67	180.43
28	1.92	260.41	98	6.74	180.88
29	1.99	254.11	99	6.80	181.34
30	2.06	248.30	100	6.87	181.81
31	2.13	242.91			
32	2.20	237.91			
33	2.27	233.26			
34	2.34	228.93			
35	2.41	224.90			
36	2.47	221.14			
37	2.54	217.63			
38	2.61	214.35			
39	2.68	211.28			
40	2.75	208.41			
41	2.82	205.73			
42	2.89	203.22			
43	2.96	200.88			
44	3.02	198.68			
45	3.09	196.63			
46	3.16	194.71			
47	3.23	192.91			
48	3.30	191.24			
49	3.37	189.67			
50	3.44	188.22			
51	3.51	186.86			
52	3.57	185.60			
53	3.64	184.43			
54	3.71	183.34			
55	3.78	182.33			
56	3.85	181.40			
57	3.92	180.55			
58	3.99	179.77			
59	4.06	179.05			
60	4.12	178.39			
61	4.19	177.79			
62	4.26	177.26			
63	4.33	176.77			
64	4.40	176.34			
65	4.47	175.96			
66	4.54	175.63			
67	4.60	175.35			
68	4.67	175.10			
69	4.74	174.90			
70	4.81	174.74			

ITERACION Nro. 07

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	81.29	71	4.88	176.01
2	0.14	165.33	72	4.95	175.77
3	0.21	250.58	73	5.02	175.57
4	0.27	335.25	74	5.09	175.41
5	0.34	417.33	75	5.15	175.28
6	0.41	494.50	76	5.22	175.19
7	0.48	563.83	77	5.29	175.13
8	0.55	621.44	78	5.36	175.10
9	0.62	661.94	79	5.43	175.10
10	0.69	678.19	80	5.50	175.13
11	0.76	663.81	81	5.57	175.19
12	0.82	623.10	82	5.64	175.27
13	0.89	573.58	83	5.70	175.38
14	0.96	527.89	84	5.77	175.51
15	1.03	489.13	85	5.84	175.67
16	1.10	456.62	86	5.91	175.85
17	1.17	429.16	87	5.98	176.05
18	1.24	405.67	88	6.05	176.27
19	1.31	385.32	89	6.12	176.51
20	1.37	367.53	90	6.19	176.77
21	1.44	351.81	91	6.25	177.05
22	1.51	337.80	92	6.32	177.34
23	1.58	325.24	93	6.39	177.65
24	1.65	313.91	94	6.46	177.97
25	1.72	303.63	95	6.53	178.31
26	1.79	294.26	96	6.60	178.67
27	1.86	285.69	97	6.67	179.04
28	1.92	277.83	98	6.74	179.42
29	1.99	270.58	99	6.80	179.81
30	2.06	263.88	100	6.87	180.22
31	2.13	257.69			
32	2.20	251.93			
33	2.27	246.59			
34	2.34	241.61			
35	2.41	236.97			
36	2.47	232.63			
37	2.54	228.58			
38	2.61	224.79			
39	2.68	221.24			
40	2.75	217.91			
41	2.82	214.80			
42	2.89	211.87			
43	2.96	209.12			
44	3.02	206.55			
45	3.09	204.13			
46	3.16	201.86			
47	3.23	199.73			
48	3.30	197.74			
49	3.37	195.86			
50	3.44	194.10			
51	3.51	192.46			
52	3.57	190.92			
53	3.64	189.48			
54	3.71	188.13			
55	3.78	186.87			
56	3.85	185.70			
57	3.92	184.61			
58	3.99	183.60			
59	4.06	182.65			
60	4.12	181.78			
61	4.19	180.98			
62	4.26	180.24			
63	4.33	179.56			
64	4.40	178.94			
65	4.47	178.37			
66	4.54	177.86			
67	4.60	177.40			
68	4.67	176.98			
69	4.74	176.62			
70	4.81	176.29			

ITERACION Nro. 08

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	82.74	71	4.88	192.15
2	0.14	168.35	72	4.95	191.40
3	0.21	255.70	73	5.02	190.70
4	0.27	343.24	74	5.09	190.05
5	0.34	429.17	75	5.15	189.43
6	0.41	511.34	76	5.22	188.86
7	0.48	587.11	77	5.29	188.33
8	0.55	652.94	78	5.36	187.83
9	0.62	704.01	79	5.43	187.37
10	0.69	733.74	80	5.50	186.95
11	0.76	734.71	81	5.57	186.55
12	0.82	705.18	82	5.64	186.20
13	0.89	657.82	83	5.70	185.87
14	0.96	608.96	84	5.77	185.57
15	1.03	565.80	85	5.84	185.31
16	1.10	529.11	86	5.91	185.07
17	1.17	497.95	87	5.98	184.86
18	1.24	471.26	88	6.05	184.67
19	1.31	448.13	89	6.12	184.51
20	1.37	427.88	90	6.19	184.38
21	1.44	409.96	91	6.25	184.27
22	1.51	393.98	92	6.32	184.18
23	1.58	379.62	93	6.39	184.11
24	1.65	366.63	94	6.46	184.07
25	1.72	354.82	95	6.53	184.05
26	1.79	344.02	96	6.60	184.04
27	1.86	334.11	97	6.67	184.06
28	1.92	324.98	98	6.74	184.09
29	1.99	316.53	99	6.80	184.15
30	2.06	308.70	100	6.87	184.22
31	2.13	301.42			
32	2.20	294.62			
33	2.27	288.28			
34	2.34	282.33			
35	2.41	276.76			
36	2.47	271.53			
37	2.54	266.60			
38	2.61	261.96			
39	2.68	257.58			
40	2.75	253.45			
41	2.82	249.54			
42	2.89	245.84			
43	2.96	242.34			
44	3.02	239.03			
45	3.09	235.88			
46	3.16	232.90			
47	3.23	230.07			
48	3.30	227.39			
49	3.37	224.83			
50	3.44	222.41			
51	3.51	220.11			
52	3.57	217.92			
53	3.64	215.84			
54	3.71	213.86			
55	3.78	211.98			
56	3.85	210.19			
57	3.92	208.50			
58	3.99	206.88			
59	4.06	205.35			
60	4.12	203.89			
61	4.19	202.51			
62	4.26	201.20			
63	4.33	199.96			
64	4.40	198.78			
65	4.47	197.67			
66	4.54	196.61			
67	4.60	195.61			
68	4.67	194.67			
69	4.74	193.78			
70	4.81	192.94			

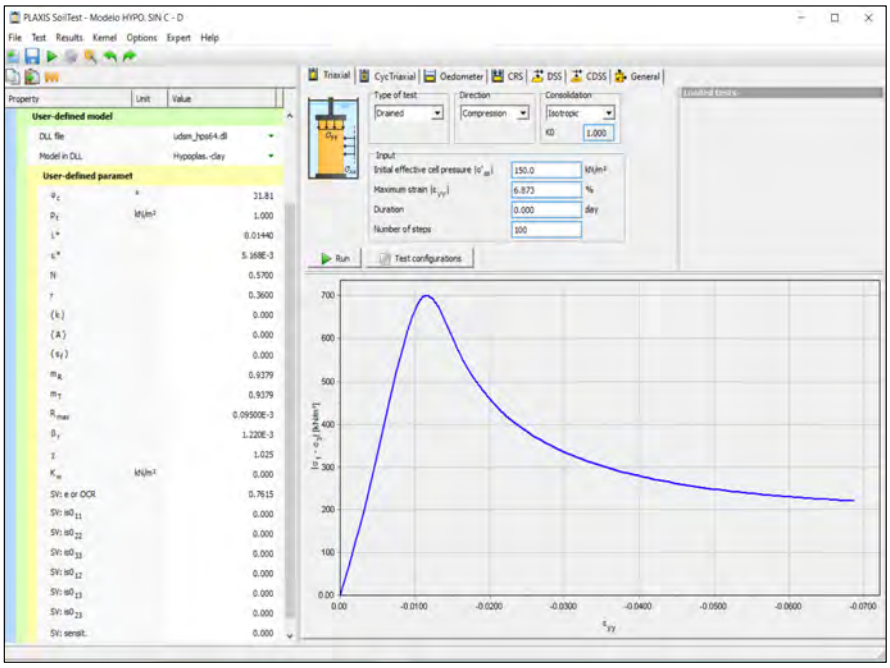
ITERACION Nro. 09

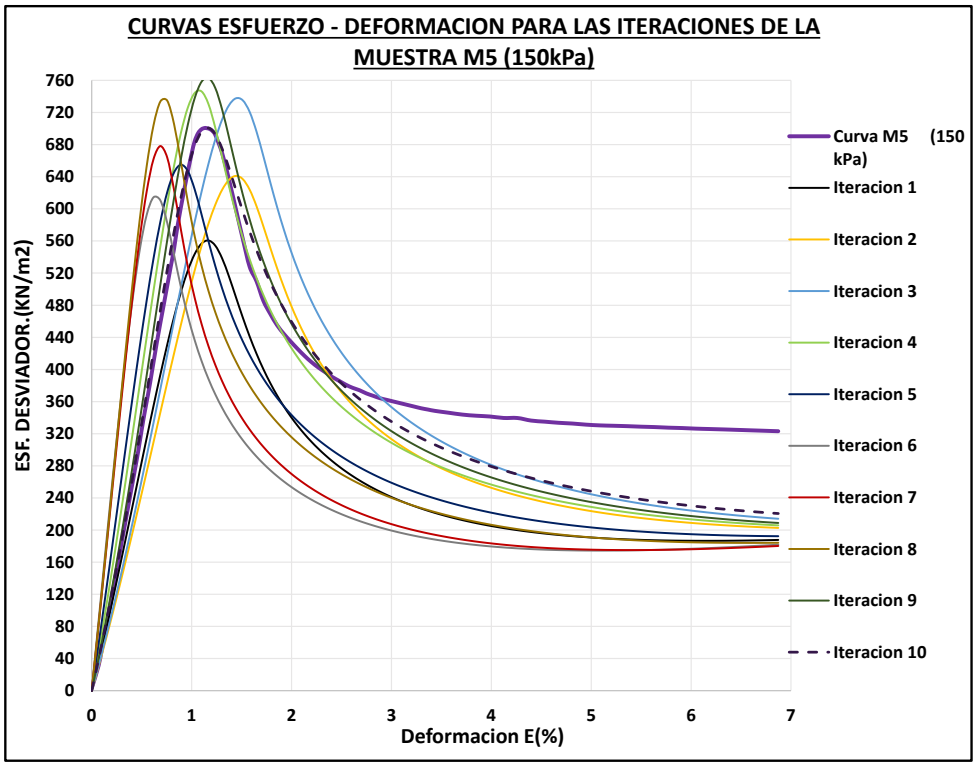
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	40.50	71	4.88	237.68
2	0.14	83.75	72	4.95	236.04
3	0.21	129.66	73	5.02	234.46
4	0.27	178.13	74	5.09	232.94
5	0.34	228.98	75	5.15	231.49
6	0.41	281.95	76	5.22	230.08
7	0.48	336.67	77	5.29	228.73
8	0.55	392.66	78	5.36	227.43
9	0.62	449.31	79	5.43	226.18
10	0.69	505.83	80	5.50	224.98
11	0.76	561.18	81	5.57	223.83
12	0.82	614.03	82	5.64	222.72
13	0.89	662.68	83	5.70	221.65
14	0.96	704.90	84	5.77	220.62
15	1.03	737.90	85	5.84	219.63
16	1.10	758.34	86	5.91	218.69
17	1.17	762.99	87	5.98	217.78
18	1.24	750.44	88	6.05	216.90
19	1.31	723.48	89	6.12	216.06
20	1.37	688.70	90	6.19	215.26
21	1.44	652.31	91	6.25	214.49
22	1.51	617.97	92	6.32	213.75
23	1.58	586.84	93	6.39	213.04
24	1.65	559.05	94	6.46	212.37
25	1.72	534.31	95	6.53	211.72
26	1.79	512.23	96	6.60	211.10
27	1.86	492.42	97	6.67	210.50
28	1.92	474.56	98	6.74	209.94
29	1.99	458.38	99	6.80	209.40
30	2.06	443.65	100	6.87	208.88
31	2.13	430.16			
32	2.20	417.78			
33	2.27	406.35			
34	2.34	395.78			
35	2.41	385.96			
36	2.47	376.81			
37	2.54	368.27			
38	2.61	360.28			
39	2.68	352.78			
40	2.75	345.73			
41	2.82	339.09			
42	2.89	332.83			
43	2.96	326.91			
44	3.02	321.31			
45	3.09	316.00			
46	3.16	310.96			
47	3.23	306.18			
48	3.30	301.63			
49	3.37	297.29			
50	3.44	293.16			
51	3.51	289.23			
52	3.57	285.47			
53	3.64	281.88			
54	3.71	278.45			
55	3.78	275.17			
56	3.85	272.03			
57	3.92	269.02			
58	3.99	266.14			
59	4.06	263.38			
60	4.12	260.72			
61	4.19	258.18			
62	4.26	255.74			
63	4.33	253.40			
64	4.40	251.15			
65	4.47	248.99			
66	4.54	246.91			
67	4.60	244.92			
68	4.67	243.00			
69	4.74	241.16			
70	4.81	239.38			

ITERACION Nro. 10

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	39.07	71	4.88	251.30
2	0.14	80.48	72	4.95	249.63
3	0.21	124.16	73	5.02	248.01
4	0.27	170.04	74	5.09	246.45
5	0.34	217.92	75	5.15	244.95
6	0.41	267.53	76	5.22	243.50
7	0.48	318.51	77	5.29	242.10
8	0.55	370.37	78	5.36	240.75
9	0.62	422.49	79	5.43	239.45
10	0.69	474.06	80	5.50	238.19
11	0.76	524.10	81	5.57	236.98
12	0.82	571.31	82	5.64	235.81
13	0.89	614.16	83	5.70	234.68
14	0.96	650.70	84	5.77	233.58
15	1.03	678.72	85	5.84	232.53
16	1.10	695.94	86	5.91	231.52
17	1.17	700.66	87	5.98	230.54
18	1.24	692.80	88	6.05	229.59
19	1.31	674.68	89	6.12	228.68
20	1.37	650.32	90	6.19	227.80
21	1.44	623.57	91	6.25	226.96
22	1.51	596.97	92	6.32	226.14
23	1.58	571.91	93	6.39	225.36
24	1.65	548.83	94	6.46	224.60
25	1.72	527.77	95	6.53	223.87
26	1.79	508.62	96	6.60	223.17
27	1.86	491.20	97	6.67	222.49
28	1.92	475.31	98	6.74	221.84
29	1.99	460.78	99	6.80	221.22
30	2.06	447.44	100	6.87	220.62
31	2.13	435.15			
32	2.20	423.79			
33	2.27	413.26			
34	2.34	403.46			
35	2.41	394.33			
36	2.47	385.80			
37	2.54	377.80			
38	2.61	370.29			
39	2.68	363.22			
40	2.75	356.55			
41	2.82	350.26			
42	2.89	344.30			
43	2.96	338.66			
44	3.02	333.31			
45	3.09	328.23			
46	3.16	323.39			
47	3.23	318.79			
48	3.30	314.40			
49	3.37	310.21			
50	3.44	306.21			
51	3.51	302.39			
52	3.57	298.73			
53	3.64	295.23			
54	3.71	291.88			
55	3.78	288.67			
56	3.85	285.58			
57	3.92	282.63			
58	3.99	279.78			
59	4.06	277.05			
60	4.12	274.43			
61	4.19	271.90			
62	4.26	269.48			
63	4.33	267.14			
64	4.40	264.89			
65	4.47	262.73			
66	4.54	260.64			
67	4.60	258.64			
68	4.67	256.70			
69	4.74	254.83			
70	4.81	253.03			

LA ITERACION Nro. 10 ES LA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M5





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M3 - M2 - M5
(MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test) **Nro de pasos de Calculo:** 100

SIMULACION DE CURVA M3

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	26.816
0.137	55.266
0.206	85.038
0.275	115.849
0.343	147.435
0.412	179.542
0.481	211.934
0.549	244.349
0.618	276.512
0.687	308.123
0.755	338.812
0.824	368.128
0.893	395.473
0.962	420.017
1.030	440.504
1.099	454.844
1.168	459.013
1.236	444.761
1.305	407.309
1.374	367.868
1.442	336.659
1.511	312.279
1.580	292.594
1.648	276.218
1.717	262.282
1.786	250.209
1.854	239.597
1.923	230.164
1.992	221.700
2.060	214.048
2.129	207.080
2.198	200.699
2.266	194.825
2.335	189.395
2.404	184.355
2.473	179.660
2.541	175.273
2.610	171.165
2.679	167.307
2.747	163.674
2.816	160.246
2.885	157.005
2.953	153.934
3.022	151.022
3.091	148.253
3.159	145.619
3.228	143.109
3.297	140.714
3.365	138.426
3.434	136.239
3.503	134.145
3.571	132.138
3.640	130.214
3.709	128.368
3.777	126.594
3.846	124.888
3.915	123.247
3.983	121.668
4.052	120.147
4.121	118.680
4.190	117.265
4.258	115.900
4.327	114.582
4.396	113.310
4.464	112.080
4.533	110.890
4.602	109.739

SIMULACION DE CURVA M2

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	26.277
0.138	54.051
0.207	83.238
0.276	113.742
0.345	145.454
0.414	178.244
0.483	211.959
0.552	246.419
0.621	281.415
0.690	316.701
0.759	351.993
0.828	386.913
0.897	421.035
0.966	453.790
1.035	484.469
1.104	512.150
1.172	535.602
1.241	553.191
1.310	562.779
1.379	561.909
1.448	548.992
1.517	525.865
1.586	498.058
1.655	470.492
1.724	445.476
1.793	423.376
1.862	403.935
1.931	386.768
2.000	371.504
2.069	357.837
2.138	345.511
2.207	334.329
2.276	324.125
2.345	314.766
2.414	306.145
2.483	298.168
2.552	290.760
2.621	283.860
2.690	277.412
2.759	271.372
2.828	265.700
2.897	260.359
2.966	255.321
3.035	250.560
3.104	246.051
3.173	241.775
3.242	237.714
3.311	233.851
3.380	230.172
3.449	226.663
3.517	223.313
3.586	220.111
3.655	217.048
3.724	214.115
3.793	211.305
3.862	208.608
3.931	206.019
4.000	203.532
4.069	201.142
4.138	198.842
4.207	196.628
4.276	194.496
4.345	192.441
4.414	190.460
4.483	188.549
4.552	186.704
4.621	184.922

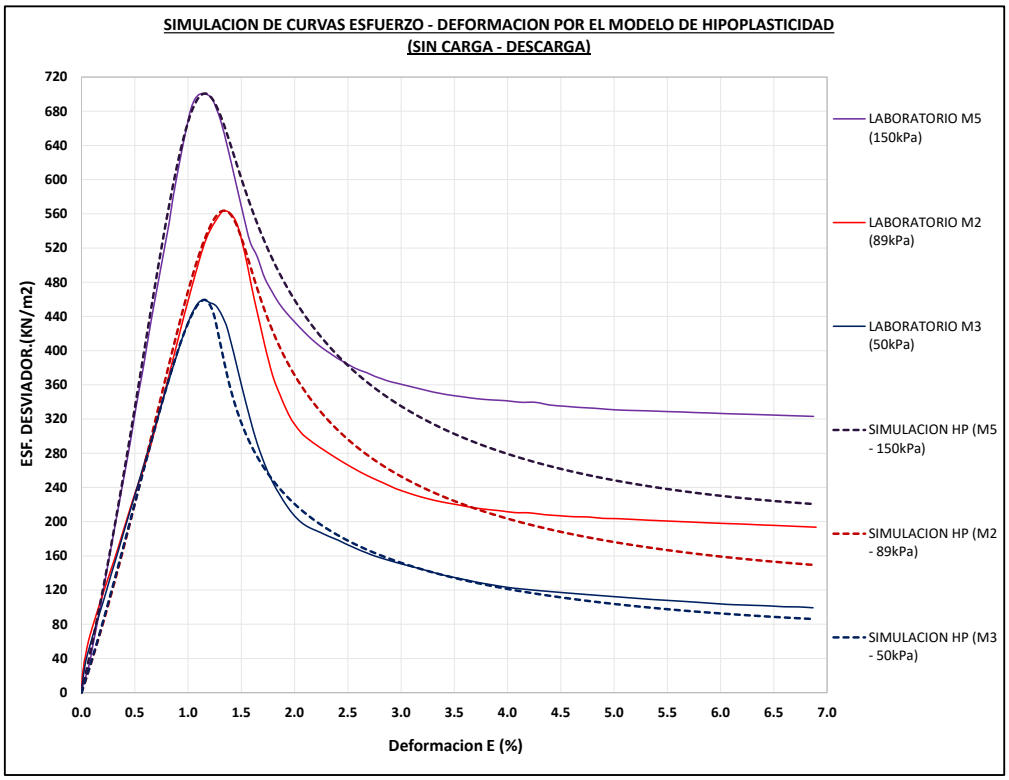
SIMULACION DE CURVA M5

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	39.068
0.137	80.476
0.206	124.165
0.275	170.036
0.344	217.915
0.412	267.532
0.481	318.513
0.550	370.372
0.619	422.489
0.687	474.062
0.756	524.095
0.825	571.314
0.893	614.157
0.962	650.700
1.031	678.720
1.100	695.944
1.168	700.659
1.237	692.798
1.306	674.682
1.375	650.316
1.443	623.571
1.512	596.975
1.581	571.912
1.650	548.828
1.718	527.771
1.787	508.621
1.856	491.203
1.924	475.313
1.993	460.780
2.062	447.436
2.131	435.147
2.199	423.786
2.268	413.256
2.337	403.464
2.406	394.331
2.474	385.796
2.543	377.798
2.612	370.288
2.680	363.218
2.749	356.553
2.818	350.259
2.887	344.305
2.955	338.664
3.024	333.313
3.093	328.229
3.162	323.392
3.230	318.786
3.299	314.397
3.368	310.209
3.437	306.210
3.505	302.388
3.574	298.732
3.643	295.232
3.711	291.880
3.780	288.666
3.849	285.583
3.918	282.625
3.986	279.783
4.055	277.053
4.124	274.428
4.193	271.905
4.261	269.477
4.330	267.142
4.399	264.894
4.467	262.729
4.536	260.644
4.605	258.635

4.670	108.626
4.739	107.549
4.808	106.506
4.876	105.495
4.945	104.516
5.014	103.567
5.082	102.647
5.151	101.755
5.220	100.889
5.288	100.049
5.357	99.233
5.426	98.442
5.494	97.674
5.563	96.928
5.632	96.204
5.701	95.500
5.769	94.816
5.838	94.151
5.907	93.506
5.975	92.878
6.044	92.267
6.113	91.674
6.181	91.097
6.250	90.536
6.319	89.990
6.387	89.460
6.456	88.944
6.525	88.442
6.593	87.954
6.662	87.479
6.731	87.017
6.799	86.568
6.868	86.131

4.690	183.200
4.759	181.536
4.828	179.929
4.897	178.374
4.966	176.870
5.035	175.414
5.104	174.005
5.173	172.641
5.242	171.320
5.311	170.040
5.380	168.800
5.449	167.598
5.518	166.433
5.587	165.303
5.656	164.208
5.725	163.144
5.793	162.112
5.862	161.112
5.931	160.140
6.000	159.198
6.069	158.284
6.138	157.396
6.207	156.535
6.276	155.698
6.345	154.886
6.414	154.098
6.483	153.332
6.552	152.589
6.621	151.867
6.690	151.167
6.759	150.486
6.828	149.825
6.897	149.184

4.674	256.699
4.742	254.833
4.811	253.034
4.880	251.299
4.949	249.626
5.017	248.012
5.086	246.455
5.155	244.952
5.223	243.502
5.292	242.103
5.361	240.753
5.430	239.451
5.498	238.191
5.567	236.979
5.636	235.807
5.705	234.675
5.773	233.584
5.842	232.532
5.911	231.516
5.980	230.537
6.048	229.593
6.117	228.682
6.186	227.804
6.254	226.958
6.323	226.142
6.392	225.356
6.461	224.599
6.529	223.870
6.598	223.168
6.667	222.493
6.736	221.843
6.804	221.218
6.873	220.617



ANEXO B6

SIMULACION MEDIANTE EL MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD

(MUESTRAS M4 – M1 – M6)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M4 (MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

ITERACION Nro. 01

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	30.56	51	3.53	63.58
2	0.14	66.62	52	3.60	63.16
3	0.21	108.49	53	3.67	62.78
4	0.28	156.20	54	3.74	62.43
5	0.35	209.37	55	3.81	62.12
6	0.42	266.92	56	3.88	61.84
7	0.48	326.82	57	3.94	61.59
8	0.55	385.29	58	4.01	61.38
9	0.62	434.96	59	4.08	61.18
10	0.69	456.71	60	4.15	61.02
11	0.76	381.00	61	4.22	60.88
12	0.83	291.96	62	4.29	60.76
13	0.90	244.32	63	4.36	60.66
14	0.97	213.61	64	4.43	60.58
15	1.04	191.51	65	4.50	60.52
16	1.11	174.54	66	4.57	60.49
17	1.18	160.96	67	4.64	60.46
18	1.25	149.79	68	4.71	60.46
19	1.31	140.39	69	4.77	60.46
20	1.38	132.35	70	4.84	60.49
21	1.45	125.38	71	4.91	60.52
22	1.52	119.29	72	4.98	60.57
23	1.59	113.90	73	5.05	60.63
24	1.66	109.10	74	5.12	60.71
25	1.73	104.81	75	5.19	60.79
26	1.80	100.95	76	5.26	60.88
27	1.87	97.45	77	5.33	60.98
28	1.94	94.28	78	5.40	61.09
29	2.01	91.40	79	5.47	61.21
30	2.08	88.76	80	5.54	61.34
31	2.15	86.35	81	5.61	61.48
32	2.21	84.14	82	5.67	61.62
33	2.28	82.10	83	5.74	61.76
34	2.35	80.23	84	5.81	61.92
35	2.42	78.50	85	5.88	62.08
36	2.49	76.91	86	5.95	62.24
37	2.56	75.44	87	6.02	62.41
38	2.63	74.09	88	6.09	62.58
39	2.70	72.83	89	6.16	62.76
40	2.77	71.68	90	6.23	62.94
41	2.84	70.61	91	6.30	63.13
42	2.91	69.62	92	6.37	63.31
43	2.98	68.70	93	6.44	63.51
44	3.04	67.86	94	6.50	63.70
45	3.11	67.09	95	6.57	63.90
46	3.18	66.37	96	6.64	64.09
47	3.25	65.71	97	6.71	64.30
48	3.32	65.11	98	6.78	64.50
49	3.39	64.55	99	6.85	64.70
50	3.46	64.05	100	6.92	64.91

ITERACION Nro. 02

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	25.61	51	3.53	70.03
2	0.14	55.02	52	3.60	69.36
3	0.21	88.38	53	3.67	68.74
4	0.28	125.69	54	3.74	68.16
5	0.35	166.74	55	3.81	67.62
6	0.42	211.01	56	3.88	67.12
7	0.48	257.56	57	3.94	66.65
8	0.55	304.84	58	4.01	66.22
9	0.62	350.20	59	4.08	65.82
10	0.69	388.96	60	4.15	65.45
11	0.76	411.32	61	4.22	65.11
12	0.83	391.60	62	4.29	64.80
13	0.90	321.93	63	4.36	64.51
14	0.97	270.24	64	4.43	64.25
15	1.04	236.42	65	4.50	64.01
16	1.11	212.20	66	4.57	63.79
17	1.18	193.69	67	4.64	63.60
18	1.25	178.92	68	4.71	63.42
19	1.31	166.77	69	4.77	63.26
20	1.38	156.54	70	4.84	63.13
21	1.45	147.79	71	4.91	63.01
22	1.52	140.20	72	4.98	62.90
23	1.59	133.53	73	5.05	62.82
24	1.66	127.63	74	5.12	62.75
25	1.73	122.37	75	5.19	62.69
26	1.80	117.64	76	5.26	62.65
27	1.87	113.36	77	5.33	62.62
28	1.94	109.48	78	5.40	62.60
29	2.01	105.95	79	5.47	62.59
30	2.08	102.72	80	5.54	62.60
31	2.15	99.75	81	5.61	62.61
32	2.21	97.02	82	5.67	62.64
33	2.28	94.50	83	5.74	62.68
34	2.35	92.17	84	5.81	62.72
35	2.42	90.01	85	5.88	62.78
36	2.49	88.01	86	5.95	62.84
37	2.56	86.15	87	6.02	62.91
38	2.63	84.42	88	6.09	62.99
39	2.70	82.80	89	6.16	63.07
40	2.77	81.30	90	6.23	63.17
41	2.84	79.89	91	6.30	63.27
42	2.91	78.58	92	6.37	63.37
43	2.98	77.36	93	6.44	63.48
44	3.04	76.21	94	6.50	63.60
45	3.11	75.14	95	6.57	63.72
46	3.18	74.14	96	6.64	63.85
47	3.25	73.20	97	6.71	63.98
48	3.32	72.33	98	6.78	64.12
49	3.39	71.51	99	6.85	64.26
50	3.46	70.74	100	6.92	64.41

ITERACION Nro. 03

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	25.36	51	3.53	88.95
2	0.14	53.47	52	3.60	87.72
3	0.21	84.24	53	3.67	86.55
4	0.28	117.53	54	3.74	85.43
5	0.35	153.15	55	3.81	84.37
6	0.42	190.82	56	3.88	83.36
7	0.48	230.19	57	3.94	82.40
8	0.55	270.74	58	4.01	81.48
9	0.62	311.81	59	4.08	80.60
10	0.69	352.43	60	4.15	79.77
11	0.76	391.21	61	4.22	78.97
12	0.83	425.92	62	4.29	78.21
13	0.90	452.56	63	4.36	77.49
14	0.97	461.94	64	4.43	76.80
15	1.04	425.64	65	4.50	76.14
16	1.11	353.09	66	4.57	75.51
17	1.18	304.70	67	4.64	74.92
18	1.25	271.99	68	4.71	74.34
19	1.31	247.79	69	4.77	73.80
20	1.38	228.83	70	4.84	73.28
21	1.45	213.38	71	4.91	72.79
22	1.52	200.46	72	4.98	72.32
23	1.59	189.43	73	5.05	71.87
24	1.66	179.86	74	5.12	71.45
25	1.73	171.47	75	5.19	71.04
26	1.80	164.01	76	5.26	70.66
27	1.87	157.34	77	5.33	70.29
28	1.94	151.33	78	5.40	69.95
29	2.01	145.89	79	5.47	69.62
30	2.08	140.92	80	5.54	69.31
31	2.15	136.37	81	5.61	69.01
32	2.21	132.18	82	5.67	68.74
33	2.28	128.32	83	5.74	68.47
34	2.35	124.74	84	5.81	68.23
35	2.42	121.42	85	5.88	67.99
36	2.49	118.32	86	5.95	67.77
37	2.56	115.43	87	6.02	67.57
38	2.63	112.73	88	6.09	67.37
39	2.70	110.20	89	6.16	67.19
40	2.77	107.82	90	6.23	67.02
41	2.84	105.58	91	6.30	66.87
42	2.91	103.47	92	6.37	66.72
43	2.98	101.48	93	6.44	66.59
44	3.04	99.60	94	6.50	66.47
45	3.11	97.82	95	6.57	66.35
46	3.18	96.14	96	6.64	66.25
47	3.25	94.55	97	6.71	66.15
48	3.32	93.04	98	6.78	66.07
49	3.39	91.60	99	6.85	65.99
50	3.46	90.24	100	6.92	65.93

ITERACION Nro. 04

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	21.90	71	4.91	91.30
2	0.14	45.59	72	4.98	90.44
3	0.21	70.97	73	5.05	89.62
4	0.28	97.93	74	5.12	88.82
5	0.35	126.35	75	5.19	88.05
6	0.42	156.11	76	5.26	87.31
7	0.48	187.05	77	5.33	86.59
8	0.55	219.01	78	5.40	85.90
9	0.62	251.77	79	5.47	85.23
10	0.69	285.08	80	5.54	84.59
11	0.76	318.66	81	5.61	83.97
12	0.83	352.11	82	5.67	83.37
13	0.90	384.94	83	5.74	82.79
14	0.97	416.49	84	5.81	82.23
15	1.04	445.79	85	5.88	81.68
16	1.11	471.38	86	5.95	81.16
17	1.18	490.66	87	6.02	80.66
18	1.25	498.11	88	6.09	80.17
19	1.31	476.88	89	6.16	79.70
20	1.38	409.41	90	6.23	79.24
21	1.45	356.17	91	6.30	78.80
22	1.52	320.13	92	6.37	78.38
23	1.59	293.47	93	6.44	77.97
24	1.66	272.51	94	6.50	77.57
25	1.73	255.38	95	6.57	77.19
26	1.80	240.98	96	6.64	76.82
27	1.87	228.63	97	6.71	76.47
28	1.94	217.86	98	6.78	76.13
29	2.01	208.35	99	6.85	75.79
30	2.08	199.88	100	6.92	75.48
31	2.15	192.26			
32	2.21	185.36			
33	2.28	179.08			
34	2.35	173.32			
35	2.42	168.03			
36	2.49	163.14			
37	2.56	158.60			
38	2.63	154.38			
39	2.70	150.44			
40	2.77	146.75			
41	2.84	143.29			
42	2.91	140.04			
43	2.98	136.98			
44	3.04	134.09			
45	3.11	131.36			
46	3.18	128.78			
47	3.25	126.33			
48	3.32	124.00			
49	3.39	121.79			
50	3.46	119.68			
51	3.53	117.67			
52	3.60	115.76			
53	3.67	113.93			
54	3.74	112.19			
55	3.81	110.51			
56	3.88	108.92			
57	3.94	107.38			
58	4.01	105.91			
59	4.08	104.51			
60	4.15	103.15			
61	4.22	101.86			
62	4.29	100.61			
63	4.36	99.41			
64	4.43	98.26			
65	4.50	97.15			
66	4.57	96.08			
67	4.64	95.05			
68	4.71	94.06			
69	4.77	93.10			
70	4.84	92.18			

ITERACION Nro. 05

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	18.80	71	4.91	74.58
2	0.14	38.85	72	4.98	74.08
3	0.21	60.08	73	5.05	73.60
4	0.28	82.37	74	5.12	73.14
5	0.35	105.62	75	5.19	72.71
6	0.42	129.70	76	5.26	72.30
7	0.48	154.47	77	5.33	71.91
8	0.55	179.79	78	5.40	71.54
9	0.62	205.49	79	5.47	71.19
10	0.69	231.38	80	5.54	70.85
11	0.76	257.23	81	5.61	70.54
12	0.83	282.81	82	5.67	70.24
13	0.90	307.78	83	5.74	69.96
14	0.97	331.77	84	5.81	69.69
15	1.04	354.24	85	5.88	69.44
16	1.11	374.39	86	5.95	69.20
17	1.18	390.98	87	6.02	68.98
18	1.25	401.58	88	6.09	68.77
19	1.31	400.01	89	6.16	68.58
20	1.38	356.42	90	6.23	68.39
21	1.45	293.69	91	6.30	68.22
22	1.52	258.61	92	6.37	68.06
23	1.59	234.52	93	6.44	67.91
24	1.66	216.25	94	6.50	67.78
25	1.73	201.64	95	6.57	67.65
26	1.80	189.54	96	6.64	67.54
27	1.87	179.28	97	6.71	67.43
28	1.94	170.41	98	6.78	67.33
29	2.01	162.65	99	6.85	67.25
30	2.08	155.78	100	6.92	67.17
31	2.15	149.65			
32	2.21	144.12			
33	2.28	139.12			
34	2.35	134.56			
35	2.42	130.38			
36	2.49	126.55			
37	2.56	123.01			
38	2.63	119.74			
39	2.70	116.70			
40	2.77	113.87			
41	2.84	111.23			
42	2.91	108.76			
43	2.98	106.45			
44	3.04	104.28			
45	3.11	102.24			
46	3.18	100.32			
47	3.25	98.51			
48	3.32	96.80			
49	3.39	95.19			
50	3.46	93.66			
51	3.53	92.22			
52	3.60	90.85			
53	3.67	89.55			
54	3.74	88.32			
55	3.81	87.15			
56	3.88	86.04			
57	3.94	84.98			
58	4.01	83.98			
59	4.08	83.02			
60	4.15	82.11			
61	4.22	81.25			
62	4.29	80.43			
63	4.36	79.64			
64	4.43	78.90			
65	4.50	78.19			
66	4.57	77.51			
67	4.64	76.87			
68	4.71	76.25			
69	4.77	75.67			
70	4.84	75.11			

ITERACION Nro. 06

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	18.80	71	4.91	84.67
2	0.14	38.89	72	4.98	83.88
3	0.21	60.20	73	5.05	83.12
4	0.28	82.66	74	5.12	82.39
5	0.35	106.21	75	5.19	81.69
6	0.42	130.77	76	5.26	81.02
7	0.48	156.25	77	5.33	80.37
8	0.55	182.56	78	5.40	79.75
9	0.62	209.58	79	5.47	79.16
10	0.69	237.20	80	5.54	78.59
11	0.76	265.27	81	5.61	78.04
12	0.83	293.64	82	5.67	77.51
13	0.90	322.11	83	5.74	77.00
14	0.97	350.47	84	5.81	76.52
15	1.04	378.43	85	5.88	76.05
16	1.11	405.65	86	5.95	75.60
17	1.18	431.64	87	6.02	75.17
18	1.25	455.75	88	6.09	74.76
19	1.31	476.94	89	6.16	74.36
20	1.38	493.38	90	6.23	73.98
21	1.45	500.95	91	6.30	73.62
22	1.52	480.63	92	6.37	73.27
23	1.59	364.00	93	6.44	72.93
24	1.66	314.46	94	6.50	72.61
25	1.73	282.73	95	6.57	72.30
26	1.80	259.43	96	6.64	72.01
27	1.87	241.10	97	6.71	71.73
28	1.94	226.09	98	6.78	71.46
29	2.01	213.44	99	6.85	71.21
30	2.08	202.55	100	6.92	70.96
31	2.15	193.07			
32	2.21	184.68			
33	2.28	177.20			
34	2.35	170.47			
35	2.42	164.37			
36	2.49	158.82			
37	2.56	153.73			
38	2.63	149.05			
39	2.70	144.72			
40	2.77	140.71			
41	2.84	136.99			
42	2.91	133.51			
43	2.98	130.26			
44	3.04	127.22			
45	3.11	124.36			
46	3.18	121.67			
47	3.25	119.13			
48	3.32	116.74			
49	3.39	114.47			
50	3.46	112.33			
51	3.53	110.30			
52	3.60	108.37			
53	3.67	106.54			
54	3.74	104.79			
55	3.81	103.14			
56	3.88	101.55			
57	3.94	100.05			
58	4.01	98.61			
59	4.08	97.23			
60	4.15	95.92			
61	4.22	94.66			
62	4.29	93.46			
63	4.36	92.31			
64	4.43	91.21			
65	4.50	90.15			
66	4.57	89.14			
67	4.64	88.17			
68	4.71	87.24			
69	4.77	86.35			
70	4.84	85.49			

ITERACION Nro. 07

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	13.54	71	4.91	81.54
2	0.14	27.78	72	4.98	80.79
3	0.21	42.71	73	5.05	80.07
4	0.28	58.31	74	5.12	79.38
5	0.35	74.56	75	5.19	78.72
6	0.42	91.43	76	5.26	78.10
7	0.48	108.90	77	5.33	77.50
8	0.55	126.95	78	5.40	76.93
9	0.62	145.53	79	5.47	76.39
10	0.69	164.61	80	5.54	75.87
11	0.76	184.14	81	5.61	75.37
12	0.83	204.05	82	5.67	74.90
13	0.90	224.30	83	5.74	74.45
14	0.97	244.81	84	5.81	74.02
15	1.04	265.50	85	5.88	73.61
16	1.11	286.27	86	5.95	73.22
17	1.18	307.04	87	6.02	72.85
18	1.25	327.64	88	6.09	72.49
19	1.31	347.95	89	6.16	72.16
20	1.38	367.77	90	6.23	71.84
21	1.45	386.84	91	6.30	71.53
22	1.52	404.83	92	6.37	71.24
23	1.59	421.26	93	6.44	70.97
24	1.66	435.35	94	6.50	70.71
25	1.73	445.74	95	6.57	70.47
26	1.80	449.10	96	6.64	70.23
27	1.87	422.74	97	6.71	70.01
28	1.94	292.03	98	6.78	69.81
29	2.01	259.72	99	6.85	69.61
30	2.08	236.76	100	6.92	69.43
31	2.15	219.16			
32	2.21	204.99			
33	2.28	193.17			
34	2.35	183.10			
35	2.42	174.36			
36	2.49	166.68			
37	2.56	159.85			
38	2.63	153.73			
39	2.70	148.21			
40	2.77	143.19			
41	2.84	138.60			
42	2.91	134.40			
43	2.98	130.52			
44	3.04	126.94			
45	3.11	123.62			
46	3.18	120.54			
47	3.25	117.66			
48	3.32	114.97			
49	3.39	112.45			
50	3.46	110.09			
51	3.53	107.86			
52	3.60	105.77			
53	3.67	103.80			
54	3.74	101.94			
55	3.81	100.18			
56	3.88	98.52			
57	3.94	96.94			
58	4.01	95.45			
59	4.08	94.03			
60	4.15	92.69			
61	4.22	91.41			
62	4.29	90.19			
63	4.36	89.03			
64	4.43	87.93			
65	4.50	86.88			
66	4.57	85.88			
67	4.64	84.93			
68	4.71	84.02			
69	4.77	83.15			
70	4.84	82.33			

ITERACION Nro. 08

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	17.03	71	4.91	84.04
2	0.14	35.11	72	4.98	83.31
3	0.21	54.17	73	5.05	82.62
4	0.28	74.14	74	5.12	81.96
5	0.35	94.95	75	5.19	81.32
6	0.42	116.51	76	5.26	80.71
7	0.48	138.73	77	5.33	80.12
8	0.55	161.52	78	5.40	79.55
9	0.62	184.76	79	5.47	79.01
10	0.69	208.35	80	5.54	78.49
11	0.76	232.15	81	5.61	78.00
12	0.83	256.02	82	5.67	77.52
13	0.90	279.77	83	5.74	77.06
14	0.97	303.20	84	5.81	76.62
15	1.04	326.06	85	5.88	76.20
16	1.11	348.01	86	5.95	75.79
17	1.18	368.63	87	6.02	75.41
18	1.25	387.31	88	6.09	75.03
19	1.31	403.07	89	6.16	74.68
20	1.38	414.27	90	6.23	74.34
21	1.45	417.30	91	6.30	74.01
22	1.52	400.50	92	6.37	73.70
23	1.59	340.01	93	6.44	73.40
24	1.66	295.70	94	6.50	73.12
25	1.73	266.75	95	6.57	72.84
26	1.80	245.38	96	6.64	72.58
27	1.87	228.55	97	6.71	72.34
28	1.94	214.73	98	6.78	72.10
29	2.01	203.07	99	6.85	71.88
30	2.08	193.04	100	6.92	71.66
31	2.15	184.27			
32	2.21	176.52			
33	2.28	169.61			
34	2.35	163.38			
35	2.42	157.73			
36	2.49	152.59			
37	2.56	147.88			
38	2.63	143.54			
39	2.70	139.53			
40	2.77	135.82			
41	2.84	132.37			
42	2.91	129.15			
43	2.98	126.14			
44	3.04	123.32			
45	3.11	120.67			
46	3.18	118.18			
47	3.25	115.83			
48	3.32	113.61			
49	3.39	111.52			
50	3.46	109.53			
51	3.53	107.65			
52	3.60	105.87			
53	3.67	104.18			
54	3.74	102.57			
55	3.81	101.03			
56	3.88	99.57			
57	3.94	98.18			
58	4.01	96.85			
59	4.08	95.58			
60	4.15	94.37			
61	4.22	93.22			
62	4.29	92.11			
63	4.36	91.05			
64	4.43	90.04			
65	4.50	89.07			
66	4.57	88.14			
67	4.64	87.25			
68	4.71	86.39			
69	4.77	85.57			
70	4.84	84.79			

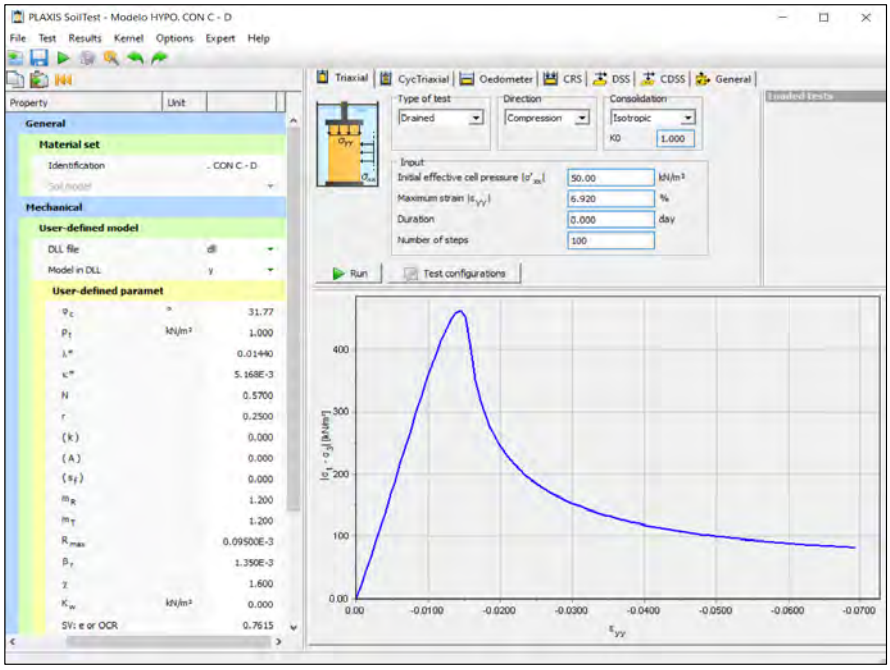
ITERACION Nro. 09

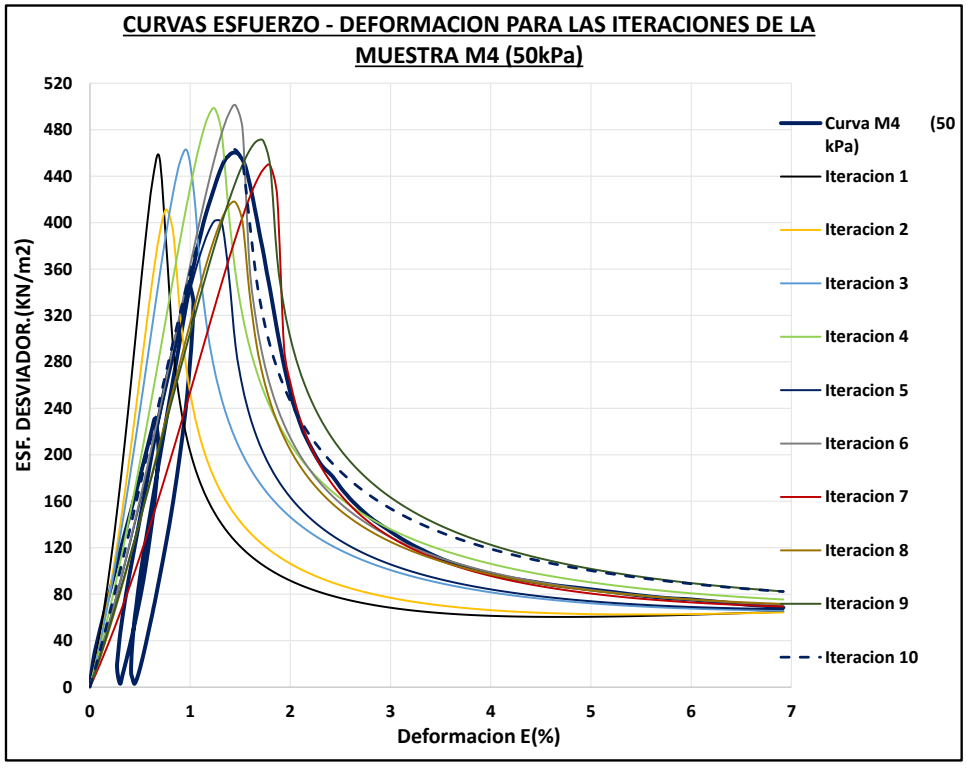
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	17.74	71	4.91	103.21
2	0.14	36.36	72	4.98	102.10
3	0.21	55.77	73	5.05	101.04
4	0.28	75.85	74	5.12	100.01
5	0.35	96.52	75	5.19	99.02
6	0.42	117.70	76	5.26	98.06
7	0.48	139.30	77	5.33	97.13
8	0.55	161.23	78	5.40	96.24
9	0.62	183.42	79	5.47	95.37
10	0.69	205.78	80	5.54	94.54
11	0.76	228.24	81	5.61	93.73
12	0.83	250.70	82	5.67	92.94
13	0.90	273.09	83	5.74	92.19
14	0.97	295.30	84	5.81	91.45
15	1.04	317.24	85	5.88	90.75
16	1.11	338.80	86	5.95	90.06
17	1.18	359.83	87	6.02	89.39
18	1.25	380.18	88	6.09	88.75
19	1.31	399.66	89	6.16	88.13
20	1.38	418.01	90	6.23	87.52
21	1.45	434.89	91	6.30	86.94
22	1.52	449.79	92	6.37	86.37
23	1.59	461.94	93	6.44	85.82
24	1.66	469.88	94	6.50	85.29
25	1.73	470.27	95	6.57	84.77
26	1.80	448.30	96	6.64	84.27
27	1.87	369.17	97	6.71	83.79
28	1.94	326.74	98	6.78	83.32
29	2.01	298.43	99	6.85	82.86
30	2.08	277.08	100	6.92	82.42
31	2.15	259.97			
32	2.21	245.73			
33	2.28	233.59			
34	2.35	223.03			
35	2.42	213.73			
36	2.49	205.44			
37	2.56	197.98			
38	2.63	191.22			
39	2.70	185.06			
40	2.77	179.41			
41	2.84	174.20			
42	2.91	169.38			
43	2.98	164.91			
44	3.04	160.74			
45	3.11	156.84			
46	3.18	153.19			
47	3.25	149.76			
48	3.32	146.53			
49	3.39	143.48			
50	3.46	140.60			
51	3.53	137.87			
52	3.60	135.29			
53	3.67	132.83			
54	3.74	130.50			
55	3.81	128.28			
56	3.88	126.16			
57	3.94	124.13			
58	4.01	122.20			
59	4.08	120.35			
60	4.15	118.58			
61	4.22	116.89			
62	4.29	115.26			
63	4.36	113.70			
64	4.43	112.21			
65	4.50	110.77			
66	4.57	109.38			
67	4.64	108.05			
68	4.71	106.77			
69	4.77	105.54			
70	4.84	104.35			

ITERACION Nro. 10

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	21.37	71	4.91	101.61
2	0.14	43.91	72	4.98	100.60
3	0.21	67.41	73	5.05	99.62
4	0.28	91.70	74	5.12	98.68
5	0.35	116.63	75	5.19	97.77
6	0.42	142.05	76	5.26	96.89
7	0.48	167.82	77	5.33	96.03
8	0.55	193.81	78	5.40	95.21
9	0.62	219.89	79	5.47	94.41
10	0.69	245.92	80	5.54	93.63
11	0.76	271.76	81	5.61	92.88
12	0.83	297.27	82	5.67	92.16
13	0.90	322.28	83	5.74	91.45
14	0.97	346.61	84	5.81	90.77
15	1.04	370.02	85	5.88	90.11
16	1.11	392.24	86	5.95	89.47
17	1.18	412.88	87	6.02	88.85
18	1.25	431.42	88	6.09	88.24
19	1.31	447.06	89	6.16	87.66
20	1.38	458.42	90	6.23	87.09
21	1.45	462.69	91	6.30	86.54
22	1.52	451.77	92	6.37	86.01
23	1.59	401.77	93	6.44	85.50
24	1.66	351.53	94	6.50	85.00
25	1.73	318.18	95	6.57	84.51
26	1.80	293.63	96	6.64	84.04
27	1.87	274.30	97	6.71	83.58
28	1.94	258.43	98	6.78	83.14
29	2.01	245.02	99	6.85	82.71
30	2.08	233.46	100	6.92	82.29
31	2.15	223.33			
32	2.21	214.36			
33	2.28	206.31			
34	2.35	199.05			
35	2.42	192.45			
36	2.49	186.41			
37	2.56	180.87			
38	2.63	175.74			
39	2.70	170.99			
40	2.77	166.57			
41	2.84	162.45			
42	2.91	158.59			
43	2.98	154.96			
44	3.04	151.55			
45	3.11	148.34			
46	3.18	145.31			
47	3.25	142.44			
48	3.32	139.72			
49	3.39	137.14			
50	3.46	134.68			
51	3.53	132.35			
52	3.60	130.12			
53	3.67	127.99			
54	3.74	125.96			
55	3.81	124.02			
56	3.88	122.16			
57	3.94	120.38			
58	4.01	118.68			
59	4.08	117.04			
60	4.15	115.47			
61	4.22	113.96			
62	4.29	112.51			
63	4.36	111.11			
64	4.43	109.76			
65	4.50	108.47			
66	4.57	107.22			
67	4.64	106.02			
68	4.71	104.86			
69	4.77	103.74			
70	4.84	102.65			

LA ITERACION Nro. 10 ES LA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M4





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M1 (MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

ITERACION Nro. 01

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	31.14	51	3.51	143.63
2	0.14	62.37	52	3.58	141.87
3	0.21	93.28	53	3.65	140.21
4	0.28	123.56	54	3.72	138.64
5	0.34	152.94	55	3.79	137.16
6	0.41	181.24	56	3.86	135.76
7	0.48	208.32	57	3.93	134.44
8	0.55	234.09	58	3.99	133.19
9	0.62	258.47	59	4.06	132.02
10	0.69	281.40	60	4.13	130.90
11	0.76	302.83	61	4.20	129.85
12	0.83	322.75	62	4.27	128.85
13	0.90	341.06	63	4.34	127.91
14	0.96	357.69	64	4.41	127.02
15	1.03	372.52	65	4.48	126.18
16	1.10	385.38	66	4.55	125.39
17	1.17	395.99	67	4.61	124.64
18	1.24	403.92	68	4.68	123.93
19	1.31	408.40	69	4.75	123.27
20	1.38	408.03	70	4.82	122.64
21	1.45	399.90	71	4.89	122.06
22	1.52	378.44	72	4.96	121.50
23	1.58	346.63	73	5.03	120.98
24	1.65	318.97	74	5.10	120.49
25	1.72	297.02	75	5.17	120.04
26	1.79	279.15	76	5.23	119.61
27	1.86	264.19	77	5.30	119.21
28	1.93	251.40	78	5.37	118.84
29	2.00	240.30	79	5.44	118.49
30	2.07	230.53	80	5.51	118.17
31	2.13	221.85	81	5.58	117.87
32	2.20	214.09	82	5.65	117.60
33	2.27	207.09	83	5.72	117.35
34	2.34	200.74	84	5.79	117.12
35	2.41	194.95	85	5.85	116.91
36	2.48	189.66	86	5.92	116.72
37	2.55	184.80	87	5.99	116.55
38	2.62	180.32	88	6.06	116.40
39	2.69	176.17	89	6.13	116.26
40	2.75	172.34	90	6.20	116.14
41	2.82	168.77	91	6.27	116.04
42	2.89	165.45	92	6.34	115.95
43	2.96	162.35	93	6.40	115.88
44	3.03	159.45	94	6.47	115.82
45	3.10	156.74	95	6.54	115.78
46	3.17	154.21	96	6.61	115.75
47	3.24	151.82	97	6.68	115.73
48	3.31	149.58	98	6.75	115.73
49	3.37	147.48	99	6.82	115.73
50	3.44	145.49	100	6.89	115.75

ITERACION Nro. 02

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	25.33	51	3.51	183.35
2	0.14	51.58	52	3.58	180.11
3	0.21	78.62	53	3.65	177.04
4	0.28	106.31	54	3.72	174.14
5	0.34	134.54	55	3.79	171.39
6	0.41	163.18	56	3.86	168.78
7	0.48	192.11	57	3.93	166.30
8	0.55	221.21	58	3.99	163.94
9	0.62	250.36	59	4.06	161.70
10	0.69	279.46	60	4.13	159.57
11	0.76	308.38	61	4.20	157.54
12	0.83	337.03	62	4.27	155.60
13	0.90	365.26	63	4.34	153.75
14	0.96	392.98	64	4.41	151.99
15	1.03	420.07	65	4.48	150.31
16	1.10	446.36	66	4.55	148.70
17	1.17	471.71	67	4.61	147.16
18	1.24	495.90	68	4.68	145.70
19	1.31	518.74	69	4.75	144.29
20	1.38	539.88	70	4.82	142.95
21	1.45	558.93	71	4.89	141.67
22	1.52	575.26	72	4.96	140.44
23	1.58	587.90	73	5.03	139.27
24	1.65	595.13	74	5.10	138.14
25	1.72	593.04	75	5.17	137.07
26	1.79	567.75	76	5.23	136.04
27	1.86	482.38	77	5.30	135.05
28	1.93	428.35	78	5.37	134.11
29	2.00	391.99	79	5.44	133.21
30	2.07	364.36	80	5.51	132.35
31	2.13	342.10	81	5.58	131.52
32	2.20	323.51	82	5.65	130.73
33	2.27	307.62	83	5.72	129.98
34	2.34	293.79	84	5.79	129.26
35	2.41	281.59	85	5.85	128.57
36	2.48	270.72	86	5.92	127.91
37	2.55	260.95	87	5.99	127.28
38	2.62	252.11	88	6.06	126.68
39	2.69	244.06	89	6.13	126.11
40	2.75	236.69	90	6.20	125.56
41	2.82	229.92	91	6.27	125.04
42	2.89	223.66	92	6.34	124.54
43	2.96	217.87	93	6.40	124.07
44	3.03	212.49	94	6.47	123.62
45	3.10	207.47	95	6.54	123.19
46	3.17	202.79	96	6.61	122.78
47	3.24	198.40	97	6.68	122.40
48	3.31	194.29	98	6.75	122.03
49	3.37	190.42	99	6.82	121.69
50	3.44	186.78	100	6.89	121.36

ITERACION Nro. 03

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	20.51	51	3.51	178.16
2	0.14	41.64	52	3.58	174.92
3	0.21	63.34	53	3.65	171.86
4	0.28	85.52	54	3.72	168.99
5	0.34	108.10	55	3.79	166.27
6	0.41	131.03	56	3.86	163.71
7	0.48	154.21	57	3.93	161.29
8	0.55	177.56	58	3.99	158.99
9	0.62	201.02	59	4.06	156.82
10	0.69	224.50	60	4.13	154.77
11	0.76	247.92	61	4.20	152.81
12	0.83	271.20	62	4.27	150.96
13	0.90	294.26	63	4.34	149.20
14	0.96	317.01	64	4.41	147.53
15	1.03	339.39	65	4.48	145.94
16	1.10	361.26	66	4.55	144.43
17	1.17	382.56	67	4.61	143.00
18	1.24	403.15	68	4.68	141.63
19	1.31	422.89	69	4.75	140.33
20	1.38	441.64	70	4.82	139.09
21	1.45	459.17	71	4.89	137.92
22	1.52	475.21	72	4.96	136.80
23	1.58	489.40	73	5.03	135.73
24	1.65	501.20	74	5.10	134.71
25	1.72	509.76	75	5.17	133.74
26	1.79	513.62	76	5.23	132.82
27	1.86	509.77	77	5.30	131.94
28	1.93	490.14	78	5.37	131.10
29	2.00	439.53	79	5.44	130.31
30	2.07	393.00	80	5.51	129.55
31	2.13	360.48	81	5.58	128.83
32	2.20	335.59	82	5.65	128.14
33	2.27	315.47	83	5.72	127.49
34	2.34	298.63	84	5.79	126.88
35	2.41	284.21	85	5.85	126.29
36	2.48	271.66	86	5.92	125.73
37	2.55	260.58	87	5.99	125.21
38	2.62	250.71	88	6.06	124.71
39	2.69	241.85	89	6.13	124.23
40	2.75	233.82	90	6.20	123.79
41	2.82	226.52	91	6.27	123.36
42	2.89	219.84	92	6.34	122.96
43	2.96	213.70	93	6.40	122.59
44	3.03	208.05	94	6.47	122.23
45	3.10	202.82	95	6.54	121.90
46	3.17	197.96	96	6.61	121.59
47	3.24	193.45	97	6.68	121.29
48	3.31	189.24	98	6.75	121.02
49	3.37	185.30	99	6.82	120.76
50	3.44	181.62	100	6.89	120.52

ITERACION Nro. 04

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	16.66	71	4.89	132.12
2	0.14	34.08	72	4.96	131.21
3	0.21	52.26	73	5.03	130.36
4	0.28	71.18	74	5.10	129.55
5	0.34	90.81	75	5.17	128.78
6	0.41	111.11	76	5.23	128.05
7	0.48	132.04	77	5.30	127.36
8	0.55	153.54	78	5.37	126.71
9	0.62	175.55	79	5.44	126.10
10	0.69	197.98	80	5.51	125.52
11	0.76	220.75	81	5.58	124.97
12	0.83	243.75	82	5.65	124.45
13	0.90	266.84	83	5.72	123.96
14	0.96	289.91	84	5.79	123.50
15	1.03	312.75	85	5.85	123.07
16	1.10	335.17	86	5.92	122.66
17	1.17	356.94	87	5.99	122.28
18	1.24	377.72	88	6.06	121.93
19	1.31	397.14	89	6.13	121.59
20	1.38	414.67	90	6.20	121.28
21	1.45	429.62	91	6.27	120.99
22	1.52	441.04	92	6.34	120.72
23	1.58	447.59	93	6.40	120.48
24	1.65	447.34	94	6.47	120.25
25	1.72	437.99	95	6.54	120.03
26	1.79	418.33	96	6.61	119.84
27	1.86	391.74	97	6.68	119.67
28	1.93	364.52	98	6.75	119.51
29	2.00	340.26	99	6.82	119.36
30	2.07	319.43	100	6.89	119.23
31	2.13	301.58			
32	2.20	286.16			
33	2.27	272.71			
34	2.34	260.86			
35	2.41	250.34			
36	2.48	240.92			
37	2.55	232.43			
38	2.62	224.74			
39	2.69	217.73			
40	2.75	211.32			
41	2.82	205.44			
42	2.89	200.02			
43	2.96	195.00			
44	3.03	190.36			
45	3.10	186.04			
46	3.17	182.03			
47	3.24	178.28			
48	3.31	174.77			
49	3.37	171.49			
50	3.44	168.42			
51	3.51	165.53			
52	3.58	162.81			
53	3.65	160.26			
54	3.72	157.85			
55	3.79	155.58			
56	3.86	153.43			
57	3.93	151.41			
58	3.99	149.49			
59	4.06	147.68			
60	4.13	145.97			
61	4.20	144.35			
62	4.27	142.81			
63	4.34	141.35			
64	4.41	139.97			
65	4.48	138.66			
66	4.55	137.42			
67	4.61	136.25			
68	4.68	135.13			
69	4.75	134.07			
70	4.82	133.07			

ITERACION Nro. 05

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	25.67	71	4.89	123.37
2	0.14	53.63	72	4.96	122.61
3	0.21	83.97	73	5.03	121.88
4	0.28	116.71	74	5.10	121.20
5	0.34	151.88	75	5.17	120.55
6	0.41	189.43	76	5.23	119.93
7	0.48	229.23	77	5.30	119.35
8	0.55	271.09	78	5.37	118.81
9	0.62	314.70	79	5.44	118.29
10	0.69	359.60	80	5.51	117.80
11	0.76	405.17	81	5.58	117.35
12	0.83	450.55	82	5.65	116.92
13	0.90	494.49	83	5.72	116.52
14	0.96	535.19	84	5.79	116.14
15	1.03	569.93	85	5.85	115.79
16	1.10	594.32	86	5.92	115.46
17	1.17	600.84	87	5.99	115.15
18	1.24	577.94	88	6.06	114.87
19	1.31	524.63	89	6.13	114.61
20	1.38	468.19	90	6.20	114.37
21	1.45	422.89	91	6.27	114.14
22	1.52	387.46	92	6.34	113.94
23	1.58	359.03	93	6.40	113.76
24	1.65	335.61	94	6.47	113.59
25	1.72	315.88	95	6.54	113.44
26	1.79	298.97	96	6.61	113.31
27	1.86	284.27	97	6.68	113.20
28	1.93	271.33	98	6.75	113.10
29	2.00	259.85	99	6.82	113.01
30	2.07	249.56	100	6.89	112.94
31	2.13	240.29			
32	2.20	231.88			
33	2.27	224.22			
34	2.34	217.20			
35	2.41	210.75			
36	2.48	204.80			
37	2.55	199.30			
38	2.62	194.19			
39	2.69	189.43			
40	2.75	185.00			
41	2.82	180.85			
42	2.89	176.97			
43	2.96	173.33			
44	3.03	169.92			
45	3.10	166.70			
46	3.17	163.67			
47	3.24	160.82			
48	3.31	158.12			
49	3.37	155.58			
50	3.44	153.17			
51	3.51	150.89			
52	3.58	148.73			
53	3.65	146.69			
54	3.72	144.75			
55	3.79	142.91			
56	3.86	141.16			
57	3.93	139.50			
58	3.99	137.93			
59	4.06	136.43			
60	4.13	135.01			
61	4.20	133.67			
62	4.27	132.38			
63	4.34	131.16			
64	4.41	130.01			
65	4.48	128.91			
66	4.55	127.86			
67	4.61	126.87			
68	4.68	125.92			
69	4.75	125.03			
70	4.82	124.18			

ITERACION Nro. 06

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	30.73	71	4.89	105.77
2	0.14	65.05	72	4.96	105.85
3	0.21	102.89	73	5.03	105.95
4	0.28	143.98	74	5.10	106.06
5	0.34	187.70	75	5.17	106.20
6	0.41	232.92	76	5.23	106.35
7	0.48	277.90	77	5.30	106.52
8	0.55	320.06	78	5.37	106.70
9	0.62	355.81	79	5.44	106.89
10	0.69	380.39	80	5.51	107.10
11	0.76	388.72	81	5.58	107.32
12	0.83	378.70	82	5.65	107.56
13	0.90	355.42	83	5.72	107.80
14	0.96	327.99	84	5.79	108.06
15	1.03	302.13	85	5.85	108.32
16	1.10	279.63	86	5.92	108.59
17	1.17	260.43	87	5.99	108.88
18	1.24	244.05	88	6.06	109.17
19	1.31	229.98	89	6.13	109.46
20	1.38	217.79	90	6.20	109.77
21	1.45	207.13	91	6.27	110.08
22	1.52	197.75	92	6.34	110.39
23	1.58	189.42	93	6.40	110.72
24	1.65	181.99	94	6.47	111.04
25	1.72	175.33	95	6.54	111.38
26	1.79	169.31	96	6.61	111.71
27	1.86	163.87	97	6.68	112.06
28	1.93	158.92	98	6.75	112.40
29	2.00	154.41	99	6.82	112.75
30	2.07	150.29	100	6.89	113.10
31	2.13	146.52			
32	2.20	143.05			
33	2.27	139.86			
34	2.34	136.93			
35	2.41	134.22			
36	2.48	131.72			
37	2.55	129.41			
38	2.62	127.28			
39	2.69	125.31			
40	2.75	123.49			
41	2.82	121.80			
42	2.89	120.24			
43	2.96	118.80			
44	3.03	117.47			
45	3.10	116.24			
46	3.17	115.11			
47	3.24	114.07			
48	3.31	113.11			
49	3.37	112.23			
50	3.44	111.42			
51	3.51	110.68			
52	3.58	110.01			
53	3.65	109.40			
54	3.72	108.85			
55	3.79	108.35			
56	3.86	107.90			
57	3.93	107.50			
58	3.99	107.15			
59	4.06	106.84			
60	4.13	106.58			
61	4.20	106.35			
62	4.27	106.15			
63	4.34	106.00			
64	4.41	105.87			
65	4.48	105.78			
66	4.55	105.71			
67	4.61	105.67			
68	4.68	105.66			
69	4.75	105.67			
70	4.82	105.71			

ITERACION Nro. 07

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	30.95	71	4.89	109.23
2	0.14	65.60	72	4.96	108.98
3	0.21	104.04	73	5.03	108.76
4	0.28	146.29	74	5.10	108.56
5	0.34	192.17	75	5.17	108.40
6	0.41	241.23	76	5.23	108.25
7	0.48	292.66	77	5.30	108.13
8	0.55	345.16	78	5.37	108.04
9	0.62	396.72	79	5.44	107.96
10	0.69	444.32	80	5.51	107.91
11	0.76	483.31	81	5.58	107.88
12	0.83	506.57	82	5.65	107.86
13	0.90	504.56	83	5.72	107.86
14	0.96	473.16	84	5.79	107.89
15	1.03	427.64	85	5.85	107.92
16	1.10	385.42	86	5.92	107.98
17	1.17	350.91	87	5.99	108.05
18	1.24	322.97	88	6.06	108.13
19	1.31	300.03	89	6.13	108.23
20	1.38	280.84	90	6.20	108.34
21	1.45	264.53	91	6.27	108.46
22	1.52	250.45	92	6.34	108.60
23	1.58	238.18	93	6.40	108.75
24	1.65	227.36	94	6.47	108.91
25	1.72	217.75	95	6.54	109.08
26	1.79	209.15	96	6.61	109.25
27	1.86	201.39	97	6.68	109.44
28	1.93	194.38	98	6.75	109.64
29	2.00	187.99	99	6.82	109.85
30	2.07	182.16	100	6.89	110.07
31	2.13	176.82			
32	2.20	171.90			
33	2.27	167.37			
34	2.34	163.18			
35	2.41	159.30			
36	2.48	155.70			
37	2.55	152.35			
38	2.62	149.23			
39	2.69	146.32			
40	2.75	143.60			
41	2.82	141.06			
42	2.89	138.69			
43	2.96	136.46			
44	3.03	134.38			
45	3.10	132.43			
46	3.17	130.60			
47	3.24	128.89			
48	3.31	127.28			
49	3.37	125.77			
50	3.44	124.35			
51	3.51	123.03			
52	3.58	121.78			
53	3.65	120.62			
54	3.72	119.53			
55	3.79	118.51			
56	3.86	117.55			
57	3.93	116.66			
58	3.99	115.82			
59	4.06	115.05			
60	4.13	114.32			
61	4.20	113.65			
62	4.27	113.02			
63	4.34	112.45			
64	4.41	111.91			
65	4.48	111.42			
66	4.55	110.96			
67	4.61	110.55			
68	4.68	110.17			
69	4.75	109.82			
70	4.82	109.51			

ITERACION Nro. 08

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	23.52	71	4.89	132.61
2	0.14	48.46	72	4.96	131.73
3	0.21	74.75	73	5.03	130.88
4	0.28	102.30	74	5.10	130.08
5	0.34	131.03	75	5.17	129.31
6	0.41	160.80	76	5.23	128.58
7	0.48	191.47	77	5.30	127.88
8	0.55	222.88	78	5.37	127.22
9	0.62	254.84	79	5.44	126.59
10	0.69	287.10	80	5.51	125.99
11	0.76	319.38	81	5.58	125.41
12	0.83	351.37	82	5.65	124.87
13	0.90	382.64	83	5.72	124.36
14	0.96	412.67	84	5.79	123.87
15	1.03	440.77	85	5.85	123.41
16	1.10	466.04	86	5.92	122.97
17	1.17	487.21	87	5.99	122.56
18	1.24	502.40	88	6.06	122.16
19	1.31	508.81	89	6.13	121.79
20	1.38	502.43	90	6.20	121.45
21	1.45	479.77	91	6.27	121.12
22	1.52	445.15	92	6.34	120.81
23	1.58	409.80	93	6.40	120.52
24	1.65	379.37	94	6.47	120.25
25	1.72	353.99	95	6.54	120.00
26	1.79	332.70	96	6.61	119.76
27	1.86	314.59	97	6.68	119.54
28	1.93	298.96	98	6.75	119.34
29	2.00	285.31	99	6.82	119.15
30	2.07	273.24	100	6.89	118.98
31	2.13	262.49			
32	2.20	252.84			
33	2.27	244.12			
34	2.34	236.19			
35	2.41	228.94			
36	2.48	222.29			
37	2.55	216.17			
38	2.62	210.51			
39	2.69	205.26			
40	2.75	200.37			
41	2.82	195.82			
42	2.89	191.57			
43	2.96	187.59			
44	3.03	183.86			
45	3.10	180.35			
46	3.17	177.05			
47	3.24	173.94			
48	3.31	171.00			
49	3.37	168.23			
50	3.44	165.60			
51	3.51	163.12			
52	3.58	160.76			
53	3.65	158.53			
54	3.72	156.41			
55	3.79	154.40			
56	3.86	152.49			
57	3.93	150.67			
58	3.99	148.93			
59	4.06	147.29			
60	4.13	145.72			
61	4.20	144.22			
62	4.27	142.80			
63	4.34	141.44			
64	4.41	140.14			
65	4.48	138.91			
66	4.55	137.73			
67	4.61	136.61			
68	4.68	135.54			
69	4.75	134.52			
70	4.82	133.54			

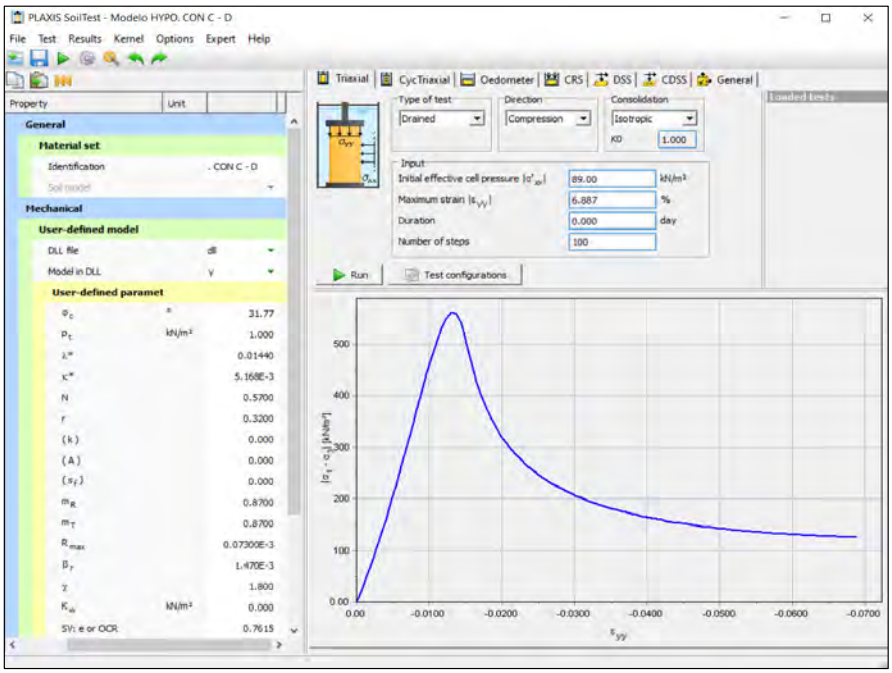
ITERACION Nro. 09

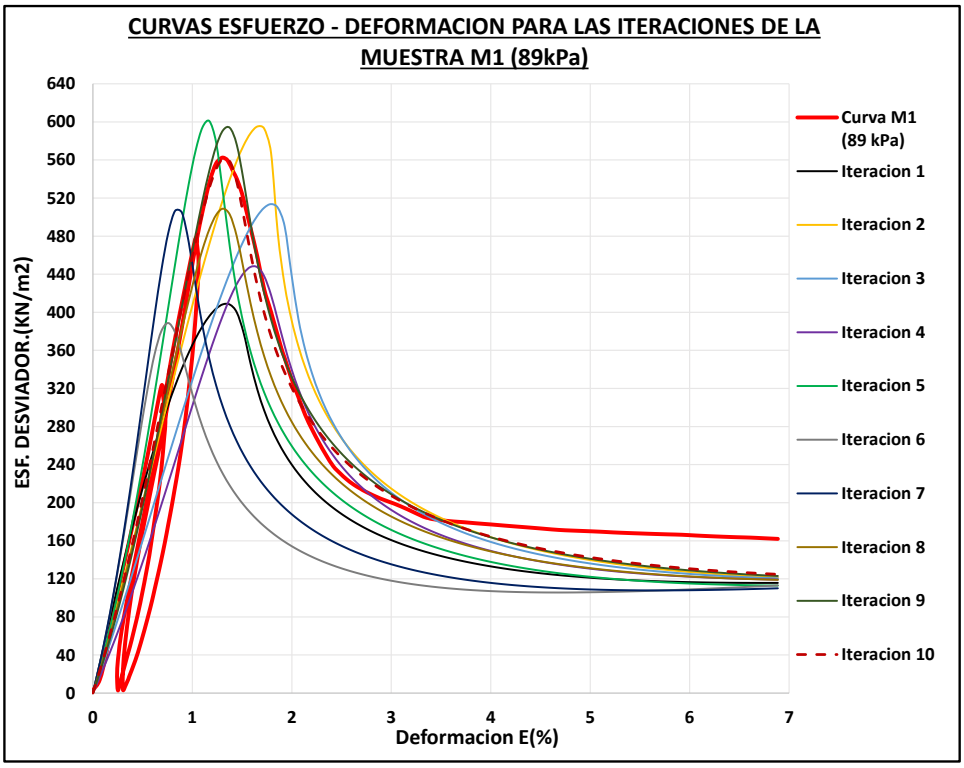
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	21.67	71	4.89	142.92
2	0.14	44.98	72	4.96	141.74
3	0.21	69.98	73	5.03	140.62
4	0.28	96.69	74	5.10	139.54
5	0.34	125.14	75	5.17	138.50
6	0.41	155.33	76	5.23	137.51
7	0.48	187.21	77	5.30	136.56
8	0.55	220.72	78	5.37	135.64
9	0.62	255.74	79	5.44	134.77
10	0.69	292.09	80	5.51	133.93
11	0.76	329.54	81	5.58	133.12
12	0.83	367.77	82	5.65	132.35
13	0.90	406.35	83	5.72	131.61
14	0.96	444.68	84	5.79	130.90
15	1.03	482.00	85	5.85	130.22
16	1.10	517.22	86	5.92	129.57
17	1.17	548.81	87	5.99	128.95
18	1.24	574.58	88	6.06	128.36
19	1.31	591.19	89	6.13	127.79
20	1.38	593.67	90	6.20	127.24
21	1.45	576.03	91	6.27	126.72
22	1.52	538.32	92	6.34	126.23
23	1.58	493.78	93	6.40	125.75
24	1.65	453.66	94	6.47	125.30
25	1.72	420.30	95	6.54	124.87
26	1.79	392.61	96	6.61	124.45
27	1.86	369.30	97	6.68	124.06
28	1.93	349.38	98	6.75	123.69
29	2.00	332.12	99	6.82	123.33
30	2.07	316.99	100	6.89	123.00
31	2.13	303.57			
32	2.20	291.57			
33	2.27	280.78			
34	2.34	270.99			
35	2.41	262.07			
36	2.48	253.90			
37	2.55	246.39			
38	2.62	239.45			
39	2.69	233.03			
40	2.75	227.05			
41	2.82	221.49			
42	2.89	216.29			
43	2.96	211.42			
44	3.03	206.86			
45	3.10	202.56			
46	3.17	198.52			
47	3.24	194.71			
48	3.31	191.11			
49	3.37	187.70			
50	3.44	184.47			
51	3.51	181.41			
52	3.58	178.50			
53	3.65	175.74			
54	3.72	173.12			
55	3.79	170.62			
56	3.86	168.23			
57	3.93	165.96			
58	3.99	163.80			
59	4.06	161.73			
60	4.13	159.75			
61	4.20	157.87			
62	4.27	156.06			
63	4.34	154.34			
64	4.41	152.68			
65	4.48	151.10			
66	4.55	149.59			
67	4.61	148.14			
68	4.68	146.75			
69	4.75	145.42			
70	4.82	144.14			

ITERACION Nro. 10

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	23.46	71	4.89	144.37
2	0.14	48.52	72	4.96	143.23
3	0.21	75.15	73	5.03	142.13
4	0.28	103.31	74	5.10	141.08
5	0.34	132.96	75	5.17	140.07
6	0.41	164.02	76	5.23	139.11
7	0.48	196.38	77	5.30	138.18
8	0.55	229.89	78	5.37	137.28
9	0.62	264.40	79	5.44	136.43
10	0.69	299.66	80	5.51	135.61
11	0.76	335.40	81	5.58	134.82
12	0.83	371.28	82	5.65	134.06
13	0.90	406.83	83	5.72	133.33
14	0.96	441.48	84	5.79	132.64
15	1.03	474.46	85	5.85	131.97
16	1.10	504.73	86	5.92	131.33
17	1.17	530.87	87	5.99	130.71
18	1.24	550.77	88	6.06	130.12
19	1.31	561.35	89	6.13	129.56
20	1.38	558.22	90	6.20	129.02
21	1.45	537.22	91	6.27	128.50
22	1.52	501.42	92	6.34	128.01
23	1.58	462.68	93	6.40	127.53
24	1.65	428.30	94	6.47	127.08
25	1.72	399.44	95	6.54	126.65
26	1.79	375.20	96	6.61	126.24
27	1.86	354.57	97	6.68	125.85
28	1.93	336.78	98	6.75	125.47
29	2.00	321.24	99	6.82	125.11
30	2.07	307.53	100	6.89	124.78
31	2.13	295.31			
32	2.20	284.33			
33	2.27	274.41			
34	2.34	265.39			
35	2.41	257.13			
36	2.48	249.55			
37	2.55	242.57			
38	2.62	236.10			
39	2.69	230.09			
40	2.75	224.50			
41	2.82	219.27			
42	2.89	214.39			
43	2.96	209.80			
44	3.03	205.50			
45	3.10	201.44			
46	3.17	197.61			
47	3.24	194.00			
48	3.31	190.58			
49	3.37	187.34			
50	3.44	184.28			
51	3.51	181.36			
52	3.58	178.59			
53	3.65	175.95			
54	3.72	173.45			
55	3.79	171.05			
56	3.86	168.77			
57	3.93	166.60			
58	3.99	164.52			
59	4.06	162.54			
60	4.13	160.64			
61	4.20	158.82			
62	4.27	157.08			
63	4.34	155.42			
64	4.41	153.83			
65	4.48	152.30			
66	4.55	150.83			
67	4.61	149.43			
68	4.68	148.09			
69	4.75	146.80			
70	4.82	145.56			

LA ITERACION Nro. 10 ES LA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M1





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M6 (MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

ITERACION Nro. 01

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	84.30	51	3.49	154.88
2	0.14	173.03	52	3.56	155.37
3	0.21	262.21	53	3.63	155.90
4	0.27	347.06	54	3.70	156.47
5	0.34	421.70	55	3.77	157.07
6	0.41	478.80	56	3.84	157.69
7	0.48	509.51	57	3.90	158.35
8	0.55	506.23	58	3.97	159.03
9	0.62	472.92	59	4.04	159.73
10	0.68	428.24	60	4.11	160.45
11	0.75	386.61	61	4.18	161.19
12	0.82	351.81	62	4.25	161.94
13	0.89	323.24	63	4.31	162.70
14	0.96	299.65	64	4.38	163.48
15	1.03	279.94	65	4.45	164.26
16	1.10	263.28	66	4.52	165.06
17	1.16	249.04	67	4.59	165.86
18	1.23	236.76	68	4.66	166.66
19	1.30	226.11	69	4.73	167.48
20	1.37	216.80	70	4.79	168.29
21	1.44	208.63	71	4.86	169.11
22	1.51	201.44	72	4.93	169.93
23	1.58	195.09	73	5.00	170.75
24	1.64	189.47	74	5.07	171.57
25	1.71	184.49	75	5.14	172.40
26	1.78	180.08	76	5.21	173.22
27	1.85	176.17	77	5.27	174.04
28	1.92	172.72	78	5.34	174.87
29	1.99	169.66	79	5.41	175.69
30	2.05	166.96	80	5.48	176.50
31	2.12	164.60	81	5.55	177.32
32	2.19	162.52	82	5.62	178.13
33	2.26	160.72	83	5.68	178.94
34	2.33	159.16	84	5.75	179.75
35	2.40	157.82	85	5.82	180.56
36	2.47	156.69	86	5.89	181.36
37	2.53	155.73	87	5.96	182.16
38	2.60	154.95	88	6.03	182.95
39	2.67	154.32	89	6.10	183.74
40	2.74	153.83	90	6.16	184.53
41	2.81	153.47	91	6.23	185.32
42	2.88	153.23	92	6.30	186.10
43	2.95	153.09	93	6.37	186.88
44	3.01	153.05	94	6.44	187.65
45	3.08	153.10	95	6.51	188.42
46	3.15	153.23	96	6.58	189.19
47	3.22	153.44	97	6.64	189.95
48	3.29	153.71	98	6.71	190.71
49	3.36	154.05	99	6.78	191.47
50	3.42	154.44	100	6.85	192.22

ITERACION Nro. 02

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	77.27	51	3.49	161.95
2	0.14	163.61	52	3.56	161.42
3	0.21	257.71	53	3.63	160.97
4	0.27	356.67	54	3.70	160.60
5	0.34	455.59	55	3.77	160.31
6	0.41	546.91	56	3.84	160.09
7	0.48	619.66	57	3.90	159.93
8	0.55	659.17	58	3.97	159.84
9	0.62	652.45	59	4.04	159.81
10	0.68	606.13	60	4.11	159.83
11	0.75	547.59	61	4.18	159.90
12	0.82	494.57	62	4.25	160.02
13	0.89	450.68	63	4.31	160.19
14	0.96	414.68	64	4.38	160.40
15	1.03	384.84	65	4.45	160.65
16	1.10	359.76	66	4.52	160.94
17	1.16	338.37	67	4.59	161.26
18	1.23	319.92	68	4.66	161.62
19	1.30	303.84	69	4.73	162.01
20	1.37	289.70	70	4.79	162.43
21	1.44	277.18	71	4.86	162.87
22	1.51	266.02	72	4.93	163.34
23	1.58	256.01	73	5.00	163.83
24	1.64	247.00	74	5.07	164.35
25	1.71	238.86	75	5.14	164.88
26	1.78	231.48	76	5.21	165.43
27	1.85	224.77	77	5.27	166.01
28	1.92	218.65	78	5.34	166.59
29	1.99	213.07	79	5.41	167.19
30	2.05	207.96	80	5.48	167.81
31	2.12	203.28	81	5.55	168.44
32	2.19	199.00	82	5.62	169.08
33	2.26	195.07	83	5.68	169.73
34	2.33	191.47	84	5.75	170.39
35	2.40	188.16	85	5.82	171.05
36	2.47	185.13	86	5.89	171.73
37	2.53	182.35	87	5.96	172.42
38	2.60	179.81	88	6.03	173.11
39	2.67	177.48	89	6.10	173.80
40	2.74	175.35	90	6.16	174.51
41	2.81	173.41	91	6.23	175.21
42	2.88	171.65	92	6.30	175.93
43	2.95	170.05	93	6.37	176.64
44	3.01	168.59	94	6.44	177.36
45	3.08	167.29	95	6.51	178.08
46	3.15	166.11	96	6.58	178.80
47	3.22	165.06	97	6.64	179.53
48	3.29	164.13	98	6.71	180.26
49	3.36	163.30	99	6.78	180.99
50	3.42	162.58	100	6.85	181.72

ITERACION Nro. 03

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	72.69	51	3.49	188.66
2	0.14	147.53	52	3.56	187.06
3	0.21	222.85	53	3.63	185.58
4	0.27	297.29	54	3.70	184.20
5	0.34	369.67	55	3.77	182.91
6	0.41	438.85	56	3.84	181.72
7	0.48	503.71	57	3.90	180.61
8	0.55	562.95	58	3.97	179.59
9	0.62	614.93	59	4.04	178.65
10	0.68	657.35	60	4.11	177.78
11	0.75	686.68	61	4.18	176.99
12	0.82	697.11	62	4.25	176.26
13	0.89	679.73	63	4.31	175.60
14	0.96	630.91	64	4.38	175.00
15	1.03	571.44	65	4.45	174.45
16	1.10	519.97	66	4.52	173.97
17	1.16	478.48	67	4.59	173.53
18	1.23	444.73	68	4.66	173.15
19	1.30	416.71	69	4.73	172.82
20	1.37	393.02	70	4.79	172.54
21	1.44	372.67	71	4.86	172.29
22	1.51	354.95	72	4.93	172.09
23	1.58	339.36	73	5.00	171.93
24	1.64	325.52	74	5.07	171.81
25	1.71	313.14	75	5.14	171.73
26	1.78	302.01	76	5.21	171.68
27	1.85	291.93	77	5.27	171.67
28	1.92	282.76	78	5.34	171.69
29	1.99	274.40	79	5.41	171.74
30	2.05	266.74	80	5.48	171.81
31	2.12	259.69	81	5.55	171.92
32	2.19	253.20	82	5.62	172.05
33	2.26	247.21	83	5.68	172.21
34	2.33	241.66	84	5.75	172.39
35	2.40	236.51	85	5.82	172.60
36	2.47	231.72	86	5.89	172.83
37	2.53	227.28	87	5.96	173.08
38	2.60	223.14	88	6.03	173.35
39	2.67	219.27	89	6.10	173.64
40	2.74	215.67	90	6.16	173.95
41	2.81	212.30	91	6.23	174.28
42	2.88	209.16	92	6.30	174.62
43	2.95	206.22	93	6.37	174.98
44	3.01	203.48	94	6.44	175.35
45	3.08	200.91	95	6.51	175.74
46	3.15	198.50	96	6.58	176.14
47	3.22	196.26	97	6.64	176.56
48	3.29	194.16	98	6.71	176.99
49	3.36	192.20	99	6.78	177.43
50	3.42	190.37	100	6.85	177.88

ITERACION Nro. 04

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	52.02	71	4.86	169.57
2	0.14	104.49	72	4.93	169.56
3	0.21	156.78	73	5.00	169.58
4	0.27	208.29	74	5.07	169.64
5	0.34	258.52	75	5.14	169.74
6	0.41	307.01	76	5.21	169.87
7	0.48	353.41	77	5.27	170.04
8	0.55	397.46	78	5.34	170.23
9	0.62	438.91	79	5.41	170.46
10	0.68	477.64	80	5.48	170.72
11	0.75	513.42	81	5.55	170.99
12	0.82	546.14	82	5.62	171.30
13	0.89	575.52	83	5.68	171.63
14	0.96	601.24	84	5.75	171.98
15	1.03	622.77	85	5.82	172.35
16	1.10	639.17	86	5.89	172.74
17	1.16	648.70	87	5.96	173.14
18	1.23	647.32	88	6.03	173.57
19	1.30	621.16	89	6.10	174.01
20	1.37	531.36	90	6.16	174.47
21	1.44	471.13	91	6.23	174.94
22	1.51	429.48	92	6.30	175.42
23	1.58	397.47	93	6.37	175.92
24	1.64	371.60	94	6.44	176.43
25	1.71	350.01	95	6.51	176.95
26	1.78	331.63	96	6.58	177.49
27	1.85	315.72	97	6.64	178.03
28	1.92	301.80	98	6.71	178.58
29	1.99	289.51	99	6.78	179.14
30	2.05	278.57	100	6.85	179.71
31	2.12	268.77			
32	2.19	259.95			
33	2.26	251.99			
34	2.33	244.76			
35	2.40	238.18			
36	2.47	232.18			
37	2.53	226.69			
38	2.60	221.66			
39	2.67	217.05			
40	2.74	212.80			
41	2.81	208.90			
42	2.88	205.30			
43	2.95	201.99			
44	3.01	198.93			
45	3.08	196.11			
46	3.15	193.52			
47	3.22	191.12			
48	3.29	188.91			
49	3.36	186.88			
50	3.42	185.00			
51	3.49	183.28			
52	3.56	181.70			
53	3.63	180.26			
54	3.70	178.93			
55	3.77	177.73			
56	3.84	176.62			
57	3.90	175.62			
58	3.97	174.72			
59	4.04	173.91			
60	4.11	173.18			
61	4.18	172.53			
62	4.25	171.96			
63	4.31	171.45			
64	4.38	171.02			
65	4.45	170.65			
66	4.52	170.34			
67	4.59	170.08			
68	4.66	169.88			
69	4.73	169.73			
70	4.79	169.62			

ITERACION Nro. 05

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	46.66	71	4.86	168.67
2	0.14	95.41	72	4.93	168.63
3	0.21	145.86	73	5.00	168.63
4	0.27	197.61	74	5.07	168.67
5	0.34	250.20	75	5.14	168.74
6	0.41	303.13	76	5.21	168.85
7	0.48	355.90	77	5.27	169.00
8	0.55	407.98	78	5.34	169.18
9	0.62	458.83	79	5.41	169.39
10	0.68	507.87	80	5.48	169.63
11	0.75	554.45	81	5.55	169.89
12	0.82	597.78	82	5.62	170.18
13	0.89	636.84	83	5.68	170.50
14	0.96	670.17	84	5.75	170.83
15	1.03	695.49	85	5.82	171.19
16	1.10	708.74	86	5.89	171.57
17	1.16	701.32	87	5.96	171.97
18	1.23	653.51	88	6.03	172.38
19	1.30	571.03	89	6.10	172.82
20	1.37	506.54	90	6.16	173.27
21	1.44	459.56	91	6.23	173.73
22	1.51	423.29	92	6.30	174.21
23	1.58	394.05	93	6.37	174.70
24	1.64	369.79	94	6.44	175.21
25	1.71	349.21	95	6.51	175.72
26	1.78	331.48	96	6.58	176.25
27	1.85	316.02	97	6.64	176.79
28	1.92	302.40	98	6.71	177.34
29	1.99	290.31	99	6.78	177.89
30	2.05	279.50	100	6.85	178.46
31	2.12	269.79			
32	2.19	261.02			
33	2.26	253.06			
34	2.33	245.82			
35	2.40	239.22			
36	2.47	233.18			
37	2.53	227.64			
38	2.60	222.55			
39	2.67	217.87			
40	2.74	213.56			
41	2.81	209.59			
42	2.88	205.92			
43	2.95	202.53			
44	3.01	199.40			
45	3.08	196.51			
46	3.15	193.84			
47	3.22	191.38			
48	3.29	189.10			
49	3.36	187.00			
50	3.42	185.06			
51	3.49	183.27			
52	3.56	181.63			
53	3.63	180.12			
54	3.70	178.74			
55	3.77	177.47			
56	3.84	176.32			
57	3.90	175.26			
58	3.97	174.31			
59	4.04	173.45			
60	4.11	172.68			
61	4.18	171.98			
62	4.25	171.37			
63	4.31	170.82			
64	4.38	170.35			
65	4.45	169.94			
66	4.52	169.59			
67	4.59	169.30			
68	4.66	169.07			
69	4.73	168.89			
70	4.79	168.75			

ITERACION Nro. 06

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	41.35	71	4.86	183.17
2	0.14	84.96	72	4.93	182.48
3	0.21	130.62	73	5.00	181.85
4	0.27	178.05	74	5.07	181.27
5	0.34	227.01	75	5.14	180.74
6	0.41	277.14	76	5.21	180.26
7	0.48	328.09	77	5.27	179.83
8	0.55	379.46	78	5.34	179.44
9	0.62	430.79	79	5.41	179.09
10	0.68	481.56	80	5.48	178.78
11	0.75	531.19	81	5.55	178.52
12	0.82	578.95	82	5.62	178.29
13	0.89	623.97	83	5.68	178.09
14	0.96	665.07	84	5.75	177.93
15	1.03	700.64	85	5.82	177.81
16	1.10	728.31	86	5.89	177.71
17	1.16	744.41	87	5.96	177.64
18	1.23	742.84	88	6.03	177.61
19	1.30	714.71	89	6.10	177.60
20	1.37	658.80	90	6.16	177.62
21	1.44	597.32	91	6.23	177.66
22	1.51	545.50	92	6.30	177.73
23	1.58	503.76	93	6.37	177.82
24	1.64	469.63	94	6.44	177.93
25	1.71	441.11	95	6.51	178.07
26	1.78	416.84	96	6.58	178.22
27	1.85	395.89	97	6.64	178.40
28	1.92	377.56	98	6.71	178.60
29	1.99	361.37	99	6.78	178.81
30	2.05	346.94	100	6.85	179.04
31	2.12	334.00			
32	2.19	322.32			
33	2.26	311.71			
34	2.33	302.05			
35	2.40	293.21			
36	2.47	285.09			
37	2.53	277.61			
38	2.60	270.70			
39	2.67	264.31			
40	2.74	258.37			
41	2.81	252.86			
42	2.88	247.72			
43	2.95	242.93			
44	3.01	238.46			
45	3.08	234.28			
46	3.15	230.37			
47	3.22	226.71			
48	3.29	223.27			
49	3.36	220.06			
50	3.42	217.03			
51	3.49	214.19			
52	3.56	211.53			
53	3.63	209.02			
54	3.70	206.67			
55	3.77	204.46			
56	3.84	202.38			
57	3.90	200.43			
58	3.97	198.60			
59	4.04	196.89			
60	4.11	195.27			
61	4.18	193.76			
62	4.25	192.35			
63	4.31	191.02			
64	4.38	189.78			
65	4.45	188.62			
66	4.52	187.54			
67	4.59	186.53			
68	4.66	185.59			
69	4.73	184.72			
70	4.79	183.91			

ITERACION Nro. 07

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	29.57	71	4.86	186.00
2	0.14	60.89	72	4.93	185.43
3	0.21	93.90	73	5.00	184.91
4	0.27	128.48	74	5.07	184.44
5	0.34	164.50	75	5.14	184.02
6	0.41	201.78	76	5.21	183.65
7	0.48	240.08	77	5.27	183.31
8	0.55	279.11	78	5.34	183.02
9	0.62	318.51	79	5.41	182.76
10	0.68	357.81	80	5.48	182.54
11	0.75	396.46	81	5.55	182.36
12	0.82	433.79	82	5.62	182.21
13	0.89	468.95	83	5.68	182.09
14	0.96	500.88	84	5.75	182.01
15	1.03	528.27	85	5.82	181.95
16	1.10	549.51	86	5.89	181.92
17	1.16	562.77	87	5.96	181.92
18	1.23	566.22	88	6.03	181.94
19	1.30	558.84	89	6.10	181.99
20	1.37	541.55	90	6.16	182.07
21	1.44	517.52	91	6.23	182.16
22	1.51	490.78	92	6.30	182.28
23	1.58	464.30	93	6.37	182.42
24	1.64	439.64	94	6.44	182.58
25	1.71	417.27	95	6.51	182.76
26	1.78	397.21	96	6.58	182.95
27	1.85	379.26	97	6.64	183.17
28	1.92	363.17	98	6.71	183.40
29	1.99	348.73	99	6.78	183.65
30	2.05	335.70	100	6.85	183.91
31	2.12	323.91			
32	2.19	313.21			
33	2.26	303.45			
34	2.33	294.53			
35	2.40	286.35			
36	2.47	278.83			
37	2.53	271.90			
38	2.60	265.50			
39	2.67	259.57			
40	2.74	254.07			
41	2.81	248.97			
42	2.88	244.22			
43	2.95	239.79			
44	3.01	235.67			
45	3.08	231.82			
46	3.15	228.22			
47	3.22	224.86			
48	3.29	221.72			
49	3.36	218.77			
50	3.42	216.02			
51	3.49	213.44			
52	3.56	211.02			
53	3.63	208.75			
54	3.70	206.63			
55	3.77	204.64			
56	3.84	202.78			
57	3.90	201.03			
58	3.97	199.40			
59	4.04	197.87			
60	4.11	196.45			
61	4.18	195.11			
62	4.25	193.87			
63	4.31	192.71			
64	4.38	191.63			
65	4.45	190.63			
66	4.52	189.69			
67	4.59	188.83			
68	4.66	188.03			
69	4.73	187.30			
70	4.79	186.62			

ITERACION Nro. 08

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	33.89	71	4.86	183.26
2	0.14	69.40	72	4.93	182.51
3	0.21	106.48	73	5.00	181.82
4	0.27	145.05	74	5.07	181.20
5	0.34	184.99	75	5.14	180.63
6	0.41	226.16	76	5.21	180.11
7	0.48	268.41	77	5.27	179.64
8	0.55	311.52	78	5.34	179.23
9	0.62	355.29	79	5.41	178.86
10	0.68	399.44	80	5.48	178.53
11	0.75	443.68	81	5.55	178.25
12	0.82	487.68	82	5.62	178.00
13	0.89	531.05	83	5.68	177.80
14	0.96	573.32	84	5.75	177.63
15	1.03	613.93	85	5.82	177.50
16	1.10	652.15	86	5.89	177.40
17	1.16	687.03	87	5.96	177.34
18	1.23	717.21	88	6.03	177.30
19	1.30	740.70	89	6.10	177.30
20	1.37	754.23	90	6.16	177.32
21	1.44	751.96	91	6.23	177.37
22	1.51	723.18	92	6.30	177.45
23	1.58	660.48	93	6.37	177.55
24	1.64	591.83	94	6.44	177.67
25	1.71	537.17	95	6.51	177.82
26	1.78	494.55	96	6.58	177.99
27	1.85	460.22	97	6.64	178.17
28	1.92	431.77	98	6.71	178.38
29	1.99	407.68	99	6.78	178.61
30	2.05	386.93	100	6.85	178.86
31	2.12	368.82			
32	2.19	352.84			
33	2.26	338.63			
34	2.33	325.89			
35	2.40	314.40			
36	2.47	304.00			
37	2.53	294.52			
38	2.60	285.86			
39	2.67	277.92			
40	2.74	270.62			
41	2.81	263.88			
42	2.88	257.66			
43	2.95	251.90			
44	3.01	246.55			
45	3.08	241.58			
46	3.15	236.96			
47	3.22	232.65			
48	3.29	228.63			
49	3.36	224.88			
50	3.42	221.38			
51	3.49	218.10			
52	3.56	215.04			
53	3.63	212.17			
54	3.70	209.49			
55	3.77	206.97			
56	3.84	204.62			
57	3.90	202.42			
58	3.97	200.36			
59	4.04	198.43			
60	4.11	196.62			
61	4.18	194.94			
62	4.25	193.36			
63	4.31	191.89			
64	4.38	190.51			
65	4.45	189.23			
66	4.52	188.04			
67	4.59	186.93			
68	4.66	185.90			
69	4.73	184.95			
70	4.79	184.07			

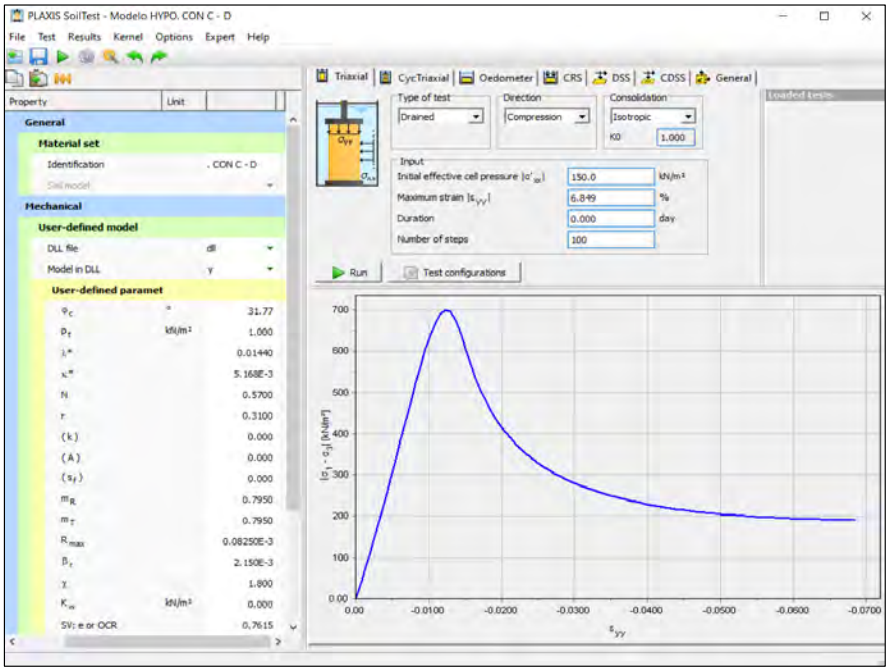
ITERACION Nro. 09

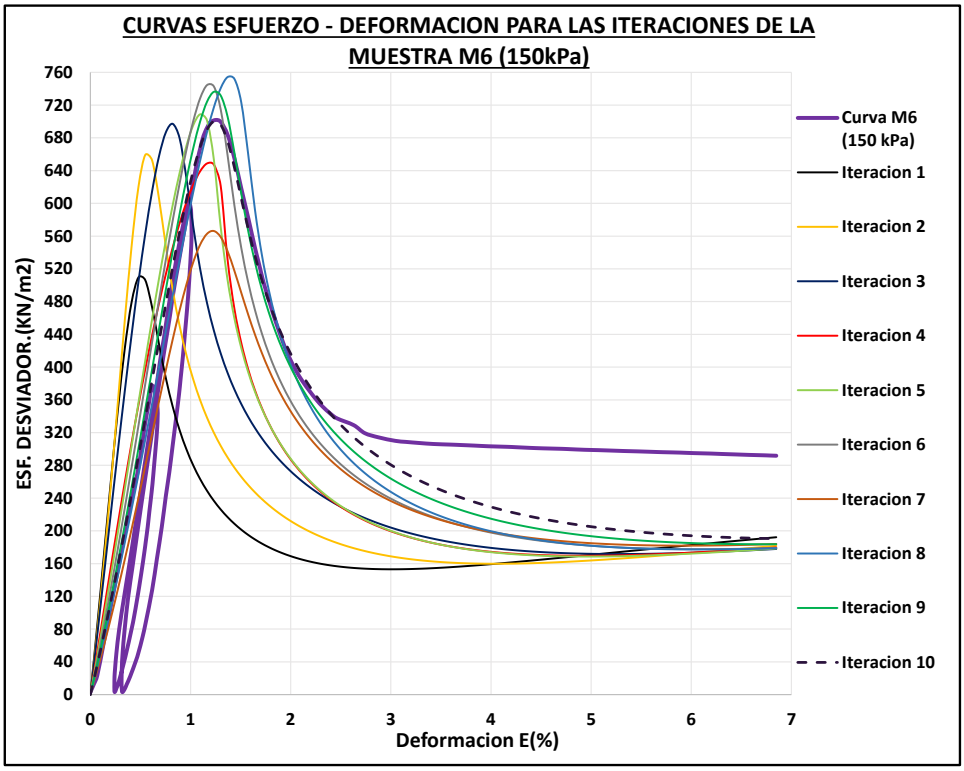
Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	37.32	71	4.86	195.44
2	0.14	76.77	72	4.93	194.43
3	0.21	118.23	73	5.00	193.48
4	0.27	161.52	74	5.07	192.58
5	0.34	206.45	75	5.14	191.75
6	0.41	252.79	76	5.21	190.96
7	0.48	300.28	77	5.27	190.23
8	0.55	348.58	78	5.34	189.54
9	0.62	397.33	79	5.41	188.90
10	0.68	446.10	80	5.48	188.31
11	0.75	494.38	81	5.55	187.76
12	0.82	541.55	82	5.62	187.25
13	0.89	586.82	83	5.68	186.78
14	0.96	629.26	84	5.75	186.35
15	1.03	667.55	85	5.82	185.96
16	1.10	699.96	86	5.89	185.60
17	1.16	724.02	87	5.96	185.28
18	1.23	736.21	88	6.03	184.98
19	1.30	731.69	89	6.10	184.72
20	1.37	705.97	90	6.16	184.50
21	1.44	661.81	91	6.23	184.30
22	1.51	612.10	92	6.30	184.12
23	1.58	566.65	93	6.37	183.98
24	1.64	527.88	94	6.44	183.86
25	1.71	495.08	95	6.51	183.77
26	1.78	467.09	96	6.58	183.70
27	1.85	442.93	97	6.64	183.66
28	1.92	421.85	98	6.71	183.64
29	1.99	403.27	99	6.78	183.64
30	2.05	386.75	100	6.85	183.66
31	2.12	371.96			
32	2.19	358.63			
33	2.26	346.54			
34	2.33	335.52			
35	2.40	325.45			
36	2.47	316.20			
37	2.53	307.67			
38	2.60	299.79			
39	2.67	292.49			
40	2.74	285.70			
41	2.81	279.38			
42	2.88	273.49			
43	2.95	267.98			
44	3.01	262.83			
45	3.08	258.00			
46	3.15	253.46			
47	3.22	249.20			
48	3.29	245.19			
49	3.36	241.42			
50	3.42	237.86			
51	3.49	234.50			
52	3.56	231.34			
53	3.63	228.35			
54	3.70	225.52			
55	3.77	222.85			
56	3.84	220.33			
57	3.90	217.95			
58	3.97	215.69			
59	4.04	213.55			
60	4.11	211.54			
61	4.18	209.63			
62	4.25	207.82			
63	4.31	206.11			
64	4.38	204.49			
65	4.45	202.97			
66	4.52	201.52			
67	4.59	200.16			
68	4.66	198.88			
69	4.73	197.66			
70	4.79	196.52			

ITERACION Nro. 10

Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)	Nro	Def (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
1	0.07	36.33	71	4.86	207.45
2	0.14	74.70	72	4.93	206.25
3	0.21	114.96	73	5.00	205.11
4	0.27	156.92	74	5.07	204.02
5	0.34	200.41	75	5.14	203.00
6	0.41	245.20	76	5.21	202.02
7	0.48	291.01	77	5.27	201.10
8	0.55	337.52	78	5.34	200.23
9	0.62	384.36	79	5.41	199.40
10	0.68	431.09	80	5.48	198.63
11	0.75	477.17	81	5.55	197.89
12	0.82	522.00	82	5.62	197.20
13	0.89	564.75	83	5.68	196.55
14	0.96	604.42	84	5.75	195.93
15	1.03	639.75	85	5.82	195.36
16	1.10	669.02	86	5.89	194.82
17	1.16	690.03	87	5.96	194.32
18	1.23	699.99	88	6.03	193.85
19	1.30	695.88	89	6.10	193.41
20	1.37	676.19	90	6.16	193.00
21	1.44	643.89	91	6.23	192.63
22	1.51	606.17	92	6.30	192.28
23	1.58	569.17	93	6.37	191.96
24	1.64	535.70	94	6.44	191.67
25	1.71	506.21	95	6.51	191.41
26	1.78	480.37	96	6.58	191.17
27	1.85	457.64	97	6.64	190.96
28	1.92	437.54	98	6.71	190.77
29	1.99	419.64	99	6.78	190.60
30	2.05	403.59	100	6.85	190.46
31	2.12	389.12			
32	2.19	376.00			
33	2.26	364.05			
34	2.33	353.12			
35	2.40	343.07			
36	2.47	333.81			
37	2.53	325.25			
38	2.60	317.31			
39	2.67	309.93			
40	2.74	303.04			
41	2.81	296.62			
42	2.88	290.60			
43	2.95	284.96			
44	3.01	279.67			
45	3.08	274.69			
46	3.15	270.01			
47	3.22	265.59			
48	3.29	261.42			
49	3.36	257.48			
50	3.42	253.75			
51	3.49	250.22			
52	3.56	246.88			
53	3.63	243.72			
54	3.70	240.71			
55	3.77	237.86			
56	3.84	235.16			
57	3.90	232.59			
58	3.97	230.15			
59	4.04	227.83			
60	4.11	225.62			
61	4.18	223.53			
62	4.25	221.53			
63	4.31	219.64			
64	4.38	217.83			
65	4.45	216.11			
66	4.52	214.48			
67	4.59	212.93			
68	4.66	211.45			
69	4.73	210.05			
70	4.79	208.72			

LA ITERACION Nro. 10 ES LA QUE MEJOR SE AJUSTA A LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION DE LA MUESTRA M6





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS MUESTRAS M4 - M1 - M6
(MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test) **Nro de pasos de Calculo:** 100

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	21.375
0.138	43.908
0.208	67.406
0.277	91.699
0.346	116.630
0.415	142.051
0.484	167.820
0.554	193.815
0.623	219.887
0.692	245.920
0.761	271.760
0.830	297.273
0.900	322.281
0.969	346.610
1.038	370.024
1.107	392.241
1.176	412.879
1.246	431.423
1.315	447.058
1.384	458.417
1.453	462.686
1.522	451.770
1.592	401.774
1.661	351.531
1.730	318.179
1.799	293.630
1.868	274.296
1.938	258.428
2.007	245.022
2.076	233.460
2.145	223.333
2.214	214.355
2.284	206.314
2.353	199.049
2.422	192.450
2.491	186.415
2.560	180.867
2.630	175.744
2.699	170.994
2.768	166.574
2.837	162.450
2.906	158.587
2.976	154.963
3.045	151.555
3.114	148.343
3.183	145.310
3.252	142.440
3.322	139.720
3.391	137.138
3.460	134.683
3.529	132.345
3.598	130.118
3.668	127.993
3.737	125.963
3.806	124.022
3.875	122.164
3.944	120.385
4.014	118.679
4.083	117.041
4.152	115.469
4.221	113.959
4.290	112.507
4.360	111.110
4.429	109.765
4.498	108.469
4.567	107.220
4.636	106.017

SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	23.461
0.138	48.518
0.207	75.152
0.275	103.314
0.344	132.964
0.413	164.020
0.482	196.376
0.551	229.894
0.620	264.401
0.689	299.659
0.758	335.402
0.826	371.278
0.895	406.826
0.964	441.478
1.033	474.458
1.102	504.734
1.171	530.865
1.240	550.766
1.309	561.349
1.377	558.224
1.446	537.216
1.515	501.422
1.584	462.680
1.653	428.303
1.722	399.441
1.791	375.196
1.859	354.566
1.928	336.776
1.997	321.242
2.066	307.526
2.135	295.307
2.204	284.333
2.273	274.409
2.342	265.386
2.410	257.134
2.479	249.555
2.548	242.566
2.617	236.097
2.686	230.090
2.755	224.498
2.824	219.275
2.893	214.387
2.961	209.803
3.030	205.496
3.099	201.439
3.168	197.613
3.237	194.000
3.306	190.582
3.375	187.345
3.444	184.275
3.512	181.361
3.581	178.591
3.650	175.955
3.719	173.445
3.788	171.054
3.857	168.774
3.926	166.598
3.994	164.521
4.063	162.535
4.132	160.638
4.201	158.822
4.270	157.085
4.339	155.420
4.408	153.826
4.477	152.299
4.545	150.835
4.614	149.432

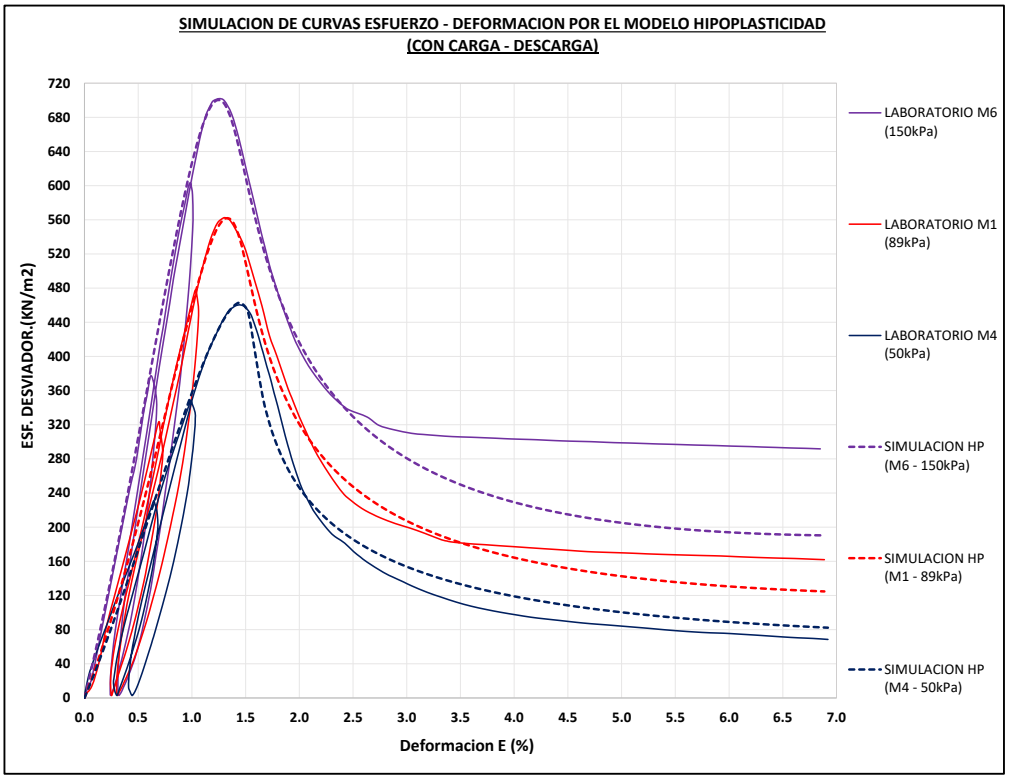
SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.068	36.330
0.137	74.700
0.205	114.963
0.274	156.924
0.342	200.415
0.411	245.199
0.479	291.006
0.548	337.517
0.616	384.363
0.685	431.086
0.753	477.172
0.822	521.997
0.890	564.747
0.959	604.419
1.027	639.745
1.096	669.017
1.164	690.032
1.233	699.992
1.301	695.885
1.370	676.191
1.438	643.892
1.507	606.166
1.575	569.166
1.644	535.702
1.712	506.212
1.781	480.371
1.849	457.643
1.918	437.541
1.986	419.638
2.055	403.590
2.123	389.119
2.192	376.001
2.260	364.049
2.329	353.115
2.397	343.071
2.466	333.812
2.534	325.251
2.603	317.310
2.671	309.926
2.740	303.045
2.808	296.618
2.877	290.604
2.945	284.965
3.014	279.671
3.082	274.693
3.151	270.006
3.219	265.587
3.288	261.417
3.356	257.477
3.425	253.751
3.493	250.223
3.561	246.882
3.630	243.715
3.698	240.712
3.767	237.863
3.835	235.158
3.904	232.589
3.972	230.148
4.041	227.828
4.109	225.623
4.178	223.526
4.246	221.532
4.315	219.637
4.383	217.831
4.452	216.114
4.520	214.481
4.589	212.929

4.706	104.856
4.775	103.736
4.844	102.654
4.913	101.610
4.982	100.600
5.052	99.624
5.121	98.681
5.190	97.769
5.259	96.886
5.328	96.033
5.398	95.207
5.467	94.407
5.536	93.632
5.605	92.882
5.674	92.156
5.744	91.452
5.813	90.769
5.882	90.108
5.951	89.467
6.020	88.846
6.090	88.244
6.159	87.660
6.228	87.094
6.297	86.545
6.366	86.012
6.436	85.496
6.505	84.996
6.574	84.510
6.643	84.039
6.712	83.582
6.782	83.140
6.851	82.710
6.920	82.293

4.683	148.086
4.752	146.795
4.821	145.557
4.890	144.369
4.959	143.228
5.028	142.134
5.096	141.083
5.165	140.074
5.234	139.106
5.303	138.177
5.372	137.285
5.441	136.428
5.510	135.607
5.578	134.816
5.647	134.060
5.716	133.333
5.785	132.635
5.854	131.966
5.923	131.325
5.992	130.711
6.061	130.122
6.129	129.558
6.198	129.018
6.267	128.501
6.336	128.006
6.405	127.534
6.474	127.082
6.543	126.650
6.612	126.238
6.680	125.845
6.749	125.471
6.818	125.114
6.887	124.775

4.657	211.453
4.726	210.050
4.794	208.717
4.863	207.451
4.931	206.248
5.000	205.107
5.068	204.024
5.137	202.997
5.205	202.024
5.274	201.102
5.342	200.230
5.411	199.405
5.479	198.626
5.548	197.891
5.616	197.199
5.685	196.547
5.753	195.934
5.822	195.359
5.890	194.823
5.959	194.316
6.027	193.848
6.096	193.411
6.164	193.004
6.233	192.628
6.301	192.282
6.370	191.964
6.438	191.674
6.507	191.410
6.575	191.172
6.644	190.959
6.712	190.770
6.781	190.604
6.849	190.460



ANEXO B7

RESULTADOS DE SIMULACION DE CADA CURVA

ESFUERZO - DEFORMACION M3 - M2 - M5

CON TODOS LOS MODELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LA MUESTRA M3

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

MC: Modelo de Mohr Coulomb:
HS: Modelo de Hardening Soil
CCM: Modelo de Cam Clay Modficado
HIPO: Modelo de la Hipoplasticidad

SIMULACION MC

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	36.058
0.137	72.115
0.206	108.173
0.275	144.230
0.343	180.288
0.412	216.345
0.481	252.403
0.549	288.460
0.618	324.518
0.687	360.575
0.755	396.633
0.824	432.690
0.893	462.921
0.962	462.920
1.030	462.915
1.099	462.907
1.168	462.900
1.236	462.895
1.305	462.893
1.374	462.893
1.442	462.895
1.511	462.899
1.580	462.902
1.648	462.904
1.717	462.905
1.786	462.905
1.854	462.904
1.923	462.902
1.992	462.901
2.060	462.900
2.129	462.900
2.198	462.900
2.266	462.900
2.335	462.901
2.404	462.901
2.473	462.902
2.541	462.902
2.610	462.902
2.679	462.902
2.747	462.901
2.816	462.901
2.885	462.901
2.953	462.901
3.022	462.901
3.091	462.901
3.159	462.901
3.228	462.901
3.297	462.901
3.365	462.901
3.434	462.901
3.503	462.901
3.571	462.901
3.640	462.901
3.709	462.901
3.777	462.901
3.846	462.901
3.915	462.901
3.983	462.901
4.052	462.901
4.121	462.901
4.190	462.901
4.258	462.901
4.327	462.901
4.396	462.901
4.464	462.901

SIMULACION HS

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	13.081
0.137	25.513
0.206	37.344
0.275	48.615
0.343	59.366
0.412	69.632
0.481	79.444
0.549	88.833
0.618	97.826
0.687	106.446
0.755	114.716
0.824	122.658
0.893	130.290
0.962	137.631
1.030	144.696
1.099	151.501
1.168	158.060
1.236	164.386
1.305	169.002
1.374	173.253
1.442	177.417
1.511	181.499
1.580	185.499
1.648	189.420
1.717	193.265
1.786	197.036
1.854	200.735
1.923	204.364
1.992	207.925
2.060	211.419
2.129	214.849
2.198	218.217
2.266	221.523
2.335	224.769
2.404	227.957
2.473	231.089
2.541	234.165
2.610	237.186
2.679	240.155
2.747	243.072
2.816	245.939
2.885	248.756
2.953	251.525
3.022	254.247
3.091	256.923
3.159	259.553
3.228	262.139
3.297	264.683
3.365	267.184
3.434	269.891
3.503	272.558
3.571	275.184
3.640	277.770
3.709	280.317
3.777	282.825
3.846	285.296
3.915	287.729
3.983	290.124
4.052	292.485
4.121	294.809
4.190	297.099
4.258	299.354
4.327	301.575
4.396	303.764
4.464	305.920

SIMULACION CCM

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	14.958
0.137	31.399
0.206	49.469
0.275	69.330
0.343	91.157
0.412	115.144
0.481	135.906
0.549	134.566
0.618	133.296
0.687	132.103
0.755	130.980
0.824	129.922
0.893	128.926
0.962	127.987
1.030	127.102
1.099	126.267
1.168	125.479
1.236	124.735
1.305	124.032
1.374	123.369
1.442	122.742
1.511	122.149
1.580	121.589
1.648	121.059
1.717	120.558
1.786	120.085
1.854	119.636
1.923	119.212
1.992	118.811
2.060	118.431
2.129	118.071
2.198	117.730
2.266	117.408
2.335	117.102
2.404	116.813
2.473	116.538
2.541	116.278
2.610	116.032
2.679	115.799
2.747	115.577
2.816	115.367
2.885	115.168
2.953	114.980
3.022	114.801
3.091	114.632
3.159	114.471
3.228	114.319
3.297	114.174
3.365	114.037
3.434	113.907
3.503	113.784
3.571	113.667
3.640	113.556
3.709	113.451
3.777	113.351
3.846	113.256
3.915	113.166
3.983	113.081
4.052	113.000
4.121	112.923
4.190	112.850
4.258	112.781
4.327	112.716
4.396	112.653
4.464	112.594

SIMULACION HIPO

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	26.816
0.137	55.266
0.206	85.038
0.275	115.849
0.343	147.435
0.412	179.542
0.481	211.934
0.549	244.349
0.618	276.512
0.687	308.123
0.755	338.812
0.824	368.128
0.893	395.473
0.962	420.017
1.030	440.504
1.099	454.844
1.168	459.013
1.236	444.761
1.305	407.309
1.374	367.868
1.442	336.659
1.511	312.279
1.580	292.594
1.648	276.218
1.717	262.282
1.786	250.209
1.854	239.597
1.923	230.164
1.992	221.700
2.060	214.048
2.129	207.080
2.198	200.699
2.266	194.825
2.335	189.395
2.404	184.355
2.473	179.660
2.541	175.273
2.610	171.165
2.679	167.307
2.747	163.674
2.816	160.246
2.885	157.005
2.953	153.934
3.022	151.022
3.091	148.253
3.159	145.619
3.228	143.109
3.297	140.714
3.365	138.426
3.434	136.239
3.503	134.145
3.571	132.138
3.640	130.214
3.709	128.368
3.777	126.594
3.846	124.888
3.915	123.247
3.983	121.668
4.052	120.147
4.121	118.680
4.190	117.265
4.258	115.900
4.327	114.582
4.396	113.310
4.464	112.080

4.533	462.901
4.602	462.901
4.670	462.901
4.739	462.901
4.808	462.901
4.876	462.901
4.945	462.901
5.014	462.901
5.082	462.901
5.151	462.901
5.220	462.901
5.288	462.901
5.357	462.901
5.426	462.901
5.494	462.901
5.563	462.901
5.632	462.901
5.701	462.901
5.769	462.901
5.838	462.901
5.907	462.901
5.975	462.901
6.044	462.901
6.113	462.901
6.181	462.901
6.250	462.901
6.319	462.901
6.387	462.901
6.456	462.901
6.525	462.901
6.593	462.901
6.662	462.901
6.731	462.901
6.799	462.901
6.868	462.901

Esf. Max (kN/m2)	462.921
Def. al Esf. Max (%):	0.893%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	52664.556

4.533	308.044
4.602	310.136
4.670	312.197
4.739	314.228
4.808	316.228
4.876	318.199
4.945	320.141
5.014	322.054
5.082	323.939
5.151	325.796
5.220	327.627
5.288	329.430
5.357	331.207
5.426	332.958
5.494	334.684
5.563	336.385
5.632	338.061
5.701	339.713
5.769	341.341
5.838	342.945
5.907	344.527
5.975	346.086
6.044	347.622
6.113	349.137
6.181	350.630
6.250	352.102
6.319	353.553
6.387	354.984
6.456	356.395
6.525	357.786
6.593	359.157
6.662	360.509
6.731	361.842
6.799	363.157
6.868	364.454

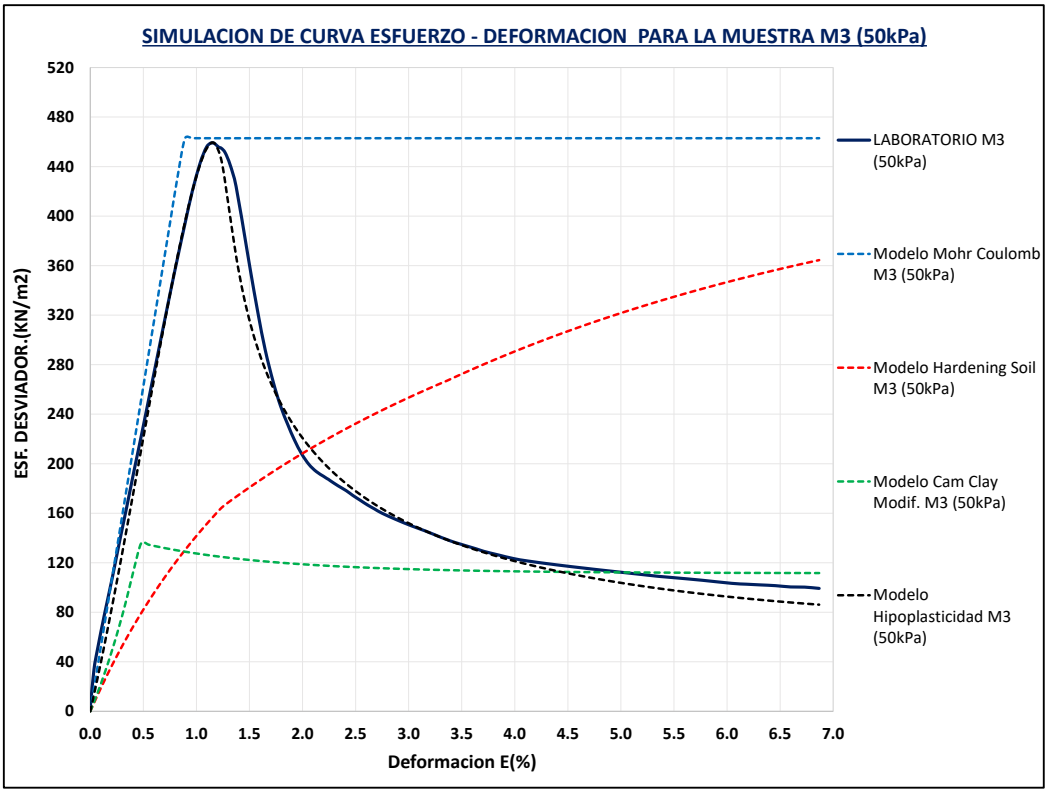
Esf. Max (kN/m2)	462.922
Def. al Esf. Max (%):	20.155%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	9314.327

4.533	112.538
4.602	112.485
4.670	112.434
4.739	112.386
4.808	112.341
4.876	112.298
4.945	112.257
5.014	112.218
5.082	112.181
5.151	112.146
5.220	112.113
5.288	112.081
5.357	112.051
5.426	112.023
5.494	111.996
5.563	111.970
5.632	111.946
5.701	111.923
5.769	111.901
5.838	111.881
5.907	111.861
5.975	111.842
6.044	111.824
6.113	111.808
6.181	111.792
6.250	111.777
6.319	111.762
6.387	111.749
6.456	111.736
6.525	111.723
6.593	111.712
6.662	111.701
6.731	111.690
6.799	111.680
6.868	111.671

Esf. Max (kN/m2)	135.906
Def. al Esf. Max (%):	0.481%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	25167.688

4.533	110.890
4.602	109.739
4.670	108.626
4.739	107.549
4.808	106.506
4.876	105.495
4.945	104.516
5.014	103.567
5.082	102.647
5.151	101.755
5.220	100.889
5.288	100.049
5.357	99.233
5.426	98.442
5.494	97.674
5.563	96.928
5.632	96.204
5.701	95.500
5.769	94.816
5.838	94.151
5.907	93.506
5.975	92.878
6.044	92.267
6.113	91.674
6.181	91.097
6.250	90.536
6.319	89.990
6.387	89.460
6.456	88.944
6.525	88.442
6.593	87.954
6.662	87.479
6.731	87.017
6.799	86.568
6.868	86.131

Esf. Max (kN/m2)	459.013
Def. al Esf. Max (%):	1.168%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	44306.29



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LA MUESTRA M2

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

MC: Modelo de Mohr Coulomb:
HS: Modelo de Hardening Soil
CCM: Modelo de Cam Clay Modficado
HIPO: Modelo de la Hipoplasticidad

SIMULACION MC

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	36.209
0.138	72.419
0.207	108.628
0.276	144.837
0.345	181.046
0.414	217.256
0.483	253.465
0.552	289.674
0.621	325.883
0.690	362.093
0.759	398.302
0.828	434.511
0.897	470.720
0.966	506.930
1.035	543.139
1.104	556.716
1.172	556.717
1.241	556.712
1.310	556.703
1.379	556.693
1.448	556.685
1.517	556.680
1.586	556.679
1.655	556.681
1.724	556.685
1.793	556.690
1.862	556.693
1.931	556.695
2.000	556.695
2.069	556.695
2.138	556.693
2.207	556.691
2.276	556.690
2.345	556.689
2.414	556.689
2.483	556.689
2.552	556.690
2.621	556.690
2.690	556.691
2.759	556.691
2.828	556.692
2.897	556.691
2.966	556.691
3.035	556.691
3.104	556.690
3.173	556.690
3.242	556.690
3.311	556.690
3.380	556.690
3.449	556.691
3.517	556.691
3.586	556.691
3.655	556.691
3.724	556.691
3.793	556.691
3.862	556.691
3.931	556.691
4.000	556.691
4.069	556.691
4.138	556.691
4.207	556.691
4.276	556.691
4.345	556.691
4.414	556.691
4.483	556.691

SIMULACION HS

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	15.438
0.138	30.125
0.207	44.114
0.276	57.453
0.345	70.187
0.414	82.356
0.483	93.996
0.552	105.142
0.621	115.824
0.690	126.070
0.759	135.907
0.828	145.359
0.897	152.677
0.966	159.206
1.035	165.559
1.104	171.749
1.172	177.779
1.241	183.662
1.310	189.400
1.379	195.004
1.448	200.476
1.517	205.824
1.586	211.052
1.655	216.164
1.724	221.165
1.793	226.058
1.862	230.848
1.931	235.538
2.000	240.130
2.069	244.629
2.138	249.037
2.207	253.357
2.276	257.591
2.345	261.742
2.414	265.812
2.483	269.804
2.552	273.720
2.621	277.561
2.690	281.331
2.759	285.030
2.828	288.660
2.897	292.223
2.966	295.722
3.035	299.157
3.104	302.530
3.173	305.843
3.242	309.097
3.311	312.294
3.380	315.435
3.449	318.520
3.517	321.553
3.586	324.843
3.655	328.082
3.724	331.269
3.793	334.405
3.862	337.492
3.931	340.530
4.000	343.520
4.069	346.463
4.138	349.360
4.207	352.211
4.276	355.019
4.345	357.782
4.414	360.503
4.483	363.180

SIMULACION CCM

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	26.737
0.138	56.136
0.207	88.462
0.276	124.003
0.345	135.180
0.414	138.061
0.483	140.806
0.552	143.436
0.621	145.955
0.690	148.369
0.759	150.679
0.828	152.892
0.897	155.009
0.966	157.034
1.035	158.973
1.104	160.826
1.172	162.599
1.241	164.293
1.310	165.911
1.379	167.458
1.448	168.935
1.517	170.345
1.586	171.692
1.655	172.977
1.724	174.203
1.793	175.373
1.862	176.489
1.931	177.553
2.000	178.568
2.069	179.535
2.138	180.457
2.207	181.336
2.276	182.173
2.345	182.970
2.414	183.730
2.483	184.453
2.552	185.142
2.621	185.798
2.690	186.422
2.759	187.016
2.828	187.581
2.897	188.120
2.966	188.632
3.035	189.119
3.104	189.583
3.173	190.024
3.242	190.443
3.311	190.843
3.380	191.222
3.449	191.583
3.517	191.926
3.586	192.252
3.655	192.563
3.724	192.857
3.793	193.138
3.862	193.404
3.931	193.657
4.000	193.898
4.069	194.127
4.138	194.344
4.207	194.550
4.276	194.747
4.345	194.933
4.414	195.110
4.483	195.278

SIMULACION HIPO

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	26.277
0.138	54.051
0.207	83.238
0.276	113.742
0.345	145.454
0.414	178.244
0.483	211.959
0.552	246.419
0.621	281.415
0.690	316.701
0.759	351.993
0.828	386.913
0.897	421.035
0.966	453.790
1.035	484.469
1.104	512.150
1.172	535.602
1.241	553.191
1.310	562.779
1.379	561.909
1.448	548.992
1.517	525.865
1.586	498.058
1.655	470.492
1.724	445.476
1.793	423.376
1.862	403.935
1.931	386.768
2.000	371.504
2.069	357.837
2.138	345.511
2.207	334.329
2.276	324.125
2.345	314.766
2.414	306.145
2.483	298.168
2.552	290.760
2.621	283.860
2.690	277.412
2.759	271.372
2.828	265.700
2.897	260.359
2.966	255.321
3.035	250.560
3.104	246.051
3.173	241.775
3.242	237.714
3.311	233.851
3.380	230.172
3.449	226.663
3.517	223.313
3.586	220.111
3.655	217.048
3.724	214.115
3.793	211.305
3.862	208.608
3.931	206.019
4.000	203.532
4.069	201.142
4.138	198.842
4.207	196.628
4.276	194.496
4.345	192.441
4.414	190.460
4.483	188.549

4.552	556.691
4.621	556.691
4.690	556.691
4.759	556.691
4.828	556.691
4.897	556.691
4.966	556.691
5.035	556.691
5.104	556.691
5.173	556.691
5.242	556.691
5.311	556.691
5.380	556.691
5.449	556.691
5.518	556.691
5.587	556.691
5.656	556.691
5.725	556.691
5.793	556.691
5.862	556.691
5.931	556.691
6.000	556.691
6.069	556.691
6.138	556.691
6.207	556.691
6.276	556.691
6.345	556.691
6.414	556.691
6.483	556.691
6.552	556.691
6.621	556.691
6.690	556.691
6.759	556.691
6.828	556.691
6.897	556.691

Esf. Max (kN/m2)	556.717
Def. al Esf. Max (%):	1.172%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	52520.51

4.552	365.817
4.621	368.413
4.690	370.971
4.759	373.488
4.828	375.968
4.897	378.408
4.966	380.813
5.035	383.180
5.104	385.513
5.173	387.808
5.242	390.071
5.311	392.298
5.380	394.494
5.449	396.655
5.518	398.785
5.587	400.882
5.656	402.950
5.725	404.985
5.793	406.993
5.862	408.969
5.931	410.917
6.000	412.836
6.069	414.728
6.138	416.591
6.207	418.429
6.276	420.238
6.345	422.023
6.414	423.781
6.483	425.515
6.552	427.223
6.621	428.908
6.690	430.567
6.759	432.205
6.828	433.818
6.897	435.410

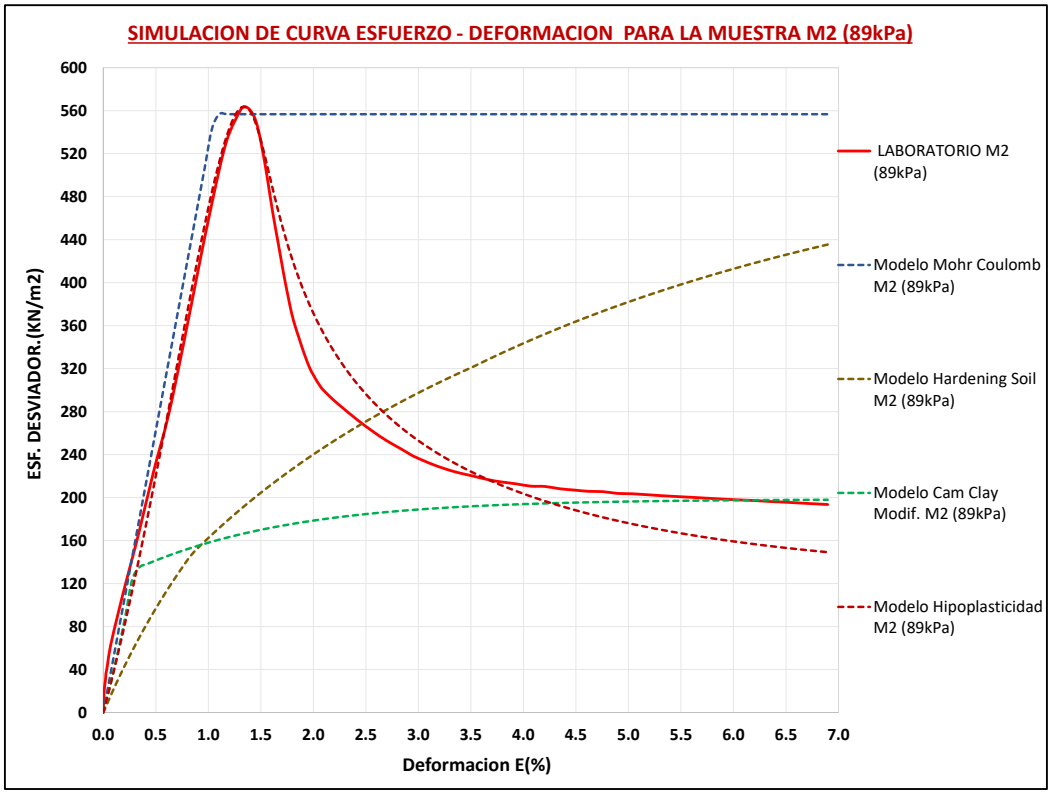
Esf. Max (kN/m2)	556.718
Def. al Esf. Max (%):	20.496%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	10551.891

4.552	195.439
4.621	195.591
4.690	195.735
4.759	195.872
4.828	196.003
4.897	196.127
4.966	196.244
5.035	196.356
5.104	196.463
5.173	196.564
5.242	196.660
5.311	196.751
5.380	196.837
5.449	196.919
5.518	196.997
5.587	197.071
5.656	197.142
5.725	197.208
5.793	197.272
5.862	197.332
5.931	197.389
6.000	197.443
6.069	197.495
6.138	197.544
6.207	197.590
6.276	197.634
6.345	197.676
6.414	197.716
6.483	197.753
6.552	197.789
6.621	197.823
6.690	197.855
6.759	197.886
6.828	197.915
6.897	197.943

Esf. Max (kN/m2)	198.717
Def. al Esf. Max (%):	22.10%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	44159.293

4.552	186.704
4.621	184.922
4.690	183.200
4.759	181.536
4.828	179.929
4.897	178.374
4.966	176.870
5.035	175.414
5.104	174.005
5.173	172.641
5.242	171.320
5.311	170.040
5.380	168.800
5.449	167.598
5.518	166.433
5.587	165.303
5.656	164.208
5.725	163.144
5.793	162.112
5.862	161.112
5.931	160.140
6.000	159.198
6.069	158.284
6.138	157.396
6.207	156.535
6.276	155.698
6.345	154.886
6.414	154.098
6.483	153.332
6.552	152.589
6.621	151.867
6.690	151.167
6.759	150.486
6.828	149.825
6.897	149.184

Esf. Max (kN/m2)	562.779
Def. al Esf. Max (%):	1.310%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	45239.47



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LA MUESTRA M5

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

MC: Modelo de Mohr Coulomb:
HS: Modelo de Hardening Soil
CCM: Modelo de Cam Clay Modficado
HIPO: Modelo de la Hipoplasticidad

SIMULACION MC

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	36.083
0.137	72.167
0.206	108.250
0.275	144.333
0.344	180.416
0.412	216.500
0.481	252.583
0.550	288.666
0.619	324.749
0.687	360.833
0.756	396.916
0.825	432.999
0.893	469.082
0.962	505.166
1.031	541.249
1.100	577.332
1.168	613.415
1.237	649.499
1.306	685.582
1.375	703.423
1.443	703.422
1.512	703.413
1.581	703.400
1.650	703.386
1.718	703.377
1.787	703.372
1.856	703.372
1.924	703.376
1.993	703.381
2.062	703.387
2.131	703.391
2.199	703.393
2.268	703.393
2.337	703.392
2.406	703.389
2.474	703.387
2.543	703.385
2.612	703.384
2.680	703.384
2.749	703.385
2.818	703.386
2.887	703.387
2.955	703.388
3.024	703.388
3.093	703.388
3.162	703.388
3.230	703.387
3.299	703.387
3.368	703.387
3.437	703.386
3.505	703.386
3.574	703.387
3.643	703.387
3.711	703.387
3.780	703.387
3.849	703.387
3.918	703.387
3.986	703.387
4.055	703.387
4.124	703.387
4.193	703.387
4.261	703.387
4.330	703.387
4.399	703.387
4.467	703.387

SIMULACION HS

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	18.885
0.137	36.879
0.206	54.044
0.275	70.435
0.344	86.104
0.412	101.098
0.481	113.686
0.550	124.761
0.619	135.392
0.687	145.622
0.756	155.484
0.825	165.010
0.893	174.224
0.962	183.149
1.031	191.805
1.100	200.208
1.168	208.376
1.237	216.317
1.306	224.049
1.375	231.576
1.443	238.915
1.512	246.071
1.581	253.052
1.650	259.866
1.718	266.520
1.787	273.022
1.856	279.375
1.924	285.586
1.993	291.661
2.062	297.604
2.131	303.419
2.199	309.111
2.268	314.684
2.337	320.142
2.406	325.488
2.474	330.726
2.543	335.859
2.612	340.890
2.680	345.822
2.749	350.658
2.818	355.401
2.887	360.054
2.955	364.617
3.024	369.096
3.093	373.490
3.162	377.803
3.230	382.037
3.299	386.194
3.368	390.276
3.437	394.284
3.505	398.220
3.574	402.087
3.643	405.886
3.711	410.017
3.780	414.080
3.849	418.078
3.918	422.011
3.986	425.881
4.055	429.689
4.124	433.436
4.193	437.123
4.261	440.752
4.330	444.323
4.399	447.839
4.467	451.299

SIMULACION CCM

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	44.905
0.137	94.267
0.206	107.727
0.275	117.976
0.344	127.629
0.412	136.767
0.481	145.447
0.550	153.714
0.619	161.603
0.687	169.141
0.756	176.354
0.825	183.261
0.893	189.878
0.962	196.222
1.031	202.304
1.100	208.138
1.168	213.733
1.237	219.099
1.306	224.246
1.375	229.182
1.443	233.915
1.512	238.453
1.581	242.802
1.650	246.970
1.718	250.964
1.787	254.789
1.856	258.451
1.924	261.960
1.993	265.316
2.062	268.528
2.131	271.601
2.199	274.540
2.268	277.351
2.337	280.037
2.406	282.604
2.474	285.057
2.543	287.400
2.612	289.637
2.680	291.774
2.749	293.813
2.818	295.759
2.887	297.616
2.955	299.388
3.024	301.078
3.093	302.689
3.162	304.226
3.230	305.691
3.299	307.087
3.368	308.417
3.437	309.685
3.505	310.893
3.574	312.043
3.643	313.139
3.711	314.183
3.780	315.177
3.849	316.123
3.918	317.024
3.986	317.882
4.055	318.698
4.124	319.475
4.193	320.215
4.261	320.919
4.330	321.589
4.399	322.226
4.467	322.832

SIMULACION HIPO

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	39.068
0.137	80.476
0.206	124.165
0.275	170.036
0.344	217.915
0.412	267.532
0.481	318.513
0.550	370.372
0.619	422.489
0.687	474.062
0.756	524.095
0.825	571.314
0.893	614.157
0.962	650.700
1.031	678.720
1.100	695.944
1.168	700.659
1.237	692.798
1.306	674.682
1.375	650.316
1.443	623.571
1.512	596.975
1.581	571.912
1.650	548.828
1.718	527.771
1.787	508.621
1.856	491.203
1.924	475.313
1.993	460.780
2.062	447.436
2.131	435.147
2.199	423.786
2.268	413.256
2.337	403.464
2.406	394.331
2.474	385.796
2.543	377.798
2.612	370.288
2.680	363.218
2.749	356.553
2.818	350.259
2.887	344.305
2.955	338.664
3.024	333.313
3.093	328.229
3.162	323.392
3.230	318.786
3.299	314.397
3.368	310.209
3.437	306.210
3.505	302.388
3.574	298.732
3.643	295.232
3.711	291.880
3.780	288.666
3.849	285.583
3.918	282.625
3.986	279.783
4.055	277.053
4.124	274.428
4.193	271.905
4.261	269.477
4.330	267.142
4.399	264.894
4.467	262.729

4.536	703.387
4.605	703.387
4.674	703.387
4.742	703.387
4.811	703.387
4.880	703.387
4.949	703.387
5.017	703.387
5.086	703.387
5.155	703.387
5.223	703.387
5.292	703.387
5.361	703.387
5.430	703.387
5.498	703.387
5.567	703.387
5.636	703.387
5.705	703.387
5.773	703.387
5.842	703.387
5.911	703.387
5.980	703.387
6.048	703.387
6.117	703.387
6.186	703.387
6.254	703.387
6.323	703.387
6.392	703.387
6.461	703.387
6.529	703.387
6.598	703.387
6.667	703.387
6.736	703.387
6.804	703.387
6.873	703.387

Esf. Max (kN/m2)	703.423
Def. al Esf. Max (%):	1.375%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	52416.00

4.536	454.704
4.605	458.057
4.674	461.357
4.742	464.607
4.811	467.806
4.880	470.955
4.949	474.056
5.017	477.110
5.086	480.117
5.155	483.078
5.223	485.994
5.292	488.866
5.361	491.695
5.430	494.480
5.498	497.225
5.567	499.928
5.636	502.591
5.705	505.214
5.773	507.798
5.842	510.344
5.911	512.853
5.980	515.324
6.048	517.760
6.117	520.160
6.186	522.525
6.254	524.856
6.323	527.153
6.392	529.417
6.461	531.649
6.529	533.849
6.598	536.017
6.667	538.155
6.736	540.262
6.804	542.340
6.873	544.388

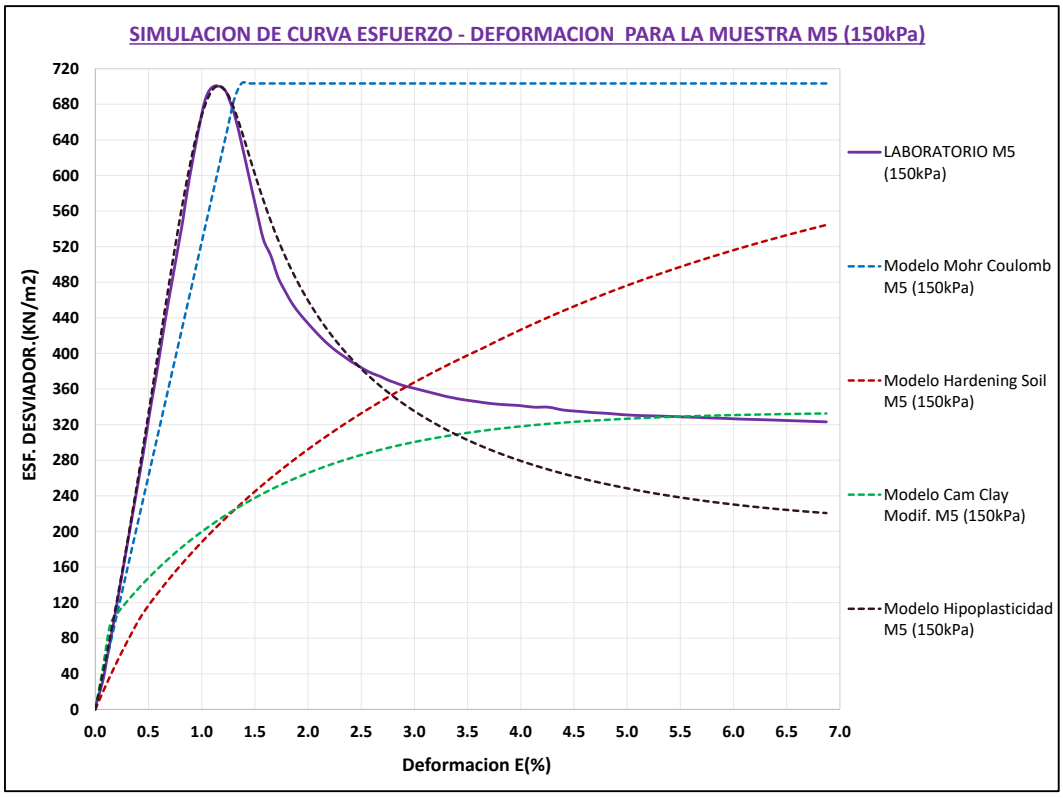
Esf. Max (kN/m2)	703.424
Def. al Esf. Max (%):	20.984%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	12697.19

4.536	323.409
4.605	323.957
4.674	324.479
4.742	324.975
4.811	325.446
4.880	325.895
4.949	326.321
5.017	326.727
5.086	327.112
5.155	327.479
5.223	327.827
5.292	328.158
5.361	328.473
5.430	328.772
5.498	329.057
5.567	329.328
5.636	329.585
5.705	329.830
5.773	330.062
5.842	330.283
5.911	330.492
5.980	330.692
6.048	330.882
6.117	331.062
6.186	331.234
6.254	331.397
6.323	331.551
6.392	331.698
6.461	331.838
6.529	331.970
6.598	332.096
6.667	332.216
6.736	332.330
6.804	332.438
6.873	332.540

Esf. Max (kN/m2)	334.904
Def. al Esf. Max (%):	23.50%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	24974.17

4.536	260.644
4.605	258.635
4.674	256.699
4.742	254.833
4.811	253.034
4.880	251.299
4.949	249.626
5.017	248.012
5.086	246.455
5.155	244.952
5.223	243.502
5.292	242.103
5.361	240.753
5.430	239.451
5.498	238.191
5.567	236.979
5.636	235.807
5.705	234.675
5.773	233.584
5.842	232.532
5.911	231.516
5.980	230.537
6.048	229.593
6.117	228.682
6.186	227.804
6.254	226.958
6.323	226.142
6.392	225.356
6.461	224.599
6.529	223.870
6.598	223.168
6.667	222.493
6.736	221.843
6.804	221.218
6.873	220.617

Esf. Max (kN/m2)	700.659
Def. al Esf. Max (%):	1.168%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	66984.62



ANEXO B8

RESULTADOS DE SIMULACION DE CADA CURVA

ESFUERZO - DEFORMACION M4 – M1 – M6

CON TODOS LOS MODELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LA MUESTRA M4

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

MC: Modelo de Mohr Coulomb:
HS: Modelo de Hardening Soil
CCM: Modelo de Cam Clay Modficado
HIPO: Modelo de la Hipoplasticidad

SIMULACION MC

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	32.178
0.138	64.356
0.208	96.534
0.277	128.712
0.346	160.890
0.415	193.068
0.484	225.246
0.554	257.424
0.623	289.602
0.692	321.780
0.761	353.958
0.830	386.136
0.900	418.314
0.969	450.492
1.038	463.358
1.107	463.356
1.176	463.350
1.246	463.343
1.315	463.336
1.384	463.332
1.453	463.331
1.522	463.332
1.592	463.334
1.661	463.338
1.730	463.340
1.799	463.342
1.868	463.342
1.938	463.342
2.007	463.341
2.076	463.339
2.145	463.338
2.214	463.338
2.284	463.337
2.353	463.338
2.422	463.338
2.491	463.339
2.560	463.339
2.630	463.339
2.699	463.339
2.768	463.339
2.837	463.339
2.906	463.339
2.976	463.339
3.045	463.339
3.114	463.339
3.183	463.339
3.252	463.339
3.322	463.339
3.391	463.339
3.460	463.339
3.529	463.339
3.598	463.339
3.668	463.339
3.737	463.339
3.806	463.339
3.875	463.339
3.944	463.339
4.014	463.339
4.083	463.339
4.152	463.339
4.221	463.339
4.290	463.339
4.360	463.339
4.429	463.339
4.498	463.339

SIMULACION HS

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	6.877
0.138	13.572
0.208	20.094
0.277	26.447
0.346	32.640
0.415	38.678
0.484	44.566
0.554	50.310
0.623	55.916
0.692	61.388
0.761	66.732
0.830	71.950
0.900	77.049
0.969	82.031
1.038	86.902
1.107	91.663
1.176	96.321
1.246	100.876
1.315	105.334
1.384	109.697
1.453	113.967
1.522	118.149
1.592	122.244
1.661	126.256
1.730	130.186
1.799	134.038
1.868	137.813
1.938	141.514
2.007	145.143
2.076	148.703
2.145	152.194
2.214	155.619
2.284	158.981
2.353	162.280
2.422	165.518
2.491	168.322
2.560	170.080
2.630	171.825
2.699	173.558
2.768	175.276
2.837	176.983
2.906	178.676
2.976	180.357
3.045	182.025
3.114	183.682
3.183	185.326
3.252	186.958
3.322	188.578
3.391	190.186
3.460	191.784
3.529	193.369
3.598	194.944
3.668	196.507
3.737	198.059
3.806	199.601
3.875	201.131
3.944	202.651
4.014	204.161
4.083	205.660
4.152	207.149
4.221	208.627
4.290	210.096
4.360	211.554
4.429	213.002
4.498	214.441

SIMULACION CCM

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	15.180
0.138	31.887
0.208	50.274
0.277	70.511
0.346	92.780
0.415	117.286
0.484	135.641
0.554	134.278
0.623	133.000
0.692	131.800
0.761	130.671
0.830	129.608
0.900	128.607
0.969	127.664
1.038	126.775
1.107	125.937
1.176	125.146
1.246	124.401
1.315	123.696
1.384	123.032
1.453	122.404
1.522	121.810
1.592	121.249
1.661	120.719
1.730	120.218
1.799	119.744
1.868	119.296
1.938	118.872
2.007	118.471
2.076	118.092
2.145	117.733
2.214	117.393
2.284	117.071
2.353	116.766
2.422	116.477
2.491	116.204
2.560	115.945
2.630	115.700
2.699	115.468
2.768	115.247
2.837	115.038
2.906	114.841
2.976	114.653
3.045	114.476
3.114	114.307
3.183	114.148
3.252	113.996
3.322	113.853
3.391	113.717
3.460	113.588
3.529	113.466
3.598	113.350
3.668	113.240
3.737	113.136
3.806	113.037
3.875	112.944
3.944	112.855
4.014	112.770
4.083	112.690
4.152	112.614
4.221	112.542
4.290	112.474
4.360	112.409
4.429	112.348
4.498	112.289

SIMULACION HIPO

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	21.375
0.138	43.908
0.208	67.406
0.277	91.699
0.346	116.630
0.415	142.051
0.484	167.820
0.554	193.815
0.623	219.887
0.692	245.920
0.761	271.760
0.830	297.273
0.900	322.281
0.969	346.610
1.038	370.024
1.107	392.241
1.176	412.879
1.246	431.423
1.315	447.058
1.384	458.417
1.453	462.686
1.522	451.770
1.592	401.774
1.661	351.531
1.730	318.179
1.799	293.630
1.868	274.296
1.938	258.428
2.007	245.022
2.076	233.460
2.145	223.333
2.214	214.355
2.284	206.314
2.353	199.049
2.422	192.450
2.491	186.415
2.560	180.867
2.630	175.744
2.699	170.994
2.768	166.574
2.837	162.450
2.906	158.587
2.976	154.963
3.045	151.555
3.114	148.343
3.183	145.310
3.252	142.440
3.322	139.720
3.391	137.138
3.460	134.683
3.529	132.345
3.598	130.118
3.668	127.993
3.737	125.963
3.806	124.022
3.875	122.164
3.944	120.385
4.014	118.679
4.083	117.041
4.152	115.469
4.221	113.959
4.290	112.507
4.360	111.110
4.429	109.765
4.498	108.469

4.567	463.339
4.636	463.339
4.706	463.339
4.775	463.339
4.844	463.339
4.913	463.339
4.982	463.339
5.052	463.339
5.121	463.339
5.190	463.339
5.259	463.339
5.328	463.339
5.398	463.339
5.467	463.339
5.536	463.339
5.605	463.339
5.674	463.339
5.744	463.339
5.813	463.339
5.882	463.339
5.951	463.339
6.020	463.339
6.090	463.339
6.159	463.339
6.228	463.339
6.297	463.339
6.366	463.339
6.436	463.339
6.505	463.339
6.574	463.339
6.643	463.339
6.712	463.339
6.782	463.339
6.851	463.339
6.920	463.339

Esf. Max (kN/m2)	463.358
Def. al Esf. Max (%):	1.038%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	46615.53

4.567	215.870
4.636	217.289
4.706	218.699
4.775	220.099
4.844	221.490
4.913	222.872
4.982	224.244
5.052	225.607
5.121	226.961
5.190	228.306
5.259	229.643
5.328	230.970
5.398	232.289
5.467	233.599
5.536	234.900
5.605	236.193
5.674	237.478
5.744	238.754
5.813	240.021
5.882	241.281
5.951	242.532
6.020	243.775
6.090	245.010
6.159	246.237
6.228	247.456
6.297	248.667
6.366	249.871
6.436	251.066
6.505	252.254
6.574	253.434
6.643	254.607
6.712	255.772
6.782	256.930
6.851	258.080
6.920	259.223

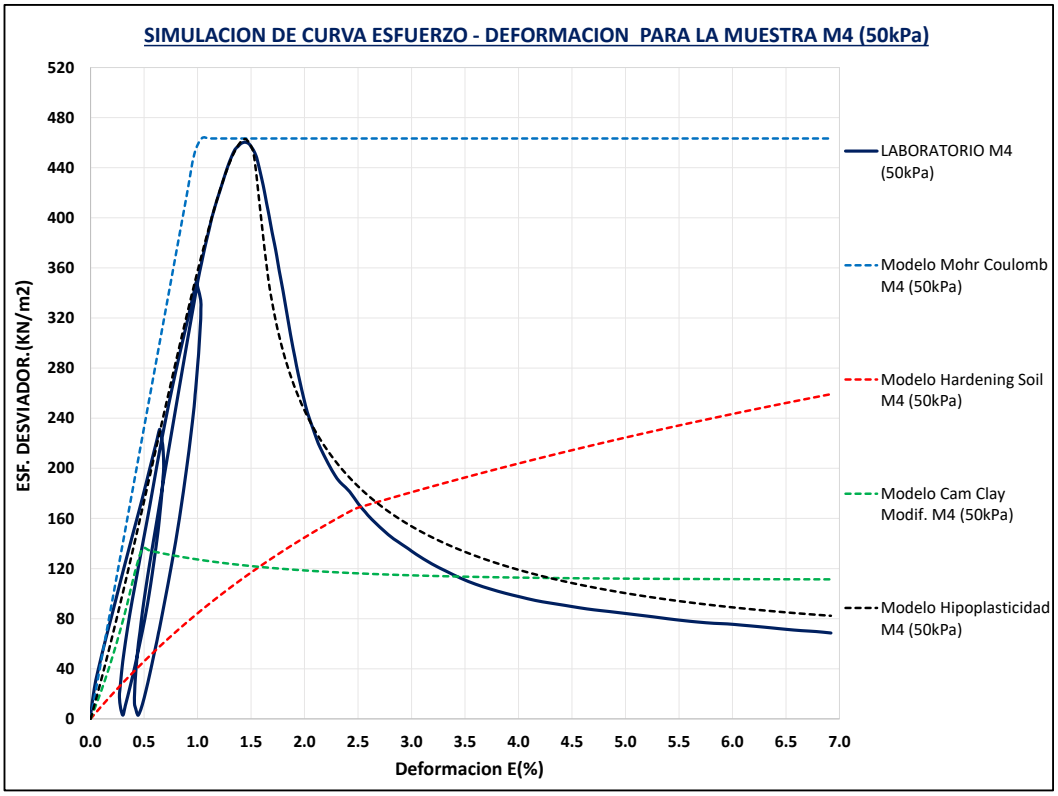
Esf. Max (kN/m2)	463.360
Def. al Esf. Max (%):	43.071%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	4310.32

4.567	112.234
4.636	112.182
4.706	112.132
4.775	112.084
4.844	112.040
4.913	111.997
4.982	111.957
5.052	111.919
5.121	111.882
5.190	111.848
5.259	111.815
5.328	111.784
5.398	111.755
5.467	111.727
5.536	111.701
5.605	111.676
5.674	111.652
5.744	111.629
5.813	111.608
5.882	111.588
5.951	111.568
6.020	111.550
6.090	111.533
6.159	111.516
6.228	111.501
6.297	111.486
6.366	111.472
6.436	111.459
6.505	111.446
6.574	111.434
6.643	111.423
6.712	111.412
6.782	111.402
6.851	111.392
6.920	111.383

Esf. Max (kN/m2)	135.641
Def. al Esf. Max (%):	0.484%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	25353.45

4.567	107.220
4.636	106.017
4.706	104.856
4.775	103.736
4.844	102.654
4.913	101.610
4.982	100.600
5.052	99.624
5.121	98.681
5.190	97.769
5.259	96.886
5.328	96.033
5.398	95.207
5.467	94.407
5.536	93.632
5.605	92.882
5.674	92.156
5.744	91.452
5.813	90.769
5.882	90.108
5.951	89.467
6.020	88.846
6.090	88.244
6.159	87.660
6.228	87.094
6.297	86.545
6.366	86.012
6.436	85.496
6.505	84.996
6.574	84.510
6.643	84.039
6.712	83.582
6.782	83.140
6.851	82.710
6.920	82.293

Esf. Max (kN/m2)	462.686
Def. al Esf. Max (%):	1.453%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	35319.55



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LA MUESTRA M1

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

MC: Modelo de Mohr Coulomb:
HS: Modelo de Hardening Soil
CCM: Modelo de Cam Clay Modficado
HIPO: Modelo de la Hipoplasticidad

SIMULACION MC

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	32.025
0.138	64.049
0.207	96.074
0.275	128.098
0.344	160.123
0.413	192.147
0.482	224.172
0.551	256.196
0.620	288.221
0.689	320.246
0.758	352.270
0.826	384.295
0.895	416.319
0.964	448.344
1.033	480.368
1.102	512.393
1.171	544.417
1.240	557.210
1.309	557.207
1.377	557.199
1.446	557.189
1.515	557.180
1.584	557.175
1.653	557.173
1.722	557.174
1.791	557.178
1.859	557.182
1.928	557.185
1.997	557.188
2.066	557.188
2.135	557.187
2.204	557.186
2.273	557.184
2.342	557.183
2.410	557.182
2.479	557.182
2.548	557.182
2.617	557.183
2.686	557.183
2.755	557.184
2.824	557.184
2.893	557.184
2.961	557.184
3.030	557.184
3.099	557.184
3.168	557.183
3.237	557.183
3.306	557.183
3.375	557.183
3.444	557.184
3.512	557.184
3.581	557.184
3.650	557.184
3.719	557.184
3.788	557.184
3.857	557.184
3.926	557.184
3.994	557.184
4.063	557.184
4.132	557.184
4.201	557.184
4.270	557.184
4.339	557.184
4.408	557.184
4.477	557.184

SIMULACION HS

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	8.231
0.138	16.245
0.207	24.053
0.275	31.660
0.344	39.076
0.413	46.306
0.482	53.359
0.551	60.240
0.620	66.956
0.689	73.512
0.758	79.914
0.826	86.168
0.895	92.278
0.964	98.250
1.033	104.088
1.102	109.797
1.171	115.380
1.240	120.842
1.309	126.187
1.377	131.419
1.446	136.541
1.515	141.556
1.584	146.468
1.653	150.238
1.722	153.058
1.791	155.844
1.859	158.601
1.928	161.325
1.997	164.019
2.066	166.683
2.135	169.319
2.204	171.926
2.273	174.506
2.342	177.058
2.410	179.586
2.479	182.087
2.548	184.564
2.617	187.015
2.686	189.444
2.755	191.848
2.824	194.231
2.893	196.589
2.961	198.927
3.030	201.242
3.099	203.538
3.168	205.811
3.237	208.065
3.306	210.297
3.375	212.511
3.444	214.705
3.512	216.880
3.581	219.037
3.650	221.173
3.719	223.293
3.788	225.395
3.857	227.478
3.926	229.545
3.994	231.594
4.063	233.627
4.132	235.643
4.201	237.642
4.270	239.625
4.339	241.592
4.408	243.543
4.477	245.479

SIMULACION CCM

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	26.891
0.138	56.475
0.207	89.020
0.275	124.822
0.344	135.156
0.413	138.015
0.482	140.737
0.551	143.346
0.620	145.845
0.689	148.238
0.758	150.530
0.826	152.724
0.895	154.824
0.964	156.833
1.033	158.756
1.102	160.594
1.171	162.352
1.240	164.032
1.309	165.637
1.377	167.171
1.446	168.636
1.515	170.035
1.584	171.371
1.653	172.646
1.722	173.862
1.791	175.023
1.859	176.130
1.928	177.186
1.997	178.193
2.066	179.152
2.135	180.067
2.204	180.939
2.273	181.769
2.342	182.561
2.410	183.315
2.479	184.032
2.548	184.716
2.617	185.367
2.686	185.987
2.755	186.577
2.824	187.138
2.893	187.672
2.961	188.181
3.030	188.665
3.099	189.125
3.168	189.563
3.237	189.980
3.306	190.377
3.375	190.754
3.444	191.112
3.512	191.453
3.581	191.777
3.650	192.085
3.719	192.378
3.788	192.657
3.857	192.922
3.926	193.173
3.994	193.413
4.063	193.640
4.132	193.856
4.201	194.061
4.270	194.257
4.339	194.442
4.408	194.618
4.477	194.786

SIMULACION HIPO

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.069	23.461
0.138	48.518
0.207	75.152
0.275	103.314
0.344	132.964
0.413	164.020
0.482	196.376
0.551	229.894
0.620	264.401
0.689	299.659
0.758	335.402
0.826	371.278
0.895	406.826
0.964	441.478
1.033	474.458
1.102	504.734
1.171	530.865
1.240	550.766
1.309	561.349
1.377	558.224
1.446	537.216
1.515	501.422
1.584	462.680
1.653	428.303
1.722	399.441
1.791	375.196
1.859	354.566
1.928	336.776
1.997	321.242
2.066	307.526
2.135	295.307
2.204	284.333
2.273	274.409
2.342	265.386
2.410	257.134
2.479	249.555
2.548	242.566
2.617	236.097
2.686	230.090
2.755	224.498
2.824	219.275
2.893	214.387
2.961	209.803
3.030	205.496
3.099	201.439
3.168	197.613
3.237	194.000
3.306	190.582
3.375	187.345
3.444	184.275
3.512	181.361
3.581	178.591
3.650	175.955
3.719	173.445
3.788	171.054
3.857	168.774
3.926	166.598
3.994	164.521
4.063	162.535
4.132	160.638
4.201	158.822
4.270	157.085
4.339	155.420
4.408	153.826
4.477	152.299

4.545	557.184
4.614	557.184
4.683	557.184
4.752	557.184
4.821	557.184
4.890	557.184
4.959	557.184
5.028	557.184
5.096	557.184
5.165	557.184
5.234	557.184
5.303	557.184
5.372	557.184
5.441	557.184
5.510	557.184
5.578	557.184
5.647	557.184
5.716	557.184
5.785	557.184
5.854	557.184
5.923	557.184
5.992	557.184
6.061	557.184
6.129	557.184
6.198	557.184
6.267	557.184
6.336	557.184
6.405	557.184
6.474	557.184
6.543	557.184
6.612	557.184
6.680	557.184
6.749	557.184
6.818	557.184
6.887	557.184

Esf. Max (kN/m2)	557.210
Def. al Esf. Max (%):	1.2397%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	46434.15

4.545	247.399
4.614	249.304
4.683	251.194
4.752	253.069
4.821	254.930
4.890	256.776
4.959	258.607
5.028	260.425
5.096	262.229
5.165	264.018
5.234	265.795
5.303	267.557
5.372	269.306
5.441	271.043
5.510	272.765
5.578	274.476
5.647	276.173
5.716	277.857
5.785	279.529
5.854	281.189
5.923	282.836
5.992	284.472
6.061	286.095
6.129	287.706
6.198	289.305
6.267	290.893
6.336	292.469
6.405	294.034
6.474	295.588
6.543	297.130
6.612	298.661
6.680	300.181
6.749	301.690
6.818	303.188
6.887	304.676

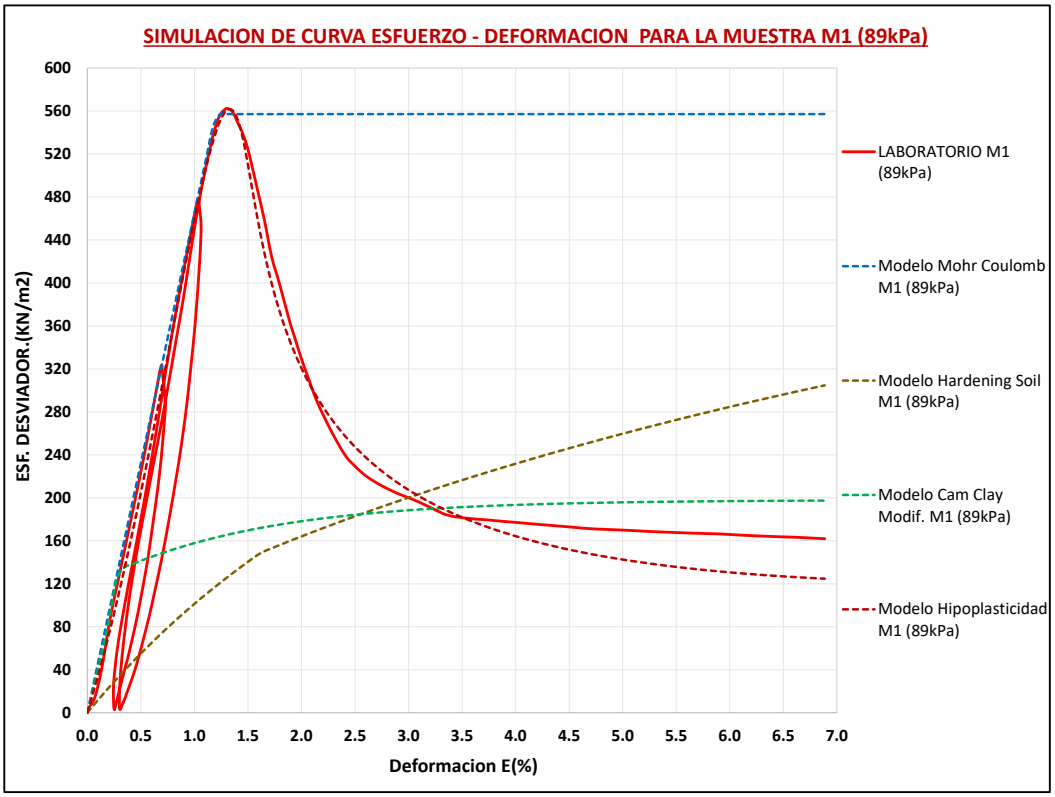
Esf. Max (kN/m2)	557.210
Def. al Esf. Max (%):	42.804%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	4845.31

4.545	194.945
4.614	195.096
4.683	195.240
4.752	195.376
4.821	195.506
4.890	195.629
4.959	195.747
5.028	195.858
5.096	195.964
5.165	196.064
5.234	196.160
5.303	196.251
5.372	196.337
5.441	196.419
5.510	196.496
5.578	196.570
5.647	196.640
5.716	196.706
5.785	196.770
5.854	196.830
5.923	196.887
5.992	196.941
6.061	196.992
6.129	197.041
6.198	197.087
6.267	197.131
6.336	197.173
6.405	197.212
6.474	197.250
6.543	197.285
6.612	197.319
6.680	197.352
6.749	197.382
6.818	197.411
6.887	197.439

Esf. Max (kN/m2)	198.095
Def. al Esf. Max (%):	21.87%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	44021.07

4.545	150.835
4.614	149.432
4.683	148.086
4.752	146.795
4.821	145.557
4.890	144.369
4.959	143.228
5.028	142.134
5.096	141.083
5.165	140.074
5.234	139.106
5.303	138.177
5.372	137.285
5.441	136.428
5.510	135.607
5.578	134.816
5.647	134.060
5.716	133.333
5.785	132.635
5.854	131.966
5.923	131.325
5.992	130.711
6.061	130.122
6.129	129.558
6.198	129.018
6.267	128.501
6.336	128.006
6.405	127.534
6.474	127.082
6.543	126.650
6.612	126.238
6.680	125.845
6.749	125.471
6.818	125.114
6.887	124.775

Esf. Max (kN/m2)	561.349
Def. al Esf. Max (%):	1.309%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	43081.26



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION PARA LA MUESTRA M6

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca

Ubicacion: Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis (Soil - Test)

Nro de pasos de Calculo: 100

MC: Modelo de Mohr Coulomb:
HS: Modelo de Hardening Soil
CCM: Modelo de Cam Clay Modficado
HIPO: Modelo de la Hipoplasticidad

SIMULACION MC

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.068	31.848
0.137	63.696
0.205	95.544
0.274	127.391
0.342	159.239
0.411	191.087
0.479	222.935
0.548	254.783
0.616	286.631
0.685	318.479
0.753	350.326
0.822	382.174
0.890	414.022
0.959	445.870
1.027	477.718
1.096	509.566
1.164	541.413
1.233	573.261
1.301	605.109
1.370	636.957
1.438	668.805
1.507	700.653
1.575	703.995
1.644	703.995
1.712	703.987
1.781	703.976
1.849	703.965
1.918	703.958
1.986	703.954
2.055	703.955
2.123	703.958
2.192	703.963
2.260	703.967
2.329	703.970
2.397	703.971
2.466	703.971
2.534	703.970
2.603	703.968
2.671	703.966
2.740	703.965
2.808	703.964
2.877	703.965
2.945	703.965
3.014	703.966
3.082	703.967
3.151	703.967
3.219	703.967
3.288	703.967
3.356	703.967
3.425	703.967
3.493	703.966
3.561	703.966
3.630	703.966
3.698	703.966
3.767	703.966
3.835	703.966
3.904	703.967
3.972	703.967
4.041	703.967
4.109	703.967
4.178	703.967
4.246	703.966
4.315	703.966
4.383	703.966
4.452	703.966

SIMULACION HS

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.068	10.341
0.137	20.415
0.205	30.228
0.274	39.791
0.342	49.115
0.411	58.206
0.479	67.076
0.548	75.730
0.616	84.178
0.685	92.426
0.753	100.481
0.822	106.972
0.890	112.252
0.959	117.406
1.027	122.450
1.096	127.387
1.164	132.224
1.233	136.966
1.301	141.618
1.370	146.186
1.438	150.673
1.507	155.082
1.575	159.419
1.644	163.685
1.712	167.884
1.781	172.019
1.849	176.092
1.918	180.105
1.986	184.062
2.055	187.963
2.123	191.811
2.192	195.607
2.260	199.353
2.329	203.051
2.397	206.703
2.466	210.309
2.534	213.871
2.603	217.390
2.671	220.867
2.740	224.304
2.808	227.702
2.877	231.060
2.945	234.383
3.014	237.666
3.082	240.916
3.151	244.129
3.219	247.310
3.288	250.455
3.356	253.570
3.425	256.650
3.493	259.701
3.561	262.719
3.630	265.709
3.698	268.668
3.767	271.599
3.835	274.500
3.904	277.375
3.972	280.221
4.041	283.040
4.109	285.834
4.178	288.600
4.246	291.341
4.315	294.058
4.383	296.748
4.452	299.414

SIMULACION CCM

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.068	45.072
0.137	94.632
0.205	107.779
0.274	117.970
0.342	127.569
0.411	136.656
0.479	145.288
0.548	153.509
0.616	161.354
0.685	168.851
0.753	176.024
0.822	182.892
0.890	189.473
0.959	195.782
1.027	201.832
1.096	207.634
1.164	213.199
1.233	218.537
1.301	223.657
1.370	228.567
1.438	233.276
1.507	237.791
1.575	242.119
1.644	246.267
1.712	250.242
1.781	254.049
1.849	257.695
1.918	261.187
1.986	264.529
2.055	267.728
2.123	270.789
2.192	273.716
2.260	276.516
2.329	279.192
2.397	281.750
2.466	284.195
2.534	286.530
2.603	288.761
2.671	290.891
2.740	292.925
2.808	294.866
2.877	296.718
2.945	298.486
3.014	300.172
3.082	301.781
3.151	303.314
3.219	304.777
3.288	306.171
3.356	307.500
3.425	308.766
3.493	309.973
3.561	311.123
3.630	312.218
3.698	313.261
3.767	314.255
3.835	315.201
3.904	316.102
3.972	316.960
4.041	317.777
4.109	318.555
4.178	319.295
4.246	320.000
4.315	320.670
4.383	321.308
4.452	321.916

SIMULACION HIPO

Defor. (%)	Esf. (kN/m2)
0.000	0.000
0.068	36.330
0.137	74.700
0.205	114.963
0.274	156.924
0.342	200.415
0.411	245.199
0.479	291.006
0.548	337.517
0.616	384.363
0.685	431.086
0.753	477.172
0.822	521.997
0.890	564.747
0.959	604.419
1.027	639.745
1.096	669.017
1.164	690.032
1.233	699.992
1.301	695.885
1.370	676.191
1.438	643.892
1.507	606.166
1.575	569.166
1.644	535.702
1.712	506.212
1.781	480.371
1.849	457.643
1.918	437.541
1.986	419.638
2.055	403.590
2.123	389.119
2.192	376.001
2.260	364.049
2.329	353.115
2.397	343.071
2.466	333.812
2.534	325.251
2.603	317.310
2.671	309.926
2.740	303.045
2.808	296.618
2.877	290.604
2.945	284.965
3.014	279.671
3.082	274.693
3.151	270.006
3.219	265.587
3.288	261.417
3.356	257.477
3.425	253.751
3.493	250.223
3.561	246.882
3.630	243.715
3.698	240.712
3.767	237.863
3.835	235.158
3.904	232.589
3.972	230.148
4.041	227.828
4.109	225.623
4.178	223.526
4.246	221.532
4.315	219.637
4.383	217.831
4.452	216.114

4.520	703.966
4.589	703.966
4.657	703.966
4.726	703.966
4.794	703.966
4.863	703.966
4.931	703.966
5.000	703.966
5.068	703.966
5.137	703.966
5.205	703.966
5.274	703.966
5.342	703.966
5.411	703.966
5.479	703.966
5.548	703.966
5.616	703.966
5.685	703.966
5.753	703.966
5.822	703.966
5.890	703.966
5.959	703.966
6.027	703.966
6.096	703.966
6.164	703.966
6.233	703.966
6.301	703.966
6.370	703.966
6.438	703.966
6.507	703.966
6.575	703.966
6.644	703.966
6.712	703.966
6.781	703.966
6.849	703.966

Esf. Max (kN/m2)	703.995
Def. al Esf. Max (%):	1.5753%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	46560.53

4.520	302.058
4.589	304.675
4.657	307.271
4.726	309.844
4.794	312.394
4.863	314.921
4.931	317.426
5.000	319.910
5.068	322.372
5.137	324.813
5.205	327.233
5.274	329.632
5.342	332.012
5.411	334.371
5.479	336.710
5.548	339.030
5.616	341.331
5.685	343.612
5.753	345.875
5.822	348.119
5.890	350.345
5.959	352.552
6.027	354.742
6.096	356.914
6.164	359.068
6.233	361.205
6.301	363.325
6.370	365.428
6.438	367.515
6.507	369.585
6.575	371.638
6.644	373.675
6.712	375.697
6.781	377.702
6.849	379.692

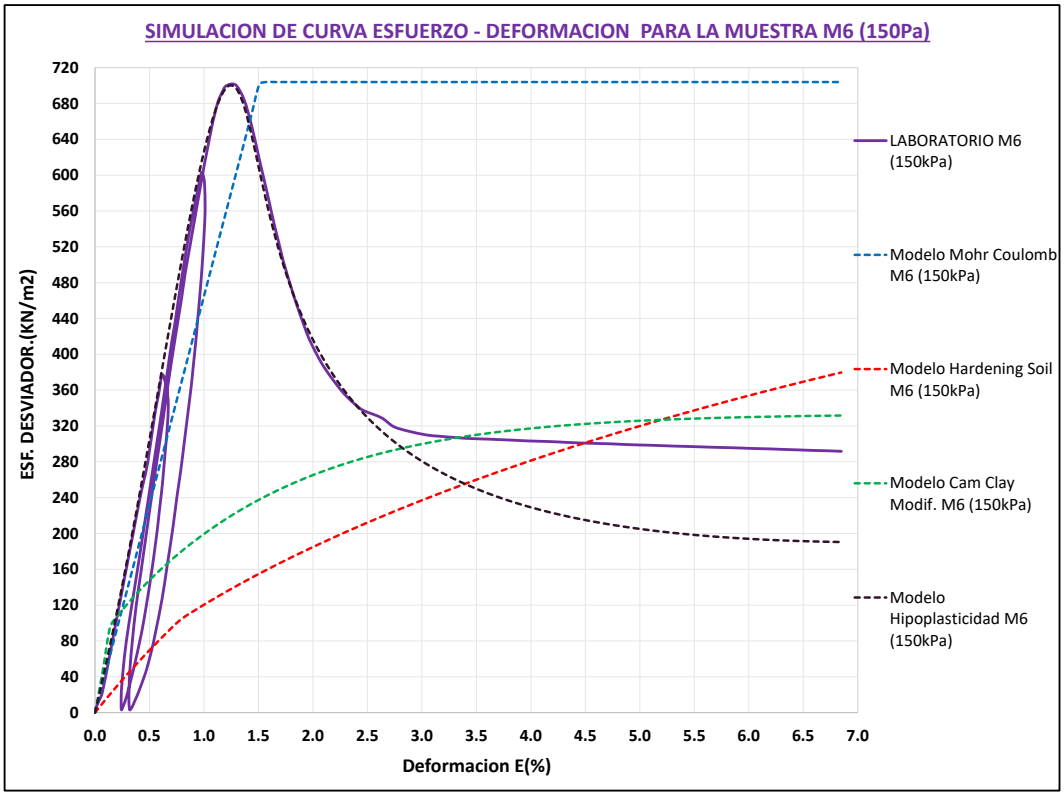
Esf. Max (kN/m2)	704.003
Def. al Esf. Max (%):	42.656%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	5920.971

4.520	322.493
4.589	323.043
4.657	323.565
4.726	324.063
4.794	324.536
4.863	324.985
4.931	325.413
5.000	325.820
5.068	326.207
5.137	326.575
5.205	326.924
5.274	327.257
5.342	327.573
5.411	327.874
5.479	328.160
5.548	328.432
5.616	328.690
5.685	328.936
5.753	329.170
5.822	329.392
5.890	329.603
5.959	329.803
6.027	329.994
6.096	330.176
6.164	330.349
6.233	330.513
6.301	330.668
6.370	330.816
6.438	330.957
6.507	331.091
6.575	331.218
6.644	331.338
6.712	331.453
6.781	331.562
6.849	331.665

Esf. Max (kN/m2)	333.564
Def. al Esf. Max (%):	23.54%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	25080.02

4.520	214.481
4.589	212.929
4.657	211.453
4.726	210.050
4.794	208.717
4.863	207.451
4.931	206.248
5.000	205.107
5.068	204.024
5.137	202.997
5.205	202.024
5.274	201.102
5.342	200.230
5.411	199.405
5.479	198.626
5.548	197.891
5.616	197.199
5.685	196.547
5.753	195.934
5.822	195.359
5.890	194.823
5.959	194.316
6.027	193.848
6.096	193.411
6.164	193.004
6.233	192.628
6.301	192.282
6.370	191.964
6.438	191.674
6.507	191.410
6.575	191.172
6.644	190.959
6.712	190.770
6.781	190.604
6.849	190.460

Esf. Max (kN/m2)	699.992
Def. al Esf. Max (%):	1.233%
M. Elast. (E50) (kN/m2):	61699.73



ANEXO B9

RESULTADOS DE SIMULACION POR MODELADO AXISIMETRICO PARA LAS MUESTRAS M3 – M2 – M5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE MOHR COULOMB)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis Input - Output **Nro de pasos de Calculo:** 26 - 28

SIMULACION DE CURVA M3 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.024	12.500
0.048	25.000
0.071	37.500
0.095	50.000
0.190	100.000
0.286	150.000
0.381	200.000
0.476	250.000
0.571	300.000
0.667	350.000
0.738	387.500
0.810	425.000
0.842	442.022
0.874	459.044
0.956	469.702
1.111	468.733
1.265	466.125
1.419	463.308
1.574	461.307
1.885	461.869
2.507	463.172
3.169	463.628
3.831	463.686
4.492	463.460
5.153	463.123
5.814	462.824
6.476	462.652

SIMULACION DE CURVA M2 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.010	5.500
0.021	11.000
0.116	61.000
0.211	111.000
0.307	161.000
0.402	211.000
0.497	261.000
0.592	311.000
0.688	361.000
0.783	411.000
0.878	461.000
0.973	511.000
1.023	537.205
1.073	560.674
1.083	562.171
1.125	567.330
1.205	565.087
1.284	562.615
1.364	560.834
1.445	560.112
1.607	561.098
1.932	562.807
2.581	563.812
3.877	563.409
5.173	562.724
6.469	562.084

SIMULACION DE CURVA M5 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.048	25.000
0.095	50.000
0.190	100.000
0.286	150.000
0.381	200.000
0.476	250.000
0.571	300.000
0.667	350.000
0.762	400.000
0.857	450.000
0.952	500.000
1.048	550.000
1.143	600.000
1.238	650.000
1.286	675.361
1.335	700.789
1.488	716.621
1.779	711.783
2.069	705.640
2.360	700.713
2.653	698.254
3.242	699.884
4.370	703.705
5.498	706.034
6.625	706.589

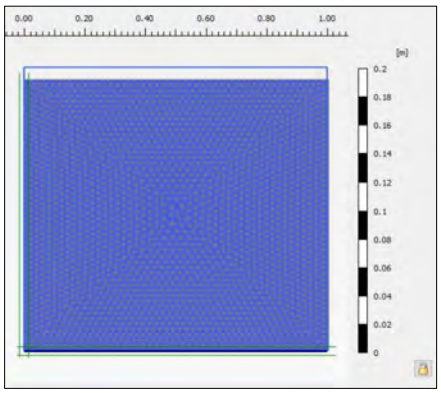
Deformacion total Unitaria para la Muestra M3 (50kPa)

Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 459.044kPa + 50kPa = 509.044kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Uniform value of $-8.744*10^{-3}$

Con Un esfuerzo Desviador = 459.044kPa
(mismo que el esf. desviador max. experimental)



Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = $8.819*10^{-3}$ m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = $-8.744*10^{-3}$ m (Element 184 at Node 11626)

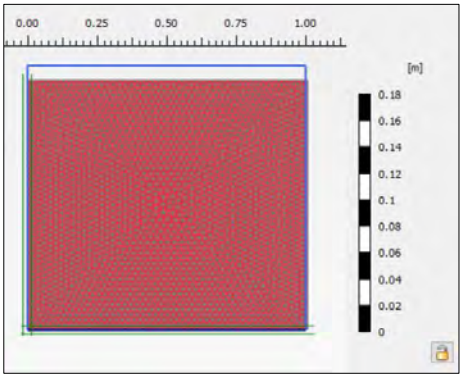
Deformacion total Unitaria para la Muestra M2 (89kPa)

Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 563.409kPa + 89kPa = 652.409kPa$

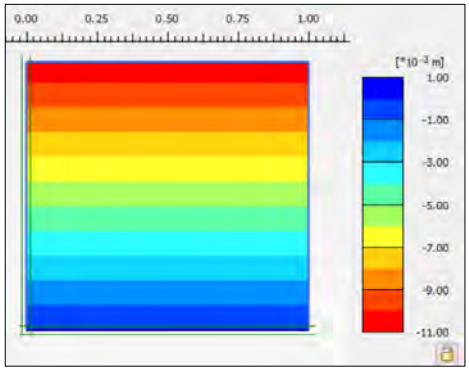


Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Uniform value of -0.01083

Con Un esfuerzo Desviador = 562.171kPa (Aprox. al esf. desviador max. experimental)



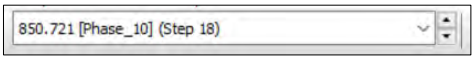
Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01093 m (Element 184 at Node 11625)



Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.01083 m (Element 184 at Node 11626)

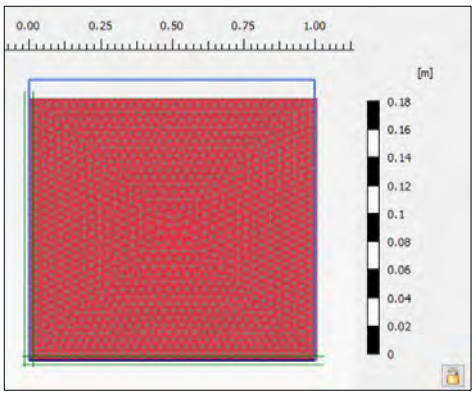
Deformacion total Unitaria para la Muestra M5 (150kPa)

Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 700.721kPa + 150kPa = 850.721kPa$

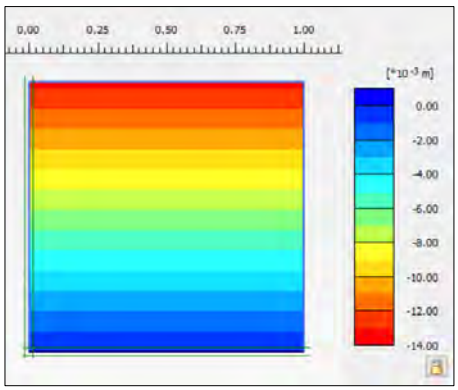


Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Uniform value of -0.01335

Con Un esfuerzo Desviador = 700.789kPa (Aprox. al Esf. desviador max. experimental)



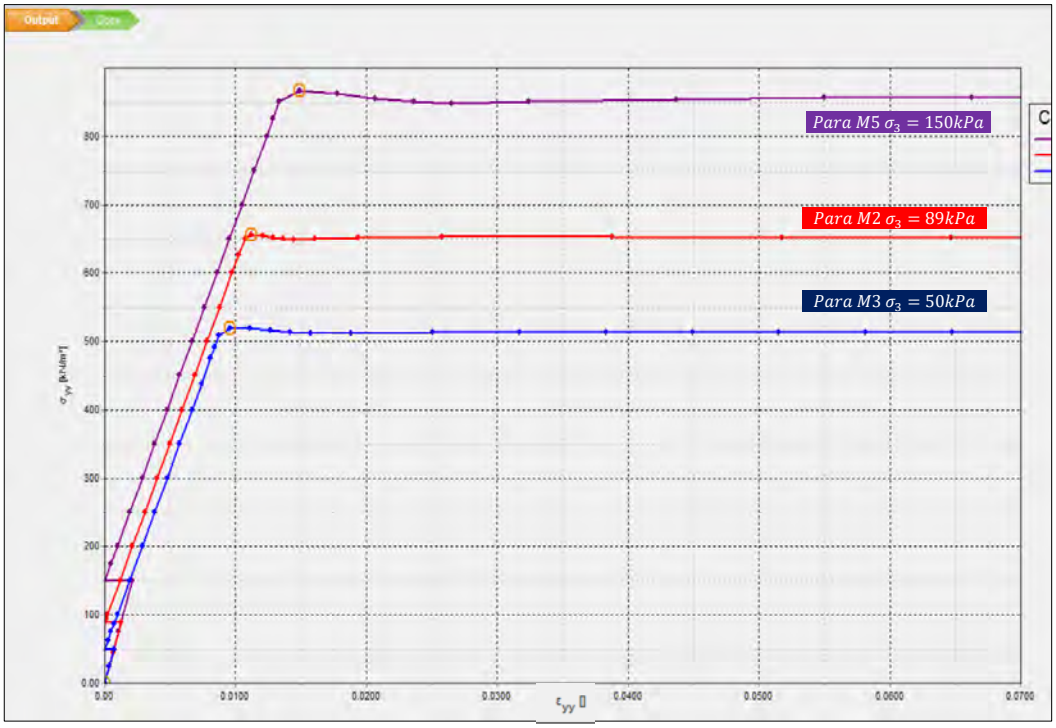
Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01346 m (Element 136 at Node 6689)

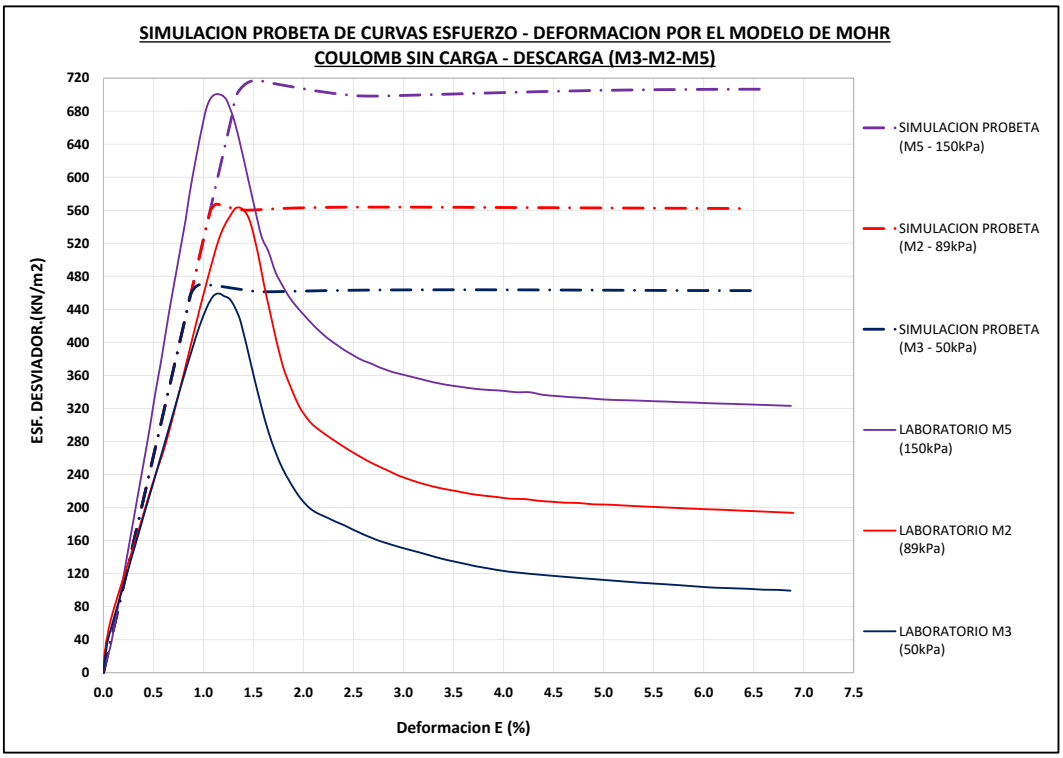


Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 6666)
Minimum value = -0.01335 m (Element 136 at Node 6689)

Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en Plaxis Output

$$Esfuerzo\ Principal\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.Unitaria\ (Eyy)$$





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE HARDENING SOIL)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis Input - Output **Nro de pasos de Calculo:** 65 - 67

SIMULACION DE CURVA M3 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	-0.002
0.089	24.999
0.177	50.000
0.266	75.000
0.355	100.021
0.406	108.672
0.491	118.753
0.577	128.362
0.662	137.536
0.747	146.275
0.785	149.980
0.799	151.418
0.828	154.173
0.857	156.899
0.914	162.250
1.030	170.374
1.145	177.412
1.317	187.513
1.488	197.132
1.659	206.239
1.830	214.880
2.000	223.113
2.170	230.980
2.341	238.505
2.511	245.705
2.615	249.936
2.627	250.503
2.649	251.341
2.672	252.191
2.717	253.982
2.808	257.520
2.977	263.940
3.147	270.127
3.314	276.893
3.480	283.271
3.645	289.239
3.810	294.865
3.974	300.226
4.138	305.386
4.301	310.378
4.464	315.213
4.626	319.890
4.788	324.403
4.950	328.747
5.111	332.925
5.271	336.942
5.432	340.806
5.592	344.527
5.751	348.115
5.840	349.911
5.849	350.576
5.866	351.077
5.900	351.521
5.934	351.970
6.002	353.142
6.081	354.788
6.161	356.512
6.240	358.250
6.319	359.950
6.399	361.578
6.478	363.125
6.557	364.600
6.635	366.021
6.714	367.407
6.793	368.775
6.871	370.136
6.950	371.492

SIMULACION DE CURVA M2 (89kPa)

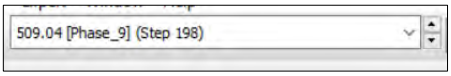
Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	-0.001
0.017	5.499
0.033	11.000
0.109	36.000
0.184	61.000
0.260	86.000
0.335	111.000
0.445	134.078
0.591	152.055
0.737	165.435
0.884	178.465
1.030	190.852
1.176	202.520
1.287	210.910
1.305	212.310
1.340	214.881
1.375	217.449
1.446	222.559
1.587	232.430
1.733	242.139
1.878	251.477
2.024	260.411
2.169	268.946
2.314	277.117
2.458	284.957
2.603	292.491
2.748	299.737
2.892	306.708
2.984	310.942
2.999	311.827
3.028	313.080
3.058	314.339
3.118	317.013
3.237	322.290
3.378	329.438
3.519	336.124
3.660	342.358
3.800	348.251
3.939	353.911
4.079	359.407
4.218	364.768
4.356	369.994
4.495	375.070
4.633	379.984
4.770	384.731
4.908	389.313
5.045	393.737
5.181	398.013
5.318	402.152
5.454	406.162
5.589	410.051
5.625	410.917
5.638	412.007
5.662	412.831
5.709	413.660
5.756	414.538
5.851	416.783
5.987	420.416
6.122	424.145
6.258	427.826
6.393	431.352
6.527	434.668
6.662	437.771
6.796	440.694
6.929	443.482

SIMULACION DE CURVA M5 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	-0.001
0.062	24.999
0.123	50.000
0.246	100.000
0.370	134.822
0.430	150.025
0.483	158.953
0.589	173.290
0.696	186.952
0.815	201.600
0.934	215.596
1.054	228.930
1.173	241.636
1.254	249.941
1.282	252.864
1.337	258.274
1.392	263.625
1.503	274.115
1.622	284.976
1.740	295.458
1.859	305.530
1.978	315.204
2.096	324.512
2.214	333.488
2.333	342.154
2.444	349.979
2.468	351.940
2.516	355.074
2.564	358.207
2.660	364.613
2.778	372.287
2.896	379.735
3.014	386.926
3.132	393.862
3.483	416.177
3.598	423.228
3.711	428.859
3.823	434.013
3.936	439.266
4.049	444.807
4.214	454.118
4.255	455.765
4.451	464.361
4.564	469.744
4.676	475.109
4.789	480.311
4.901	485.277
5.013	490.000
5.125	494.518
5.347	503.131
5.458	507.296
5.569	511.385
5.680	515.395
5.790	519.318
5.901	523.145
6.011	526.873
6.230	534.032
6.340	537.472
6.449	540.827
6.559	544.102
6.668	547.302
6.762	549.943
6.782	552.225
6.821	553.886
6.895	555.042
6.970	556.128

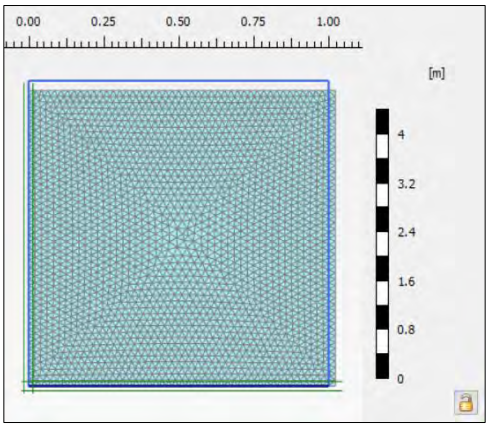
Deformacion total Unitaria para la Muestra M3 (50kPa)

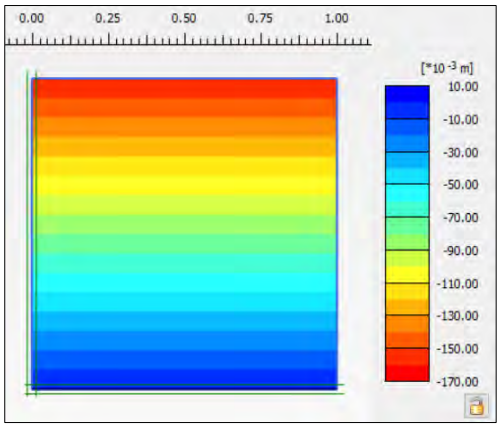
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 459.044kPa + 50kPa = 509.044kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.200 times)
Uniform value of -0.1602

Para Un esfuerzo Desviador = 449.892kPa
(Cerca al Esf. desviador max experimental)
Pero a una deform. muy alejada





Deformed mesh |u| (scaled up 0.200 times)
Maximum value = 0.1950 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 0.200 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.1602 m (Element 184 at Node 11626)

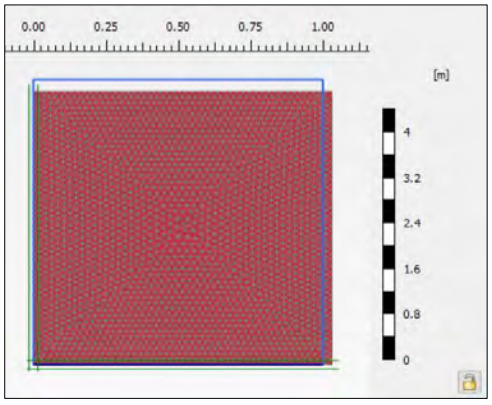
Deformacion total Unitaria para la Muestra M2 (89kPa)

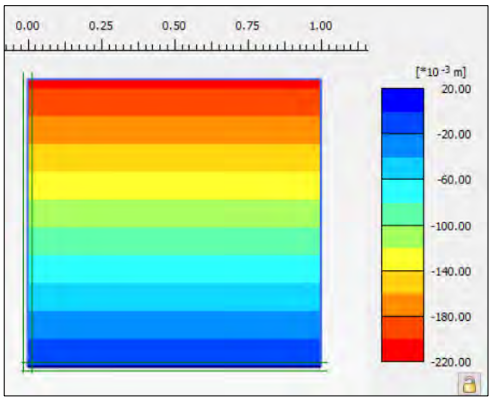
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 563.409kPa + 89kPa = 652.409kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.200 times)
Uniform value of -0.2066

Para Un esfuerzo Desviador = 556.594kPa
(Cerca al Esf. desviador max experimental)
Pero a una deform. muy alejada





Deformed mesh |u| (scaled up 0.200 times)
Maximum value = 0.2569 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 0.200 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.2066 m (Element 184 at Node 11626)

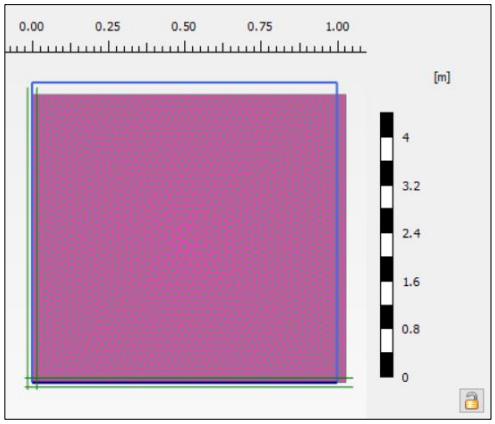
Deformacion total Unitaria para la Muestra M5 (150kPa)

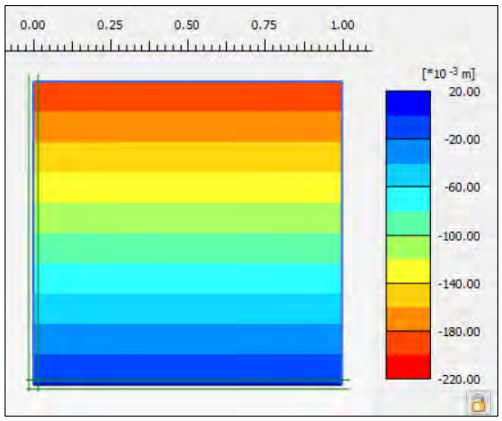
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 700.721kPa + 150kPa = 850.7kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.200 times)
Uniform value of -0.1998

Para Un esfuerzo Desviador = 700.72kPa
(Casi igual al Esf. desviador max experimental)
Pero a una deform. muy alejada

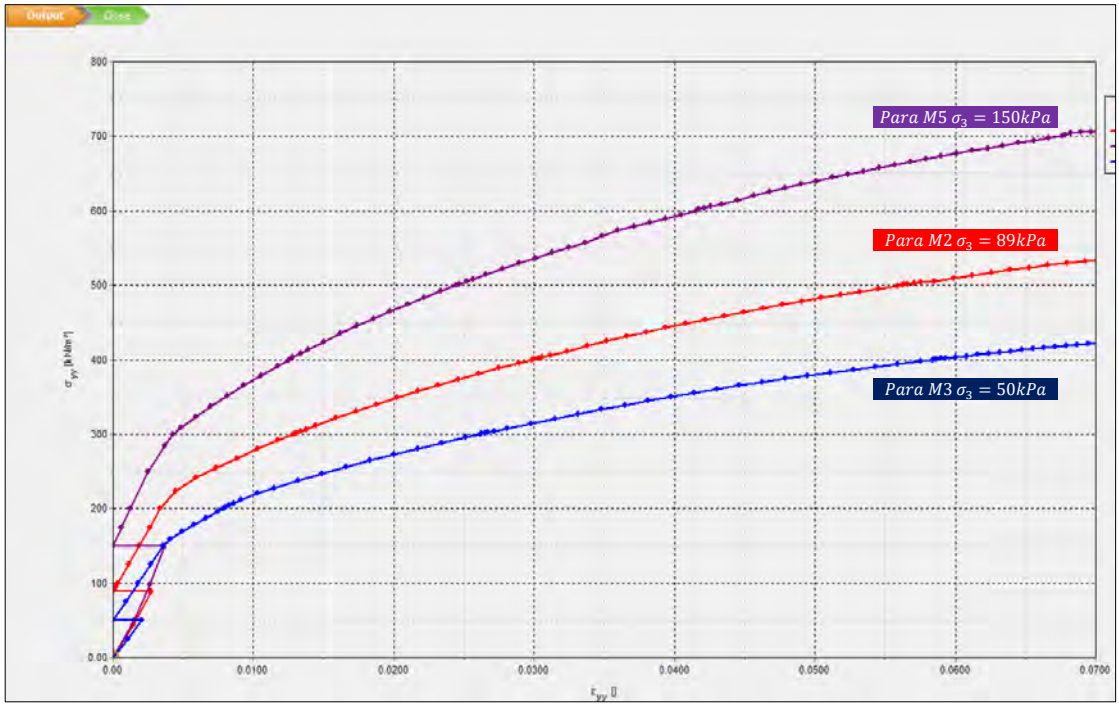


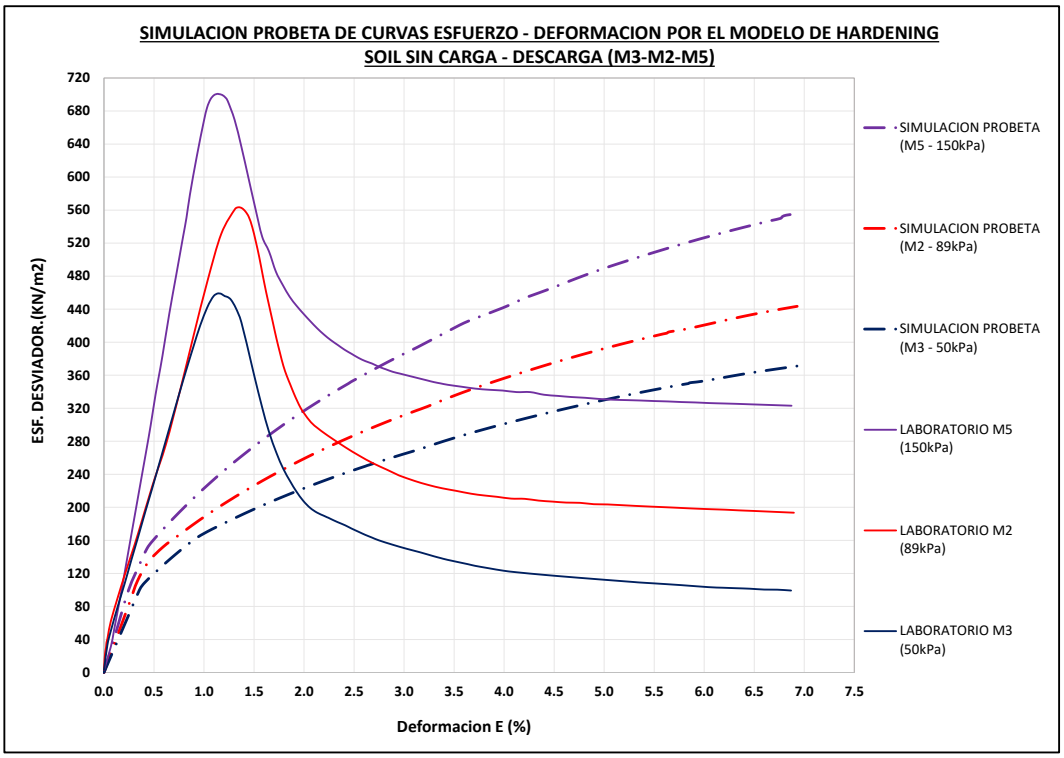


Deformed mesh |u| (scaled up 0.200 times)
Maximum value = 0.2470 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 0.200 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.1998 m (Element 184 at Node 11626)

Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en Plaxis Output
$Esfuerzo\ Principal\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.Unitaria\ (Eyy)$




SIMULACION PROBETA DE CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE HARDENING
SOIL SIN CARGA - DESCARGA (M3-M2-M5)
ESF. DESVIADOR (KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
7.5
Deformacion E (%)
SIMULACION PROBETA (M5 - 150kPa)
SIMULACION PROBETA (M2 - 89kPa)
SIMULACION PROBETA (M3 - 50kPa)
LABORATORIO M5 (150kPa)
LABORATORIO M2 (89kPa)
LABORATORIO M3 (50kPa)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis Input - Output **Nro de pasos de Calculo:** 12 - 149

SIMULACION DE CURVA M3 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.057	12.500
0.110	25.000
0.160	37.500
0.206	50.000
0.378	100.000
0.550	134.957
0.718	131.889
0.886	129.062
1.054	126.675
1.223	124.705
1.392	123.053

SIMULACION DE CURVA M2 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.014	5.500
0.028	11.000
0.152	61.000
0.257	111.000
0.299	132.983
0.382	136.603
0.472	140.208
0.561	143.672
0.650	146.927
0.739	149.974
0.828	152.842
0.917	155.549
1.005	158.106
1.094	160.519
1.182	162.795
1.270	164.939
1.358	166.961
1.446	168.865
1.534	170.659
1.622	172.349
1.710	173.939
1.797	175.436
1.885	176.845
1.972	178.171
2.060	179.417
2.147	180.590
2.235	181.692
2.322	182.728
2.409	183.702
2.496	184.618
2.583	185.478
2.670	186.285
2.757	187.044
2.844	187.757
2.931	188.426
3.018	189.054
3.105	189.644
3.192	190.198
3.279	190.718
3.366	191.205
3.452	191.663
3.539	192.093
3.626	192.496
3.713	192.874
3.799	193.228
3.886	193.561
3.973	193.873
4.059	194.166
4.146	194.441
4.233	194.698
4.319	194.940
4.406	195.166
4.492	195.378
4.579	195.578
4.666	195.764
4.752	195.939
4.839	196.103
4.925	196.257
5.012	196.402
5.098	196.537
5.185	196.664
5.271	196.782
5.358	196.894
5.444	196.998
5.531	197.096
5.617	197.188
5.704	197.274

SIMULACION DE CURVA M5 (150kPa)

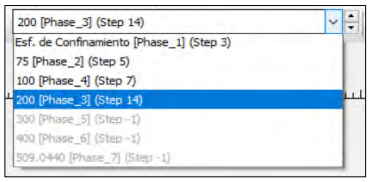
Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.038	25.000
0.075	50.000
0.143	98.053
0.213	108.869
0.282	119.195
0.350	128.881
0.419	137.969
0.487	146.564
0.516	150.054
0.523	150.927
0.537	152.659
0.565	156.130
0.622	162.519
0.679	168.744
0.735	174.793
0.792	180.596
0.848	186.170
0.904	191.540
0.960	196.719
1.016	201.715
1.072	206.533
1.128	211.182
1.184	215.668
1.240	219.998
1.295	224.176
1.351	228.209
1.406	232.101
1.462	235.857
1.517	239.482
1.572	242.981
1.628	246.357
1.683	249.614
1.689	250.101
1.693	250.549
1.703	250.938
1.722	252.050
1.759	254.151
1.807	256.756
1.855	259.300
1.903	261.753
1.951	264.122
1.998	266.416
2.046	268.639
2.093	270.794
2.141	272.882
2.189	274.903
2.236	276.861
2.284	278.758
2.331	280.594
2.378	282.372
2.426	284.094
2.473	285.761
2.520	287.375
2.568	288.937
2.615	290.449
2.662	291.912
2.710	293.328
2.757	294.699
2.804	296.025
2.851	297.308
2.898	298.550
2.945	299.751
2.992	300.913
3.039	302.037
3.087	303.125
3.134	304.177
3.181	305.194

5.790	197.355
5.877	197.430
5.963	197.501
6.050	197.567
6.136	197.630
6.223	197.688
6.309	197.743
6.396	197.794
6.482	197.842
6.569	197.887
6.655	197.929
6.742	197.969
6.828	198.006
6.915	198.040

3.228	306.178
3.275	307.129
3.322	308.050
3.369	308.939
3.416	309.800
3.462	310.632
3.509	311.436
3.556	312.213
3.603	312.965
3.650	313.692
3.697	314.395
3.744	315.074
3.791	315.730
3.837	316.365
3.884	316.978
3.931	317.571
3.978	318.143
4.025	318.697
4.072	319.232
4.118	319.749
4.165	320.249
4.212	320.731
4.259	321.198
4.305	321.649
4.352	322.084
4.399	322.505
4.446	322.912
4.492	323.305
4.539	323.684
4.586	324.051
4.632	324.405
4.679	324.747
4.726	325.078
4.772	325.397
4.819	325.706
4.866	326.004
4.913	326.292
4.959	326.570
5.006	326.839
5.053	327.098
5.099	327.349
5.146	327.591
5.192	327.825
5.239	328.050
5.286	328.269
5.332	328.479
5.379	328.683
5.426	328.879
5.472	329.069
5.519	329.253
5.566	329.430
5.612	329.601
5.659	329.766
5.705	329.925
5.752	330.079
5.799	330.228
5.845	330.372
5.892	330.510
5.938	330.644
5.985	330.774
6.032	330.899
6.078	331.019
6.125	331.136
6.171	331.248
6.218	331.357
6.265	331.462
6.311	331.563
6.358	331.661
6.404	331.756
6.451	331.847
6.497	331.935
6.544	332.020
6.591	332.102
6.637	332.181
6.684	332.258
6.730	332.332
6.777	332.403
6.823	332.472
6.870	332.539
6.917	332.603
6.963	332.665

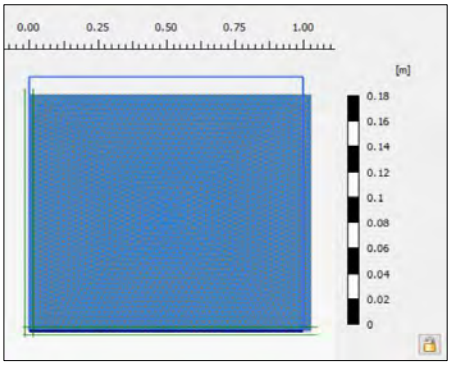
Deformacion total Unitaria para la Muestra M3 (50kPa)

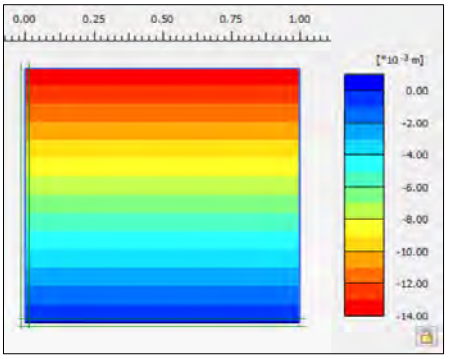
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 459.044kPa + 50kPa = 509.044kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Uniform value of -0.01392

Para Un esfuerzo Desviador = 123.053kPa
(Tiende al Esf. residual experimental (99.273kPa))



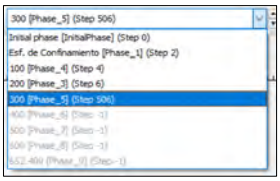


Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01509 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.01392 m (Element 99 at Node 1)

Deformacion total Unitaria para la Muestra M2 (89kPa)

Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 563.409kPa + 89kPa = 652.409kPa$

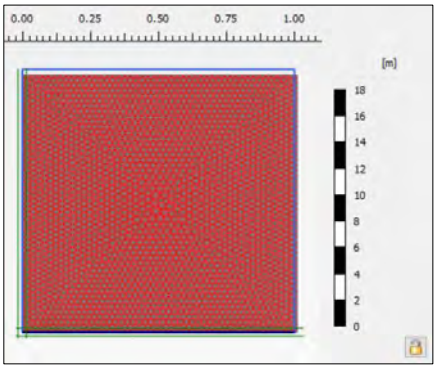


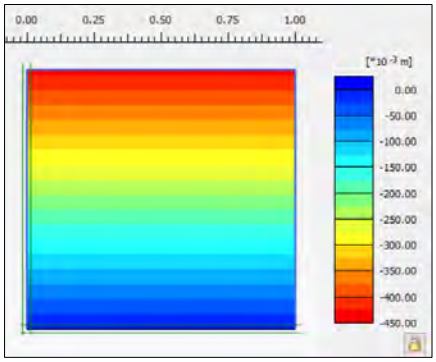
Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.0500 times)
Uniform value of -0.4347

Para Un esfuerzo Desviador = 198.558kPa
(Se acerca al Esf. residual experimental (193.526kPa), pero a una deform. muy alejada,)

Para una total cartesian strain Eyy=0.069145

Se tiene un esfuerzo= 198.04kPa
(Se acerca al Esf. residual experimental (193.526kPa))



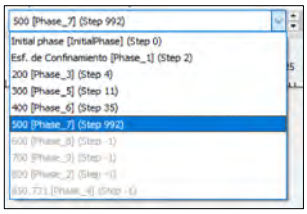


Deformed mesh |u| (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.4846 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.4347 m (Element 184 at Node 11626)

Deformacion total Unitaria para la Muestra M5 (150kPa)

Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 700.721kPa + 150kPa = 850.7kPa$

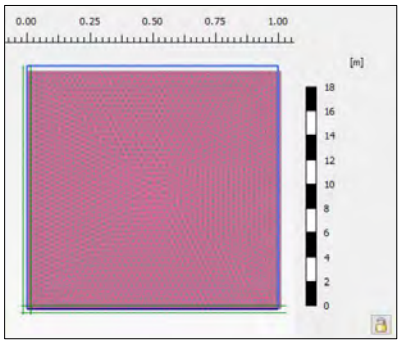


Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.0500 times)
Uniform value of -0.4615

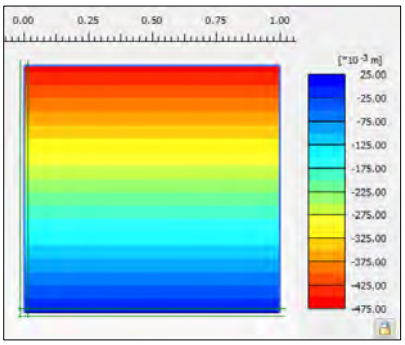
Para Un esfuerzo Desviador = 334.404kPa
(Se acerca al Esf. residual experimental (323.102kPa), pero a una deform. muy alejada,)

Para una total cartesian strain Eyy=0.069631

Se tiene un esfuerzo= 332.665kPa
(Se acerca al Esf. residual experimental (323.102kPa))

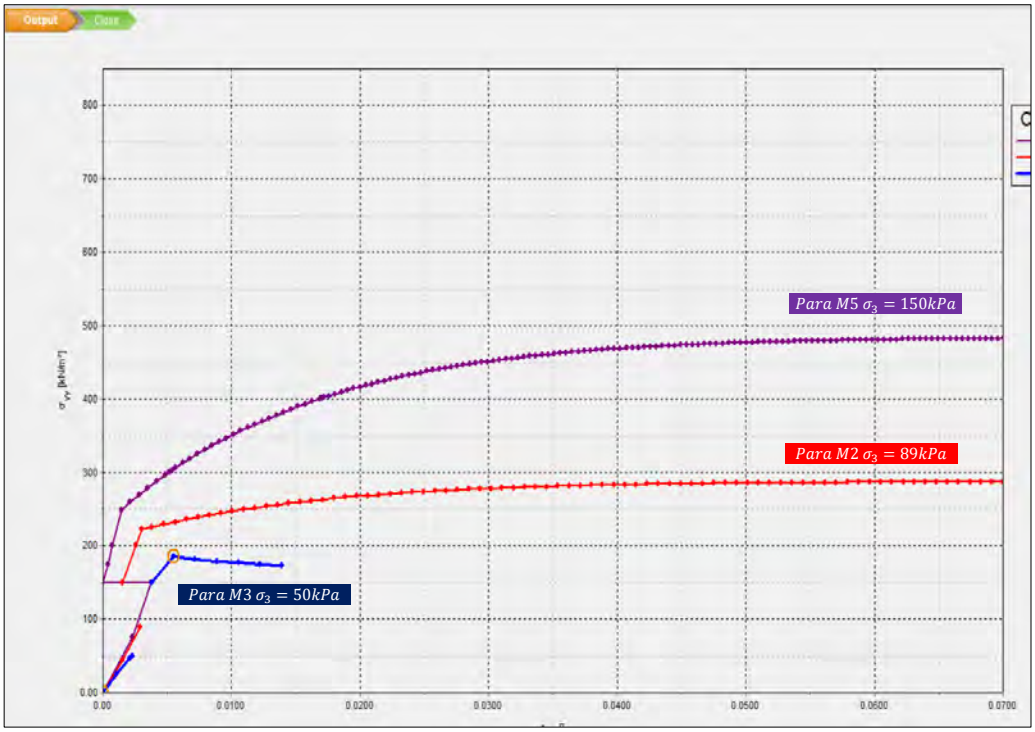


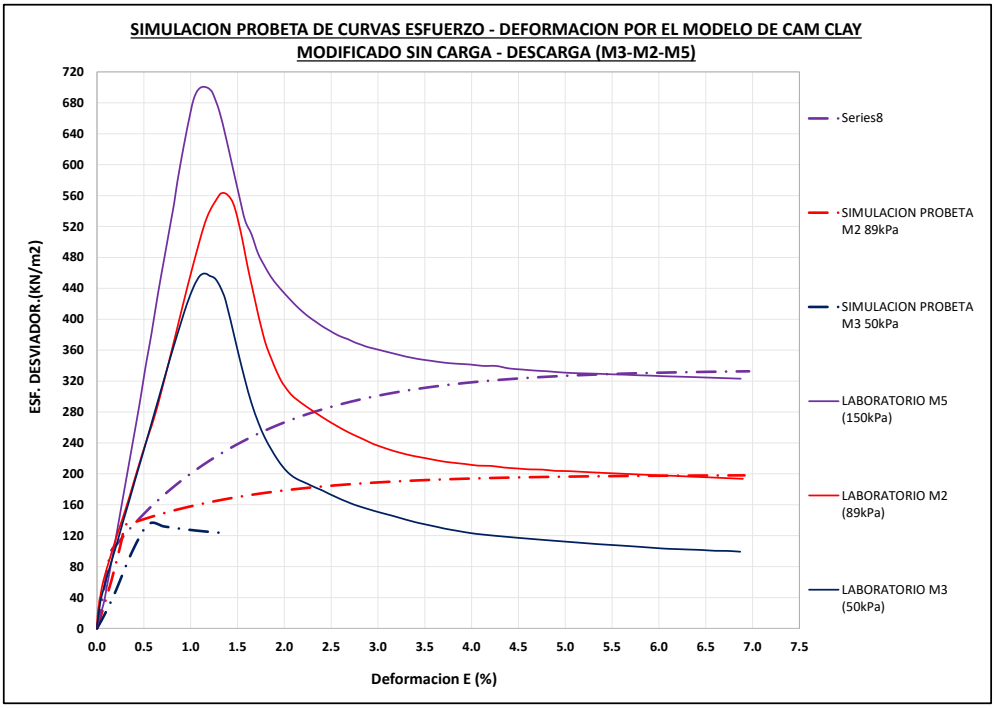
Deformed mesh |u| (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.5134 m (Element 184 at Node 11625)



Total displacements u_y (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.4615 m (Element 184 at Node 11626)

Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en Plaxis Output
$Esfuerzo\ Principal\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.Unitaria\ (Eyy)$




SIMULACION PROBETA DE CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE CAM CLAY
MODIFICADO SIN CARGA - DESCARGA (M3-M2-M5)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
7.5
Deformacion E (%)
Series8
SIMULACION PROBETA M2 89kPa
SIMULACION PROBETA M3 50kPa
LABORATORIO M5 (150kPa)
LABORATORIO M2 (89kPa)
LABORATORIO M3 (50kPa)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis Input - Output **Nro de pasos de Calculo:** 78 - 84

SIMULACION DE CURVA M3 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	-0.007
0.033	10.763
0.066	21.542
0.077	25.000
0.108	35.055
0.138	45.216
0.152	50.000
0.210	69.319
0.267	88.840
0.300	99.993
0.325	108.831
0.351	117.667
0.373	124.998
0.397	133.418
0.422	141.811
0.446	149.996
0.468	157.309
0.511	171.786
0.559	187.307
0.598	199.973
0.611	204.133
0.633	211.039
0.655	217.833
0.678	224.509
0.679	224.999
0.690	228.167
0.711	234.402
0.733	240.524
0.754	246.499
0.767	249.998
0.776	252.382
0.793	257.061
0.814	262.381
0.835	267.524
0.856	272.467
0.867	274.998
0.874	276.659
0.889	279.917
0.909	284.142
0.929	288.144
0.949	291.890
0.970	295.358
0.990	298.536
1.000	299.999
1.006	300.845
1.019	302.551
1.039	304.887
1.058	306.928
1.078	308.625
1.097	309.960
1.117	310.926
1.136	311.522
1.156	311.746
1.175	311.598
1.146	281.547
1.169	306.025
1.166	304.004
1.162	301.671
1.182	314.440
1.162	301.175
1.187	317.242
1.175	309.883
1.210	332.409
1.199	325.018
1.218	337.523
1.237	350.002
1.256	362.248
1.275	374.497

SIMULACION DE CURVA M2 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.009
0.002	0.535
0.005	1.574
0.011	3.638
0.023	7.751
0.033	11.000
0.045	14.895
0.068	22.677
0.115	38.281
0.181	60.184
0.183	61.000
0.211	70.229
0.266	88.852
0.324	108.796
0.330	111.000
0.359	121.091
0.411	139.147
0.463	157.177
0.474	161.000
0.502	170.666
0.550	186.972
0.597	203.057
0.620	211.000
0.640	217.401
0.678	230.007
0.721	244.072
0.764	257.700
0.775	260.999
0.788	264.970
0.814	272.761
0.854	284.556
0.894	295.778
0.933	306.353
0.951	310.999
0.960	313.108
0.977	317.236
1.010	325.069
1.047	333.218
1.084	340.650
1.120	347.296
1.156	353.154
1.191	358.230
1.213	360.996
1.218	361.581
1.228	362.726
1.248	364.818
1.283	367.966
1.318	370.417
1.352	372.162
1.386	373.262
1.420	373.782
1.453	373.780
1.219	82.988
1.465	346.280
1.467	347.003
1.469	348.469
1.473	351.107
1.481	356.384
1.490	361.679
1.498	366.990
1.507	372.316
1.515	377.657
1.523	383.012
1.532	388.381
1.540	393.763
1.548	399.157
1.557	404.564
1.565	409.982

SIMULACION DE CURVA M5 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.016
0.002	0.833
0.005	2.427
0.012	5.577
0.025	11.833
0.051	24.237
0.064	30.001
0.072	34.016
0.089	41.875
0.106	49.724
0.107	50.001
0.121	56.620
0.150	69.872
0.208	96.495
0.290	134.543
0.323	150.008
0.345	160.696
0.391	182.031
0.458	213.361
0.525	244.129
0.538	250.003
0.560	259.987
0.604	279.571
0.660	303.809
0.716	326.885
0.771	348.513
0.775	350.003
0.787	354.665
0.811	363.403
0.835	371.817
0.858	379.893
0.882	387.623
0.905	394.996
0.922	400.003
0.931	402.666
0.948	407.829
0.970	413.771
0.992	419.385
1.013	424.665
1.034	429.614
1.056	434.234
1.077	438.529
1.098	442.504
1.119	446.164
1.139	449.516
1.143	450.003
1.149	450.891
1.160	452.603
1.180	455.212
1.199	457.573
1.219	459.691
1.238	461.577
1.257	463.241
1.276	464.691
1.295	465.939
1.314	466.995
1.333	467.868
1.352	468.568
1.371	469.105
1.390	469.490
1.409	469.731
1.428	469.837
1.446	469.819
1.164	113.568
1.501	473.390
1.497	468.593
1.503	474.812
1.514	487.273

1.275	374.999
1.294	386.985
1.312	398.968
1.314	399.999
1.331	411.720
1.349	423.435
1.352	424.999
1.375	440.583
1.399	456.140
1.404	459.043

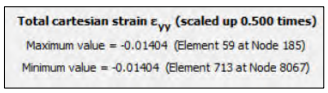
1.567	410.999
1.600	432.888
1.634	454.916
1.643	460.999
1.675	482.026
1.706	503.087
1.718	510.999
1.733	521.041
1.748	531.070
1.756	535.998
1.765	541.874
1.774	547.761
1.778	550.998
1.786	555.782
1.793	560.578
1.797	563.407

1.525	500.004
1.546	524.662
1.567	549.592
1.567	550.004
1.587	573.986
1.607	598.245
1.609	600.005
1.628	623.325
1.647	646.874
1.649	650.005
1.667	672.985
1.686	696.143
1.689	700.727

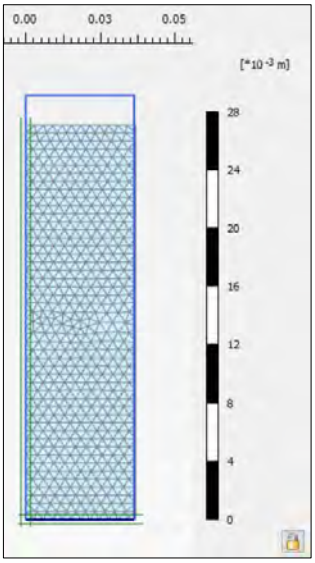
Deformacion total Unitaria para la Muestra M3 (50kPa)

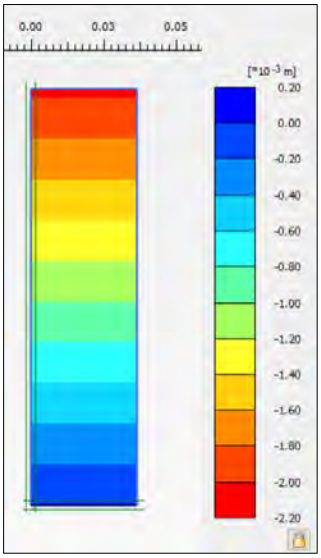
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 459.044kPa + 50kPa = 509.044kPa$

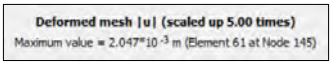


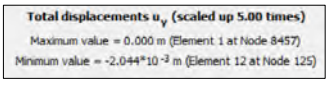


Para Un esfuerzo Desviador = 459.04kPa









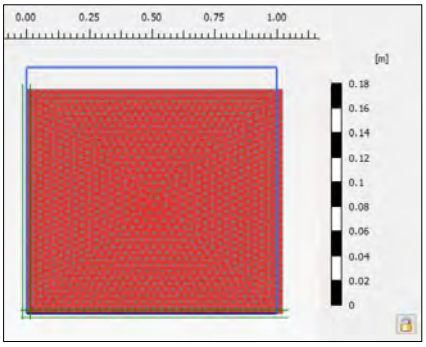
Deformacion total Unitaria para la Muestra M2 (89kPa)

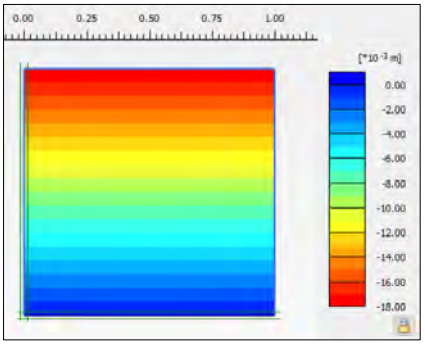
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 563.409kPa + 89kPa = 652.409kPa$

652 [Phase_24] (Step 113)

Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Maximum value = -0.01797 (Element 111 at Node 2737)
Minimum value = -0.01797 (Element 79 at Node 18967)

Para Un esfuerzo Desviador = 563.407kPa





Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01856 m (Element 136 at Node 6689)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 6666)
Minimum value = -0.01797 m (Element 133 at Node 5747)

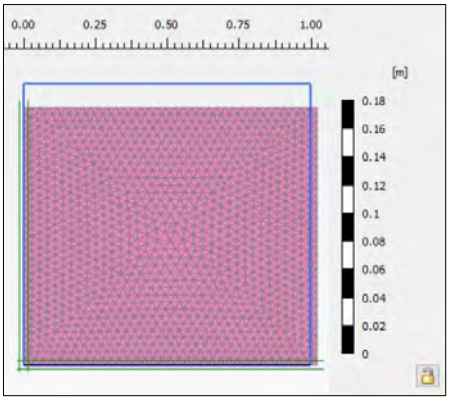
Deformacion total Unitaria para la Muestra M5 (150kPa)

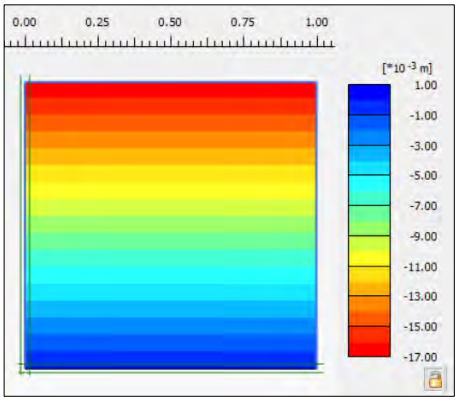
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 700.721kPa + 150kPa = 850.7kPa$

850.7 [Phase_3] (Step 104)

Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Maximum value = -0.01689 (Element 506 at Node 3719)
Minimum value = -0.01689 (Element 50 at Node 19315)

Para Un esfuerzo Desviador = 700.727kPa



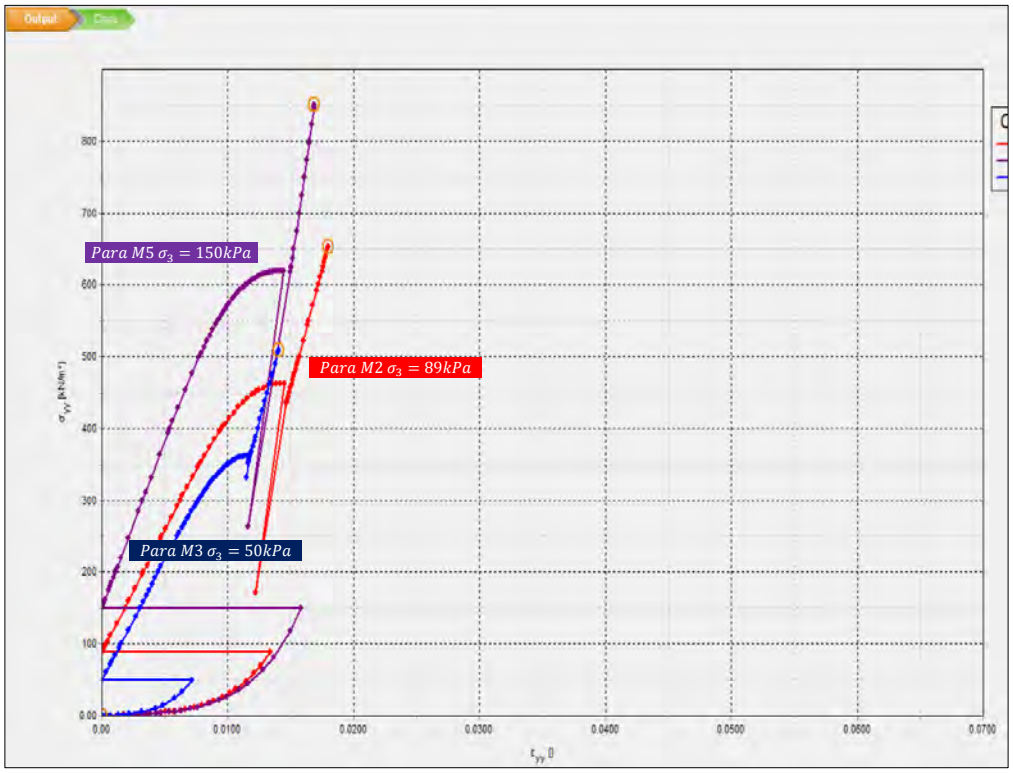


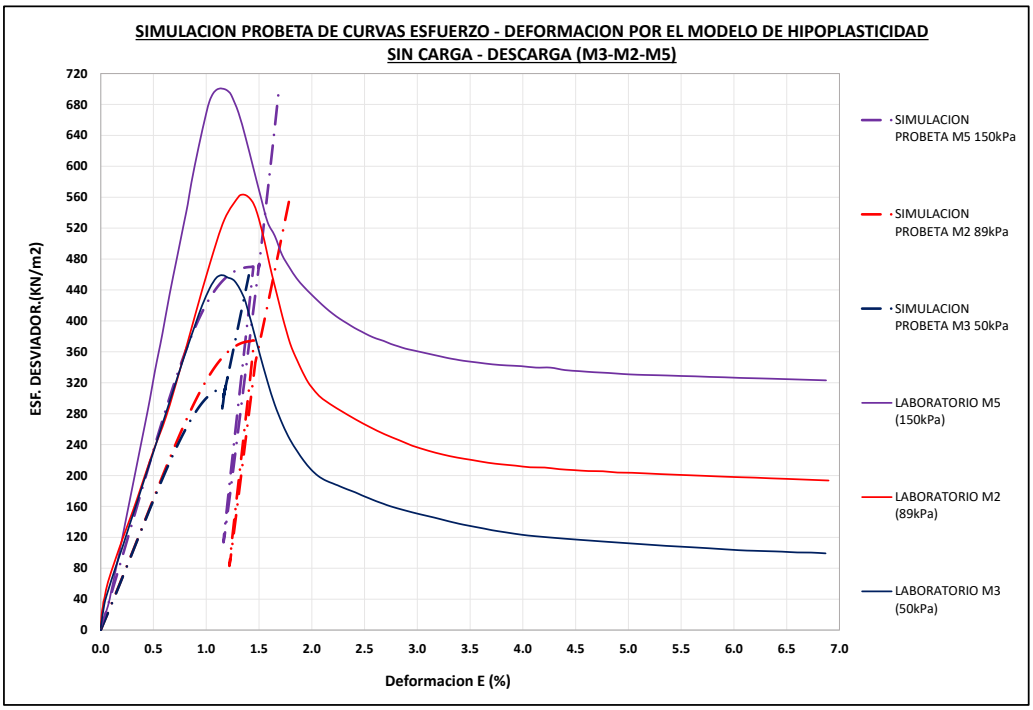
Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01747 m (Element 136 at Node 6689)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 6666)
Minimum value = -0.01689 m (Element 136 at Node 6689)

Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en Plaxis Output

$$Esfuerzo\ Principal\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.Unitaria\ (Eyy)$$





ANEXO B10

RESULTADOS DE SIMULACION POR MODELADO AXISIMETRICO PARA LAS MUESTRAS M4 – M1 – M6

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE MOHR COULOMB)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis Input - Output **Nro de pasos de Calculo:** 27 - 30

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.027	12.500
0.054	25.000
0.081	37.500
0.108	50.000
0.215	100.000
0.323	150.000
0.430	200.000
0.538	250.000
0.645	300.000
0.753	350.000
0.833	387.500
0.914	425.000
0.952	442.619
0.990	460.239
1.067	470.577
1.213	465.395
1.360	461.304
1.659	462.451
2.159	463.921
2.659	464.683
3.159	464.720
3.658	464.268
4.157	463.652
4.656	463.140
5.156	462.873

SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.012	5.500
0.024	11.000
0.131	61.000
0.239	111.000
0.346	161.000
0.454	211.000
0.561	261.000
0.669	311.000
0.776	361.000
0.884	411.000
0.991	461.000
1.099	511.000
1.154	536.731
1.209	560.203
1.218	561.408
1.262	567.459
1.343	564.724
1.423	561.786
1.505	559.744
1.587	558.993
1.754	560.284
2.087	562.288
2.751	563.308
4.076	562.668
5.402	561.813
6.728	561.114

SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.054	25.000
0.108	50.000
0.215	100.000
0.323	150.000
0.430	200.000
0.538	250.000
0.645	300.000
0.753	350.000
0.860	400.000
0.968	450.000
1.075	500.000
1.183	550.000
1.290	600.000
1.398	650.000
1.454	675.930
1.510	702.166
1.645	716.023
1.901	710.061
2.156	703.627
2.413	699.118
2.672	697.422
3.184	700.185
3.697	702.877
4.209	704.597
4.720	705.088
5.230	704.603
5.740	703.643
6.251	702.703
6.761	702.099

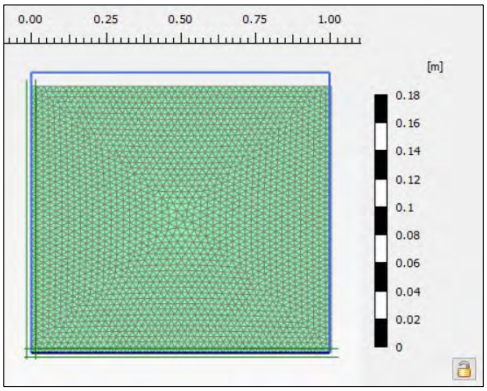
Deformacion total Unitaria para la Muestra M4 (50kPa)

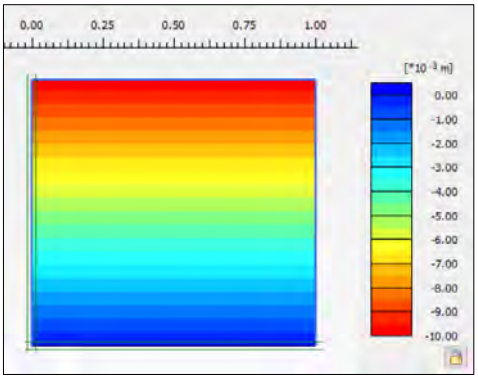
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 460.239kPa + 50kPa = 510.239kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Uniform value of $-9.898*10^{-3}$

Con Un esfuerzo Desviador = 460.239kPa
(Como el esf. desviador max. experimental)





Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = $9.980*10^{-3}$ m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = $-9.898*10^{-3}$ m (Element 184 at Node 11626)

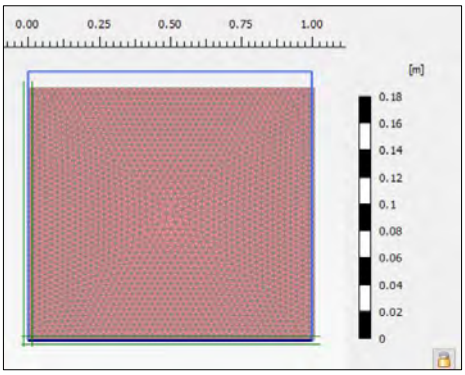
Deformacion total Unitaria para la Muestra M1 (89kPa)

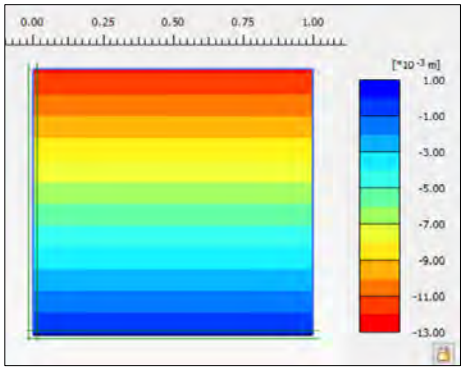
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 562.462kPa + 89kPa = 651.462kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Uniform value of -0.01218

Con Un esfuerzo Desviador = 561.408kPa (Aprox. al esf. desviador max. experimental)



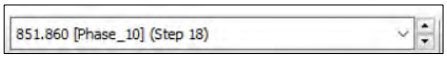


Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01229 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.01218 m (Element 184 at Node 11626)

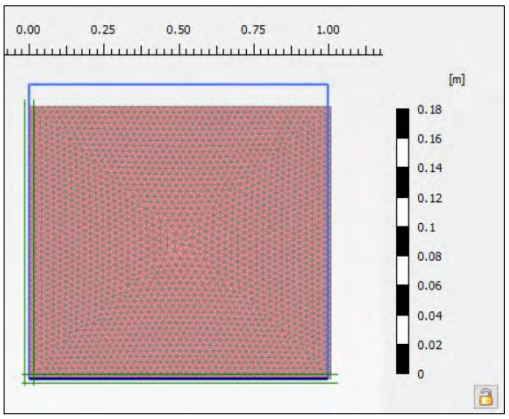
Deformacion total Unitaria para la Muestra M6 (150kPa)

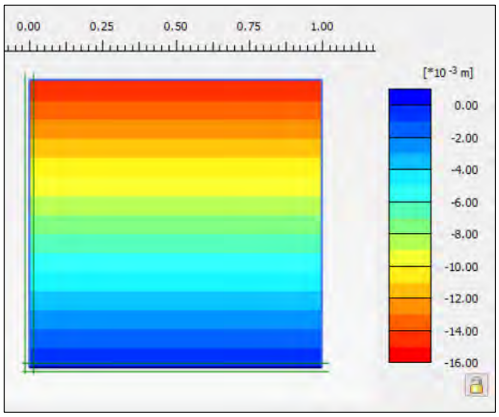
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 701.86kPa + 150kPa = 851.86kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Uniform value of -0.01510

Con Un esfuerzo Desviador = 702.166kPa (Aprox. al esf. desviador max. experimental)



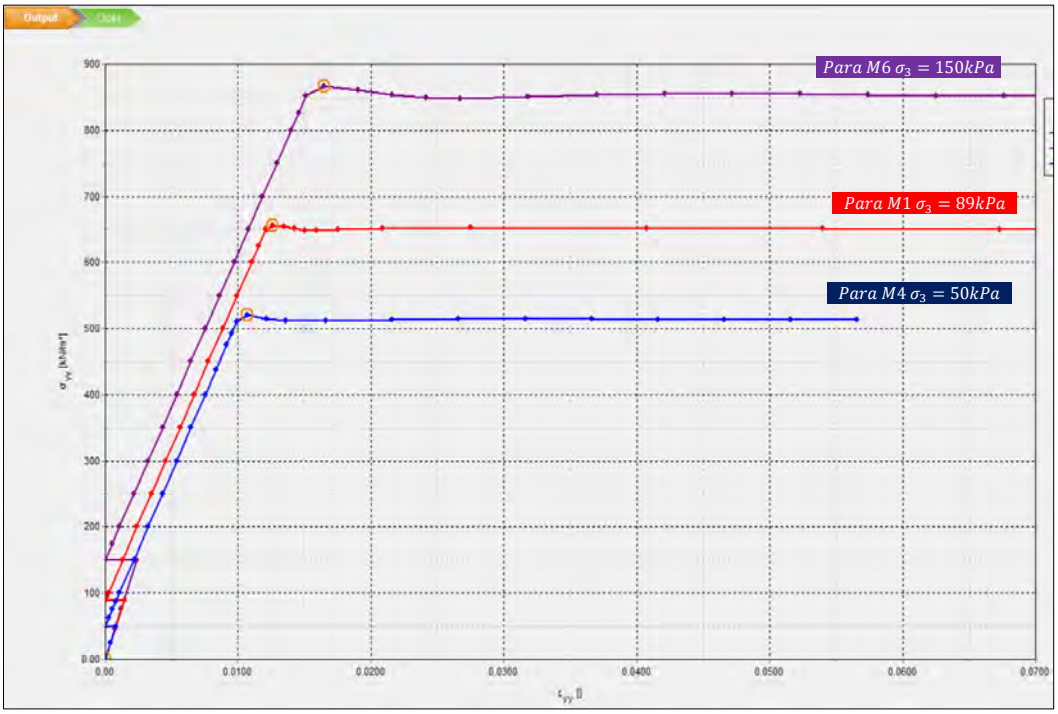


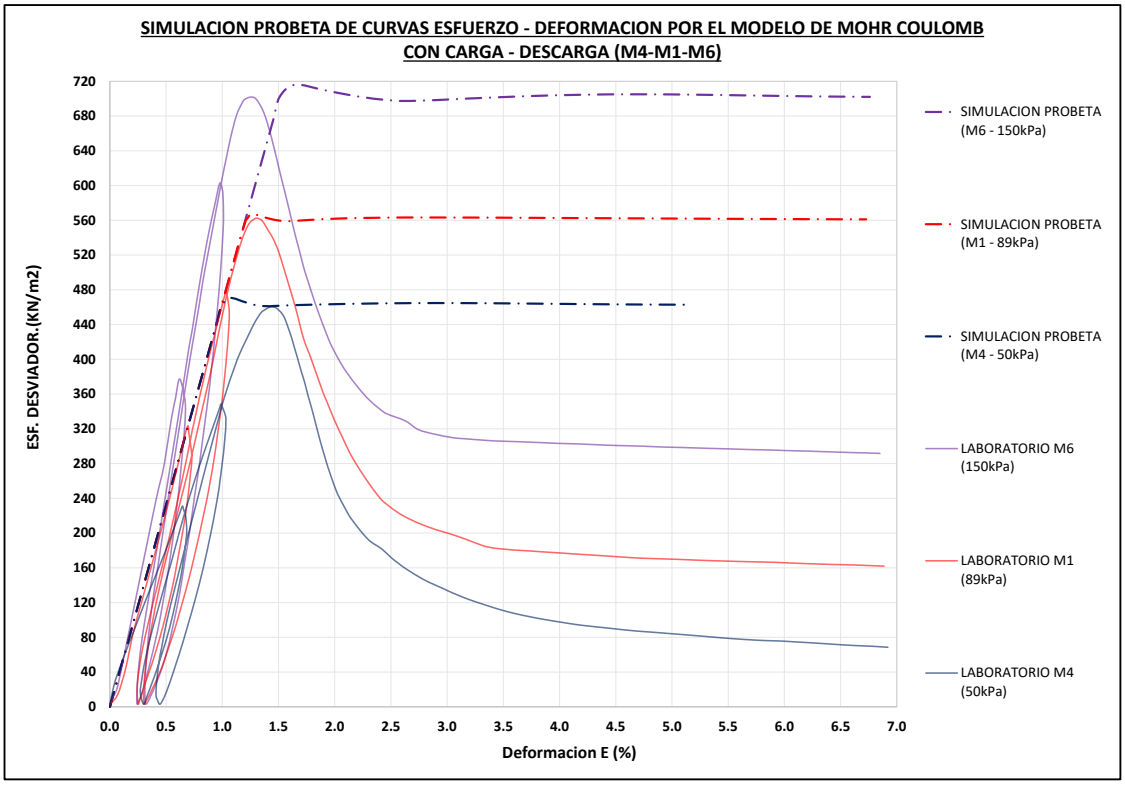
Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01523 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.01510 m (Element 184 at Node 11626)

Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en Plaxis Output

$$Esfuerzo\ Principal\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.Unitaria\ (Eyy)$$





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE HARDENING SOIL)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis Input - Output **Nro de pasos de Calculo:** 20 - 35

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.001
0.193	25.001
0.386	50.000
0.579	75.000
0.773	100.136
0.861	106.601
1.035	117.335
1.209	127.532
1.395	137.839
1.581	147.630
1.627	149.981
1.664	151.866
1.737	155.490
1.811	159.056
1.958	165.994
2.254	174.167
2.551	181.417
2.926	190.337
3.301	198.915
3.675	207.116
4.048	214.970
4.421	222.523
4.794	229.805
5.166	236.834
5.538	243.617
5.903	249.969
5.927	250.485
5.975	251.259
6.023	252.037
6.119	253.668
6.312	256.918
6.682	263.022

SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

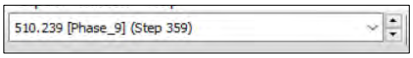
Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	-0.004
0.035	5.498
0.071	11.000
0.231	36.000
0.392	61.000
0.552	86.000
0.712	111.000
0.947	134.920
1.258	153.506
1.572	165.518
1.886	177.433
2.199	188.862
2.511	199.667
2.823	209.929
2.857	210.914
2.893	212.138
2.965	214.403
3.038	216.668
3.182	221.181
3.471	229.958
3.782	239.056
4.093	247.866
4.404	256.353
4.714	264.512
5.024	272.369
5.333	279.953
5.642	287.282
5.951	294.372
6.260	301.231
6.568	307.866
6.718	310.948
6.749	311.759
6.809	312.939
6.870	314.110
6.992	316.569

SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.001
0.127	25.001
0.254	50.000
0.764	128.440
1.272	169.549
1.772	199.387
2.268	224.853
2.756	247.430
2.815	249.701
2.873	252.434
2.988	257.542
3.102	262.594
3.332	272.509
3.790	291.381
4.283	310.359
4.776	328.320
5.267	345.183
5.757	360.958
6.246	375.751
6.735	389.683

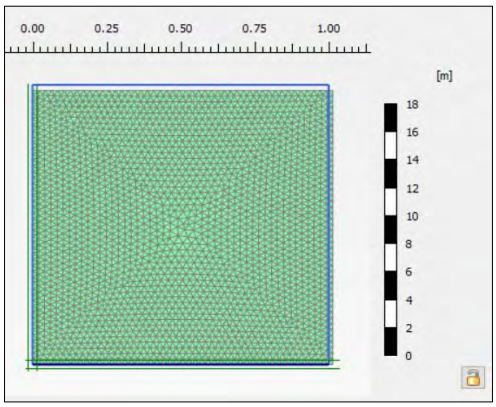
Deformacion total Unitaria para la Muestra M4 (50kPa)

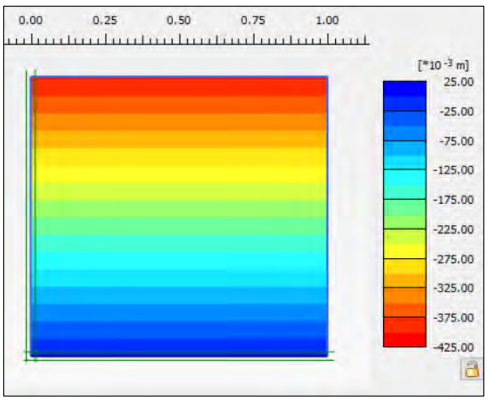
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 460.239kPa + 50kPa = 510.239kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.100 times)
Uniform value of -0.4034

Para Un esfuerzo Desviador = 460.239kPa
(Como el Esf. desviador max experimental)
Pero a una deform. muy alejada



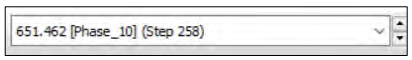


Deformed mesh |u| (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.4831 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 0.100 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.4034 m (Element 184 at Node 11626)

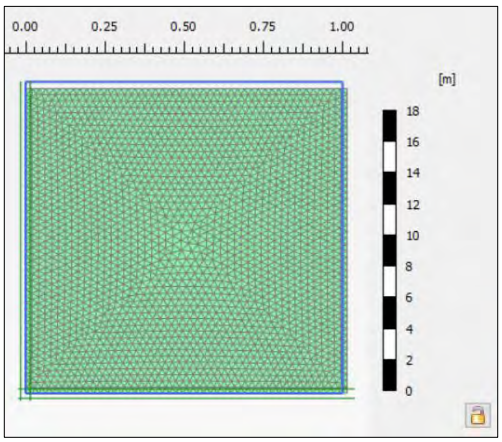
Deformacion total Unitaria para la Muestra M1 (89kPa)

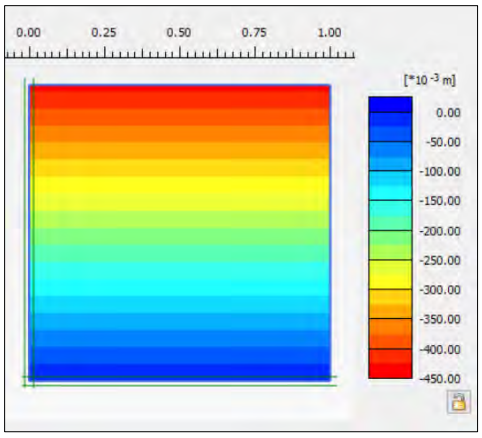
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 562.462kPa + 89kPa = 651.462kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.0500 times)
Uniform value of -0.4342

Para Un esfuerzo Desviador = 557.05kPa
(Cerca el Esf. desviador max experimental)
Pero a una deform. muy alejada



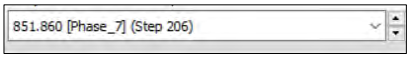


Deformed mesh |u| (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.5233 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.4342 m (Element 184 at Node 11626)

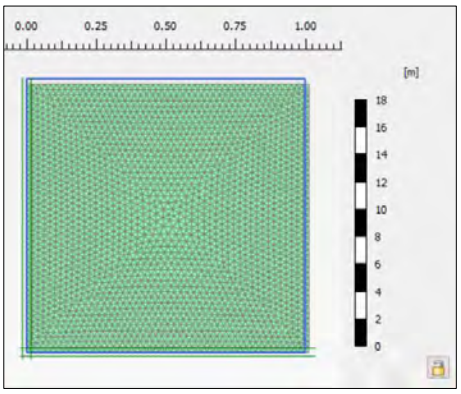
Deformacion total Unitaria para la Muestra M6 (150kPa)

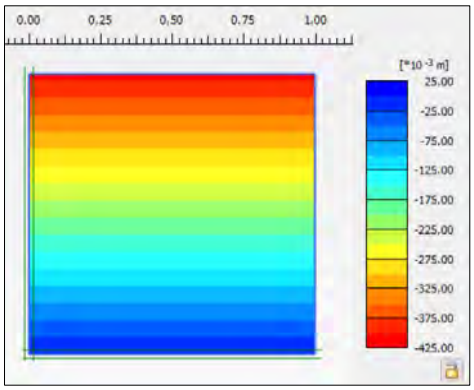
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 701.86kPa + 150kPa = 851.86kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.100 times)
Uniform value of -0.4100

Para Un esfuerzo Desviador = 701.86kPa
(Como el Esf. desviador max experimental)
Pero a una deform. muy alejada



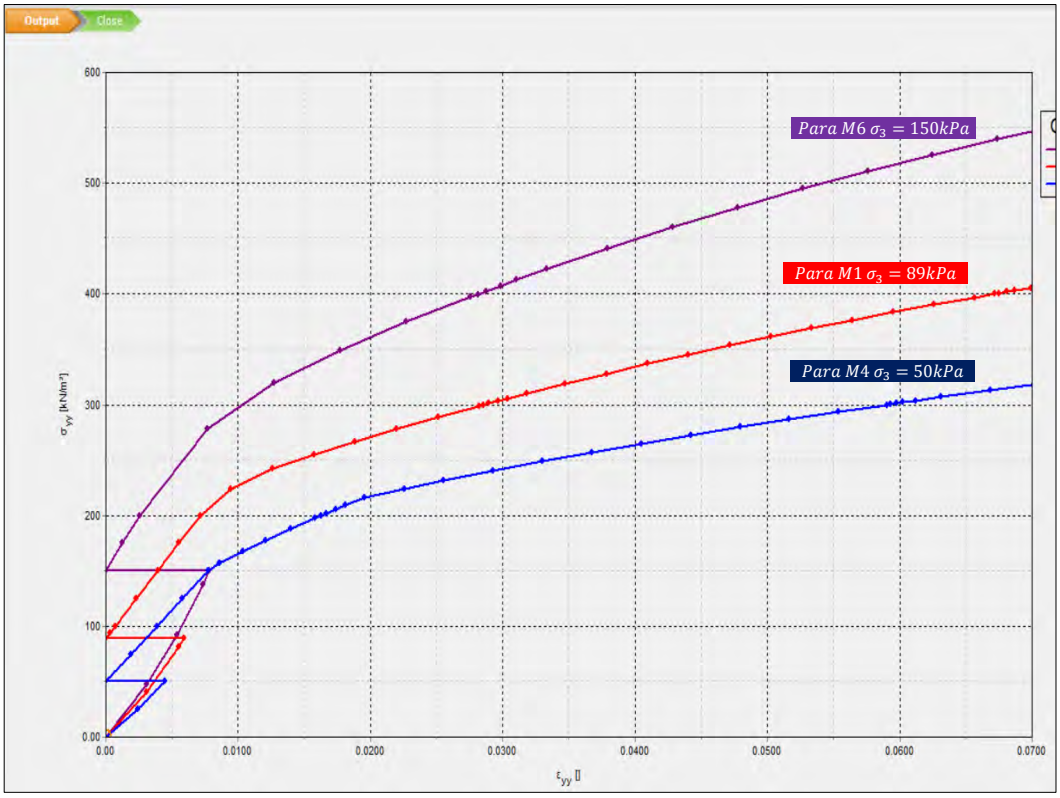


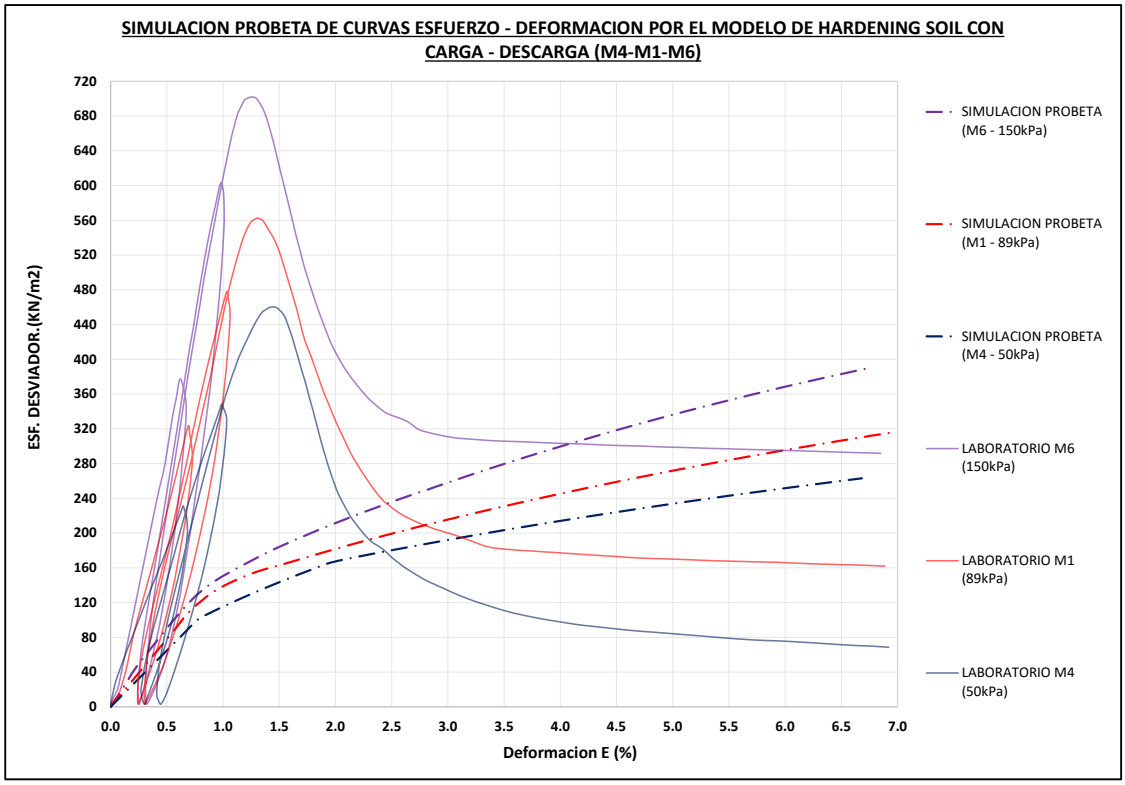
Deformed mesh |u| (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.4911 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 0.100 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.4100 m (Element 184 at Node 11626)

Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en Plaxis Output

$$Esfuerzo\ Principal\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.Unitaria\ (Eyy)$$




SIMULACION PROBETA DE CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE HARDENING SOIL CON CARGA - DESCARGA (M4-M1-M6)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion E (%)
SIMULACION PROBETA (M6 - 150kPa)
SIMULACION PROBETA (M1 - 89kPa)
SIMULACION PROBETA (M4 - 50kPa)
LABORATORIO M6 (150kPa)
LABORATORIO M1 (89kPa)
LABORATORIO M4 (50kPa)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE CAM CLAY MODIFICADO)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis Input - Output **Nro de pasos de Calculo:** 12 - 108

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.057	12.500
0.110	25.000
0.158	37.500
0.204	50.000
0.375	100.000
0.546	134.800
0.713	131.733
0.880	128.905
1.047	126.515
1.215	124.541
1.383	122.884

SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.014	5.500
0.028	11.000
0.151	61.000
0.255	111.000
0.297	132.859
0.378	136.409
0.467	139.979
0.556	143.407
0.644	146.629
0.733	149.647
0.821	152.488
0.909	155.170
0.997	157.705
1.085	160.097
1.173	162.354
1.261	164.482
1.348	166.488
1.435	168.379
1.523	170.161
1.610	171.840
1.697	173.421
1.784	174.910
1.871	176.311
1.958	177.630
2.045	178.871
2.132	180.039
2.219	181.137
2.305	182.170
2.392	183.141
2.479	184.054
2.565	184.912
2.652	185.719
2.738	186.476
2.825	187.188
2.911	187.857
2.997	188.486
3.084	189.076
3.170	189.630
3.256	190.150
3.343	190.639
3.429	191.098
3.515	191.528
3.601	191.932
3.688	192.312
3.774	192.668
3.860	193.002
3.946	193.315
4.032	193.610
4.118	193.886
4.204	194.145
4.290	194.388
4.376	194.616
4.462	194.830
4.548	195.030
4.634	195.219
4.720	195.395
4.806	195.561
4.892	195.716
4.978	195.862
5.064	195.998
5.150	196.127
5.236	196.247
5.322	196.360
5.408	196.465
5.494	196.564
5.580	196.657
5.666	196.745

SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

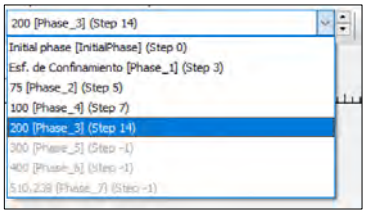
Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.038	25.000
0.074	50.000
0.142	98.043
0.211	108.773
0.280	119.008
0.348	128.610
0.416	137.623
0.484	146.150
0.516	150.095
0.523	150.956
0.537	152.666
0.565	156.095
0.621	162.403
0.677	168.563
0.733	174.549
0.789	180.294
0.845	185.813
0.901	191.130
0.957	196.259
1.012	201.208
1.068	205.983
1.123	210.590
1.179	215.037
1.234	219.329
1.289	223.472
1.344	227.472
1.399	231.333
1.454	235.060
1.509	238.658
1.564	242.131
1.619	245.483
1.673	248.719
1.694	249.912
1.698	250.303
1.707	250.660
1.724	251.653
1.758	253.796
1.805	256.159
1.853	258.670
1.900	261.108
1.948	263.467
1.995	265.750
2.043	267.963
2.090	270.106
2.137	272.183
2.185	274.194
2.232	276.143
2.279	278.030
2.326	279.858
2.374	281.628
2.421	283.342
2.468	285.001
2.515	286.608
2.562	288.163
2.609	289.669
2.656	291.126
2.703	292.537
2.750	293.902
2.797	295.223
2.844	296.502
2.891	297.739
3.032	301.215
3.079	302.299
3.219	305.342
3.266	306.291
3.406	308.955
3.546	311.363

5.752	196.826
5.838	196.903
5.924	196.975
6.010	197.042
6.096	197.105
6.182	197.165
6.268	197.220
6.354	197.272
6.440	197.321
6.525	197.367
6.611	197.410
6.697	197.450
6.783	197.488
6.869	197.523
6.955	197.557

3.733	314.218
3.826	315.507
3.919	316.712
4.012	317.837
4.245	320.337
4.292	320.787
4.431	322.050
4.524	322.823
4.617	323.544
4.664	323.887
4.710	324.218
4.757	324.537
4.943	325.711
5.035	326.240
5.128	326.734
5.268	327.413
5.407	328.026
5.500	328.400
5.546	328.577
5.639	328.915
5.732	329.229
5.824	329.523
5.917	329.796
6.010	330.052
6.056	330.173
6.149	330.403
6.196	330.512
6.288	330.719
6.335	330.818
6.381	330.913
6.474	331.093
6.520	331.179
6.566	331.261
6.659	331.418
6.706	331.492
6.798	331.634
6.845	331.701
6.891	331.765
6.937	331.828
6.984	331.888

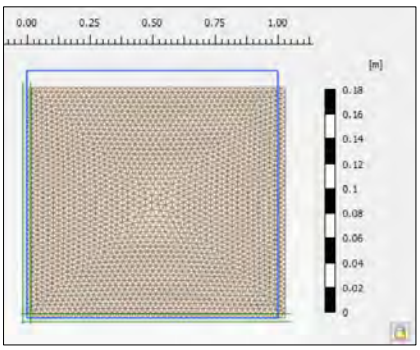
Deformacion total Unitaria para la Muestra M4 (50kPa)

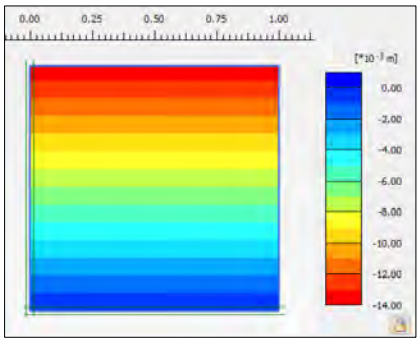
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 460.239kPa + 50kPa = 510.239kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Uniform value of -0.01383

Para Un esfuerzo Desviador = 122.884kPa
(Tiende al Esf. residual experimental (68.554Pa))



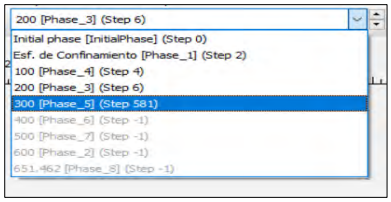


Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01498 m (Element 184 at Node 11625)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.01383 m (Element 99 at Node 1)

Deformacion total Unitaria para la Muestra M1 (89kPa)

Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 562.462kPa + 89kPa = 651.462kPa$

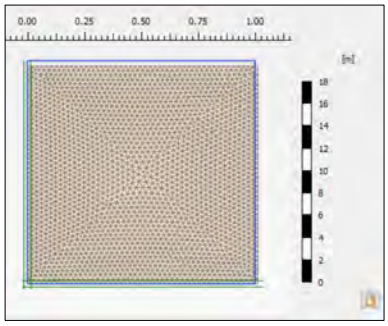


Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.0500 times)
Uniform value of -0.4964

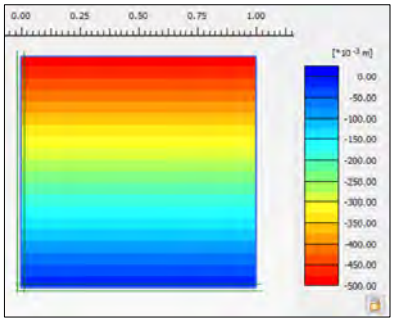
Para Un esfuerzo Desviador = 198.055kPa
(Cerca al Esf. residual experimental (161.96kPa),
pero a una deform. muy alejada,)

A una Total cartesian strain Eyy =0.06955

Se tiene un esfuerzo= 197.557kPa
(Cerca al Esf. residual experimental (161.96kPa))



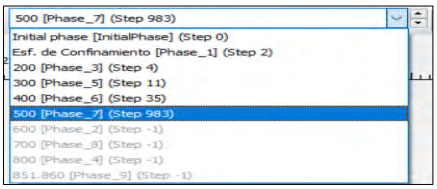
Deformed mesh |u| (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.5535 m (Element 184 at Node 11625)



Total displacements u_y (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.4964 m (Element 184 at Node 11626)

Deformacion total Unitaria para la Muestra M6 (150kPa)

Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 701.86kPa + 150kPa = 851.86kPa$

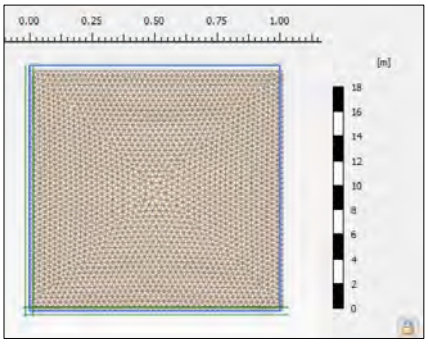


Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 0.0500 times)
Uniform value of -0.4552

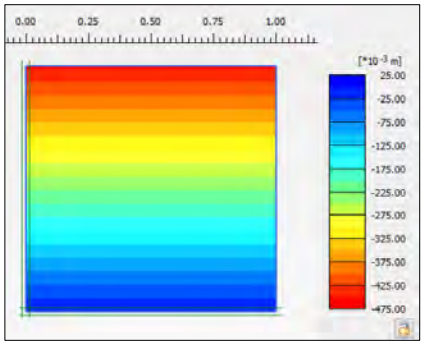
Para Un esfuerzo Desviador = 333.585kPa
(Cerca al Esf. residual experimental (291.73kPa),
pero a una deform. muy alejada,)

A una Total cartesian strain Eyy =0.069836

Se tiene un esfuerzo= 331.888kPa
(Cerca al Esf. residual experimental (291.73kPa))



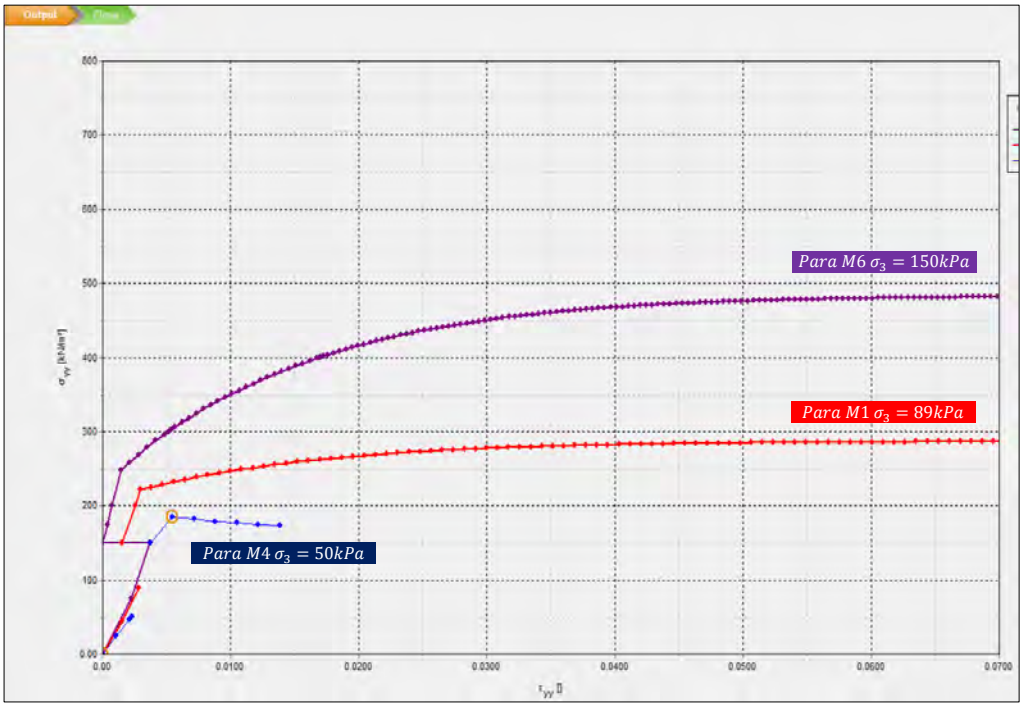
Deformed mesh |u| (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.5065 m (Element 184 at Node 11625)

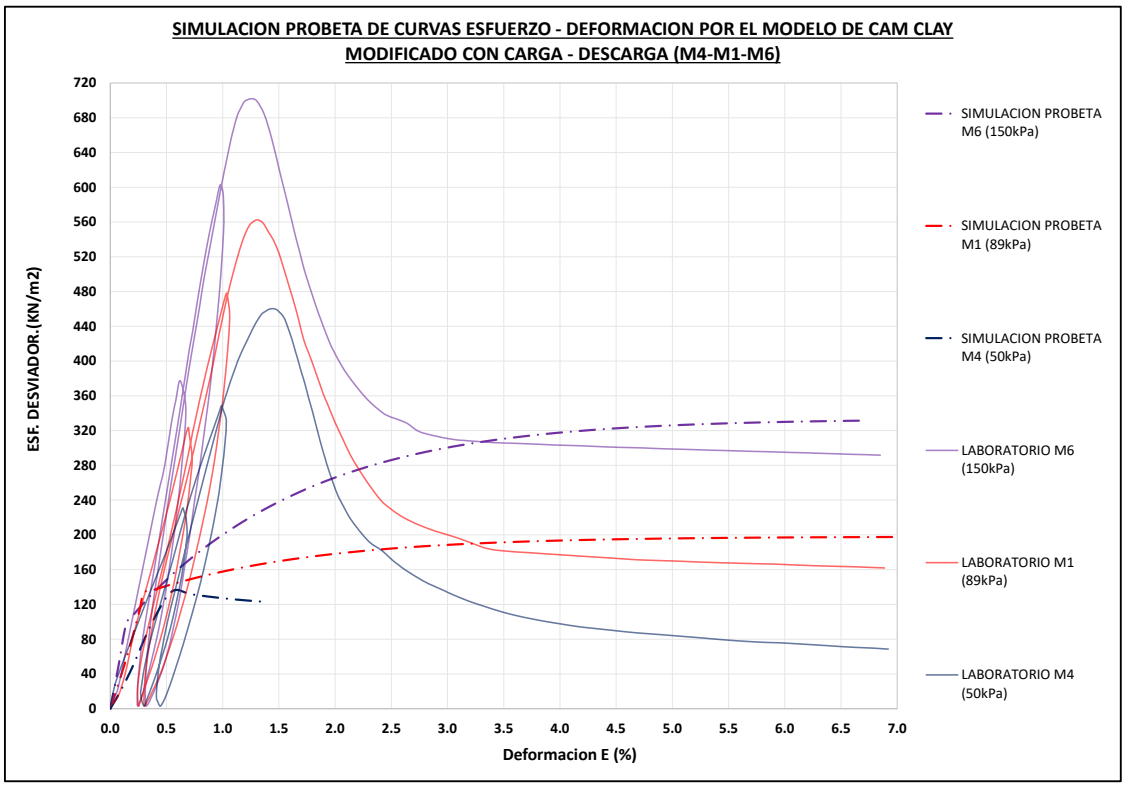


Total displacements u_y (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 11602)
Minimum value = -0.4552 m (Element 184 at Node 11626)

Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en Plaxis Output

$$Esfuerzo\ Principal\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.Unitaria\ (Eyy)$$





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE LA HIPOPLASTICIDAD)

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: Plaxis Input - Output **Nro de pasos de Calculo:** 27 - 45

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.005
0.006	1.579
0.017	4.689
0.040	10.910
0.082	22.277
0.092	25.000
0.115	31.573
0.154	42.350
0.182	50.000
0.215	59.385
0.282	78.280
0.416	116.055
0.538	149.796
0.565	157.202
0.618	171.765
0.725	199.626
0.830	225.834
1.037	268.164
1.242	293.626
1.453	294.017
1.426	270.590
1.411	268.698
1.413	269.895
1.417	271.530
1.425	275.170
1.442	282.469
1.475	297.109
1.541	326.491
1.593	349.995
1.644	372.888
1.695	395.715
1.705	399.998
1.741	415.965
1.800	442.065
1.842	460.216
1.572	350.004
1.596	374.689
1.621	399.151
1.622	400.004
1.646	424.379
1.671	448.466
1.672	450.005
1.677	454.944
1.683	459.870
1.683	460.245

SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	-0.003
0.002	0.486
0.005	1.453
0.011	3.380
0.024	7.219
0.037	11.000
0.054	16.161
0.089	26.453
0.159	47.086
0.299	88.950
0.372	111.031
0.402	120.338
0.464	138.837
0.585	174.860
0.806	234.270
1.025	278.670
1.240	302.548
1.343	307.510
1.461	306.696
1.366	237.620
1.468	309.716
1.559	368.016
1.704	468.060
1.763	511.057
1.794	534.196
1.825	557.541
1.832	562.462

SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	-0.010
0.003	1.468
0.009	4.413
0.022	10.262
0.047	21.769
0.095	43.145
0.111	50.001
0.132	59.081
0.174	77.097
0.259	112.669
0.428	181.178
0.607	248.030
0.613	250.001
0.633	257.029
0.673	270.608
0.753	295.775
0.886	331.624
1.017	358.941
1.147	377.985
1.273	389.096
1.398	393.783
1.521	393.918
1.133	-36.675
1.551	410.457
1.558	415.795
1.572	426.467
1.600	447.909
1.602	450.004
1.674	506.096
1.785	593.093
1.858	650.003
1.882	668.913
1.907	687.578
1.926	701.865

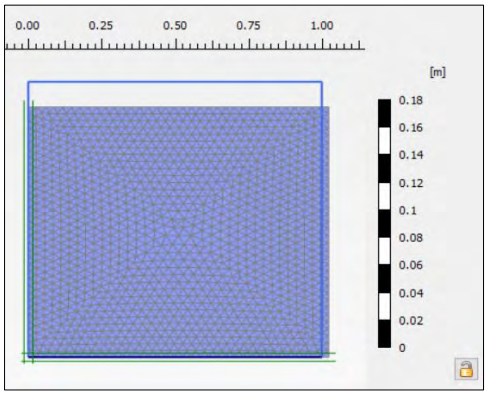
Deformacion total Unitaria para la Muestra M4 (50kPa)

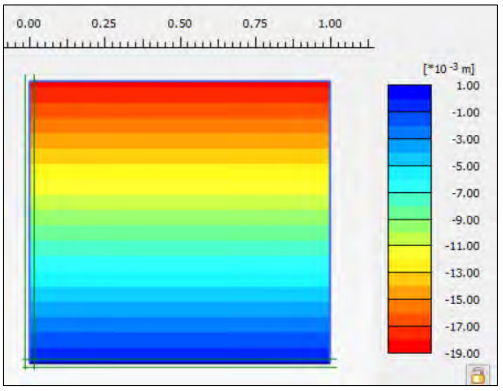
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 460.239kPa + 50kPa = 510.239kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Maximum value = -0.01842 (Element 23 at Node 3355)
Minimum value = -0.01842 (Element 14 at Node 4789)

Para Un esfuerzo Desviador = 460.216kPa



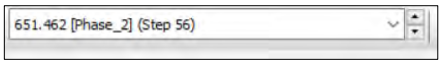


Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01900 m (Element 136 at Node 6689)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 6666)
Minimum value = -0.01842 m (Element 80 at Node 229)

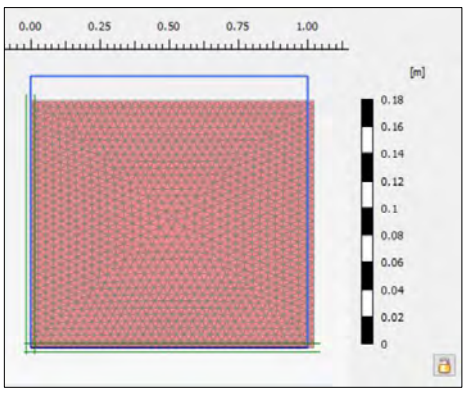
Deformacion total Unitaria para la Muestra M1 (89kPa)

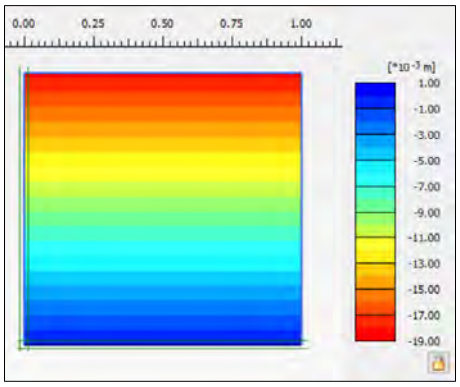
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 562.462kPa + 89kPa = 651.462kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Maximum value = -0.01832 (Element 2233 at Node 14556)
Minimum value = -0.01832 (Element 34 at Node 2641)

Para Un esfuerzo Desviador (Aprox.) = 562.462kPa





Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01884 m (Element 136 at Node 6689)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 6666)
Minimum value = -0.01832 m (Element 129 at Node 5711)

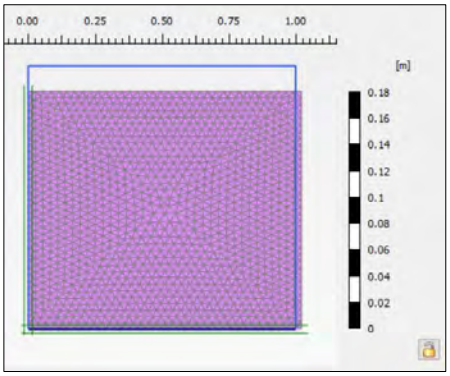
Deformacion total Unitaria para la Muestra M6 (150kPa)

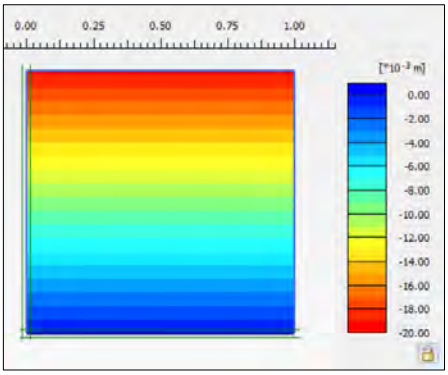
Para la ETAPA DE APLICACION de Esfuerzo Total $(\sigma_1) = Esf.Maximo\ experimental + Esf.de\ Confinamiento = 701.86kPa + 150kPa = 851.86kPa$



Total cartesian strain ε_{yy} (scaled up 5.00 times)
Maximum value = -0.01926 (Element 109 at Node 2705)
Minimum value = -0.01926 (Element 5 at Node 5727)

Para Un esfuerzo Desviador = 701.865kPa



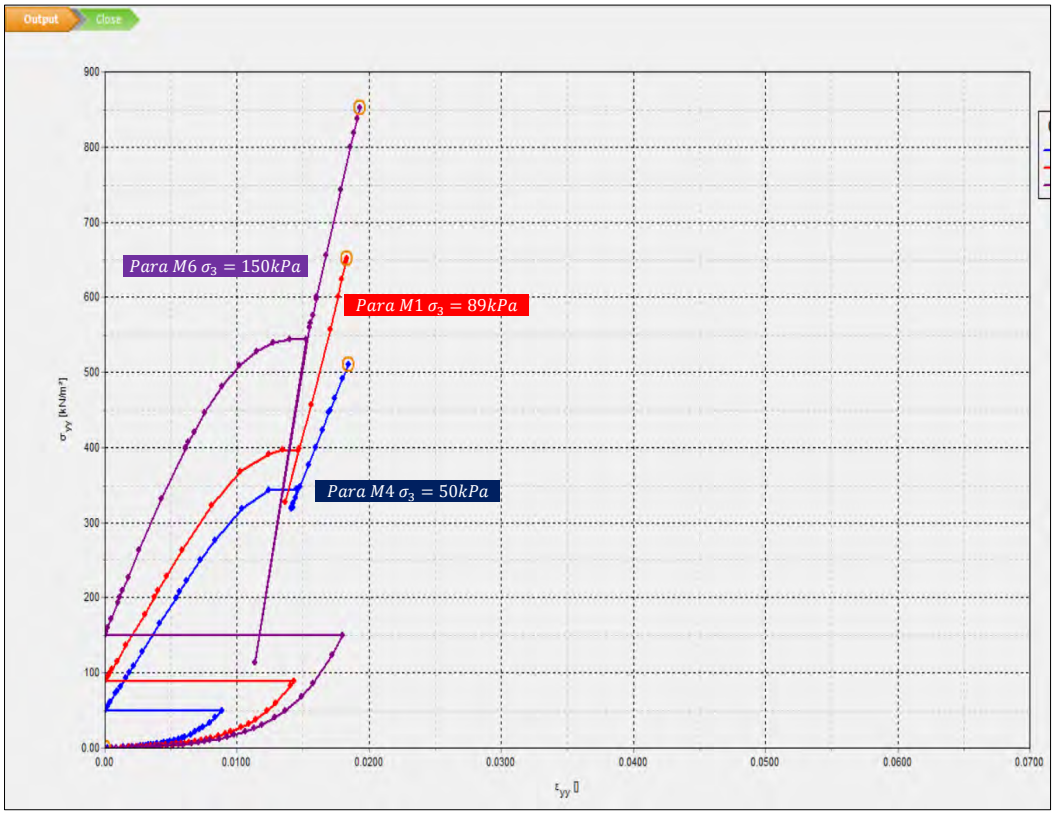


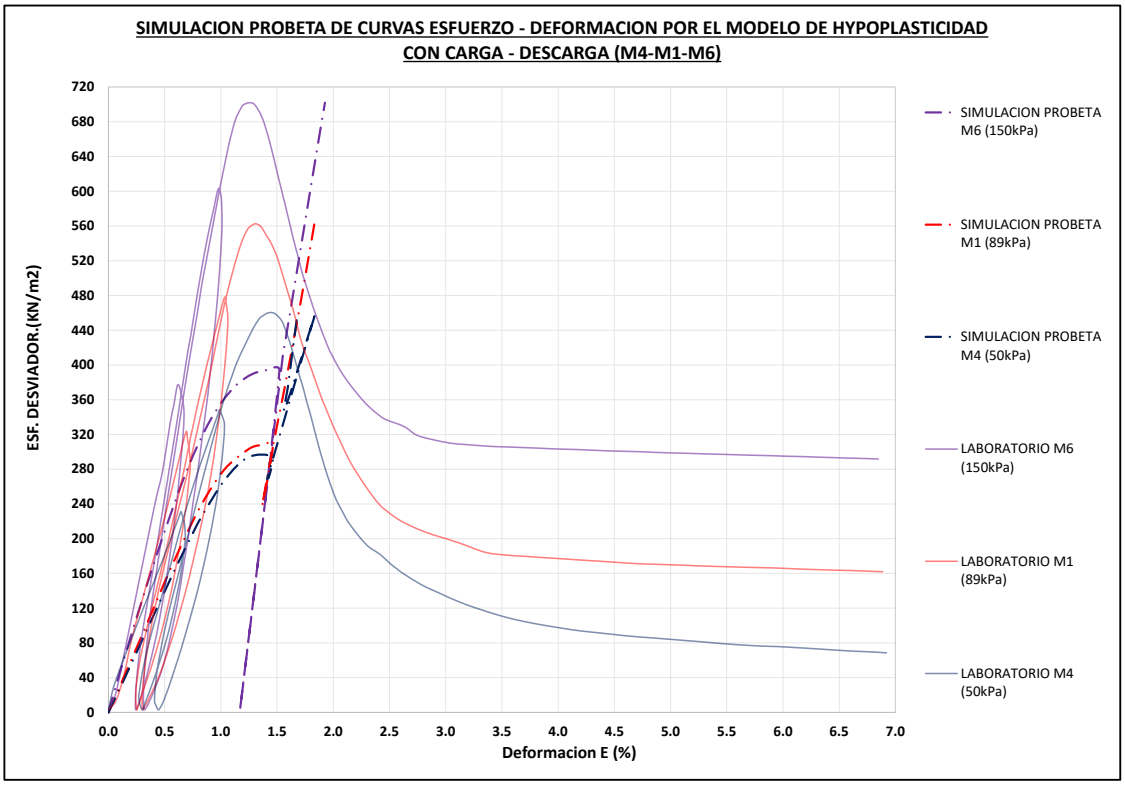
Deformed mesh |u| (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.01976 m (Element 136 at Node 6689)

Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 1 at Node 6666)
Minimum value = -0.01926 m (Element 105 at Node 2193)

Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en Plaxis Output

Esfuerzo Principal (σ_1) ***vs Deform. Unitaria (Eyy)***




SIMULACION PROBETA DE CURVAS ESFUERZO - DEFORMACION POR EL MODELO DE HYPOPLASTICIDAD
CON CARGA - DESCARGA (M4-M1-M6)
ESF. DESVIADOR.(KN/m2)
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Deformacion E (%)
SIMULACION PROBETA M6 (150kPa)
SIMULACION PROBETA M1 (89kPa)
SIMULACION PROBETA M4 (50kPa)
LABORATORIO M6 (150kPa)
LABORATORIO M1 (89kPa)
LABORATORIO M4 (50kPa)

ANEXO B11

RESULTADOS DE SIMULACION POR

MODELADO 3D ABAQUS PARA LAS MUESTRAS

M3 – M2 – M5

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA
MUESTRAS M3 - M2 - M5 (MODELO DE MOHR COULOMB) - SOFTWARE ABAQUS

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: ABAQUS **Nro de pasos de Calculo:** 65 - 73

SIMULACION DE CURVA M3 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.000	0.005
0.000	0.005
0.080	42.249
0.153	80.791
0.223	117.958
0.293	154.583
0.363	191.001
0.432	227.350
0.501	263.683
0.570	300.026
0.639	336.386
0.709	372.768
0.778	409.173
0.838	440.547
0.873	461.966
0.978	461.222
1.092	464.367
1.223	462.253
1.358	460.221
1.492	458.628
1.626	457.517
1.757	456.779
1.886	456.319
2.012	456.089
2.136	456.069
2.257	456.165
2.376	456.388
2.493	456.719
2.608	457.132
2.722	457.604
2.834	458.126
2.945	458.693
3.054	459.289
3.163	459.921
3.270	460.573
3.376	461.243
3.481	461.920
3.586	462.600
3.689	463.265
3.791	463.905
3.994	465.045
4.094	465.473
4.195	465.545
4.297	465.315
4.400	465.098
4.502	464.841
4.707	464.467
4.809	464.294
4.910	464.125
5.012	463.959
5.114	463.795
5.215	463.636
5.417	463.333
5.518	463.189
5.619	463.050
5.819	462.775
5.918	462.635
6.017	462.489
6.116	462.336
6.311	462.009
6.409	461.833
6.505	461.648
6.602	461.456
6.697	461.254
6.792	461.042
6.887	460.818
6.981	460.581

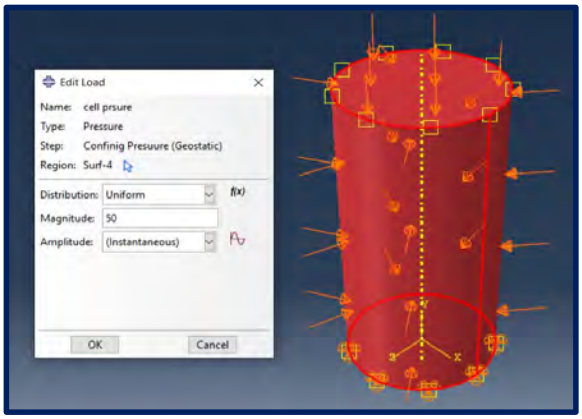
SIMULACION DE CURVA M2 (89kPa)

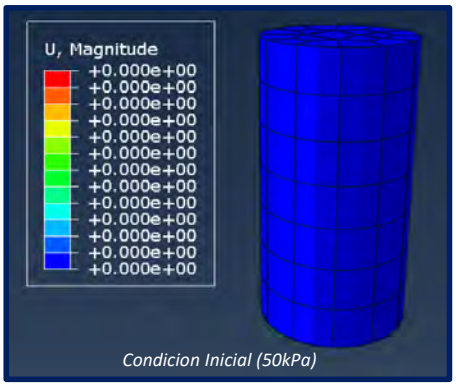
Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.000	0.001
0.000	0.001
0.081	42.905
0.155	81.763
0.226	119.141
0.296	155.940
0.366	192.519
0.435	229.022
0.505	265.509
0.574	302.004
0.644	338.518
0.713	375.052
0.783	411.611
0.853	448.193
0.922	484.800
0.992	521.432
1.037	544.140
1.102	553.490
1.202	557.461
1.322	554.750
1.446	552.119
1.571	550.220
1.697	548.890
1.820	548.113
1.942	547.724
2.061	547.634
2.178	547.769
2.293	548.054
2.405	548.463
2.515	548.971
2.623	549.547
2.730	550.161
2.835	550.800
2.939	551.447
3.042	552.071
3.143	552.685
3.344	553.898
3.444	554.540
3.640	555.847
3.736	556.543
4.016	557.172
4.110	556.754
4.388	555.666
4.479	555.332
4.742	554.376
5.072	553.100
5.150	552.776
5.372	551.779
5.441	551.437
5.508	551.088
5.635	550.365
5.907	548.408
5.953	547.959
6.037	546.998
6.074	546.472
6.140	545.302
6.169	544.619
6.218	542.958
6.238	541.972
6.256	540.878
6.284	538.330
6.302	535.266
6.312	531.608
6.313	521.436
6.310	518.147
6.307	514.659

SIMULACION DE CURVA M5 (150kPa)

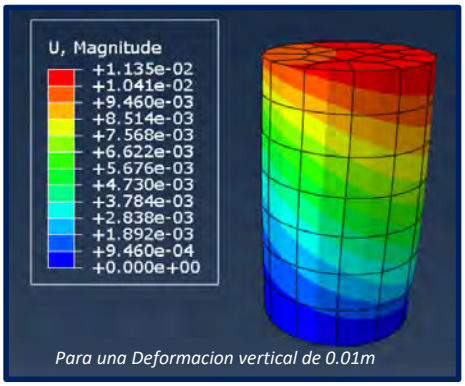
Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.000	0.015
0.000	0.015
0.080	42.311
0.153	80.887
0.224	118.082
0.293	154.733
0.363	191.177
0.432	227.551
0.501	263.910
0.571	300.278
0.640	336.664
0.709	373.072
0.779	409.503
0.848	445.958
0.918	482.437
0.987	518.940
1.057	555.468
1.126	592.021
1.196	628.598
1.266	665.200
1.313	688.979
1.374	699.418
1.480	702.628
1.593	704.961
1.718	702.782
1.843	700.811
1.967	699.269
2.088	698.241
2.207	697.615
2.323	697.334
2.437	697.335
2.549	697.559
2.658	697.973
2.765	698.587
2.870	699.338
2.974	700.215
3.075	701.204
3.175	702.266
3.275	703.352
3.373	704.422
3.470	705.376
3.569	705.579
3.672	704.911
3.775	704.276
3.879	703.722
3.983	703.247
4.088	702.808
4.193	702.395
4.298	701.995
4.511	701.203
4.725	700.516
4.940	699.929
5.156	699.307
5.373	698.573
5.482	698.161
5.591	697.721
5.808	696.761
6.026	695.690
6.243	694.490
6.351	693.837
6.566	692.424
6.672	691.660
6.883	690.002
6.987	689.113

MODELAMIENTO de la Muestra M3 (50kPa)

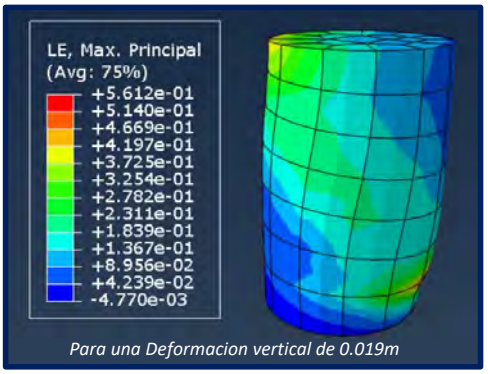




Condicion Inicial (50kPa)

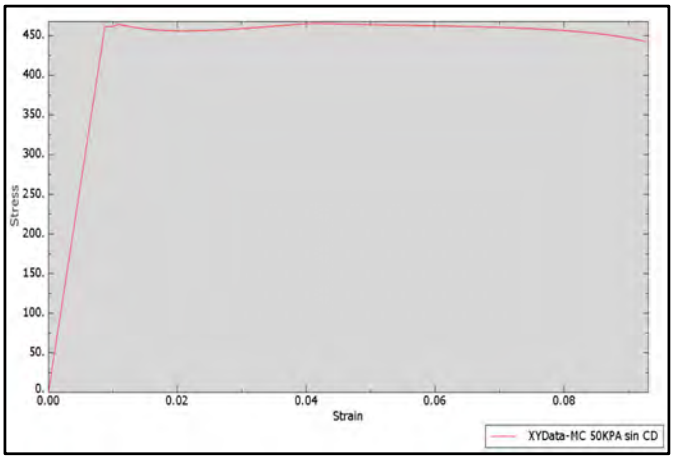


Para una Deformacion vertical de 0.01m

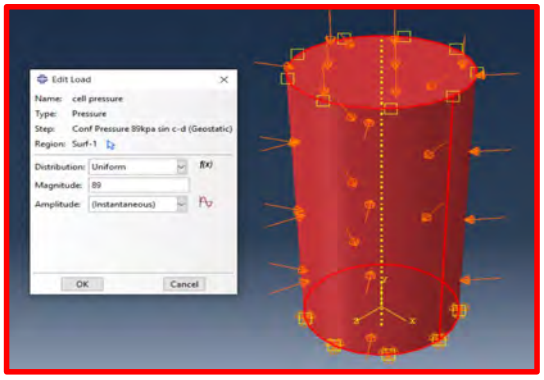


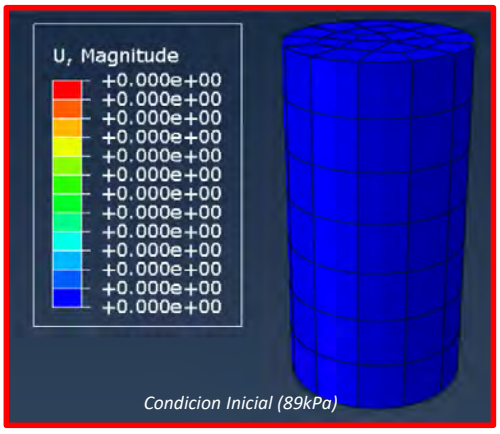
Para una Deformacion vertical de 0.019m

Curva Esfuerzo - defomacion de la Muestra M3 (50kPa) - Stress(Kpa) y Strain (Deformacion Unitaria vertical)

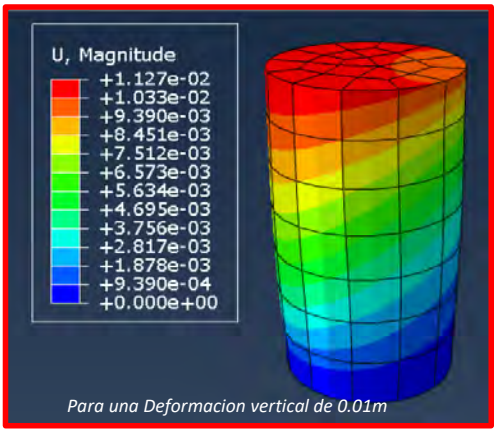


MODELAMIENTO de la Muestra M2 (89kPa)

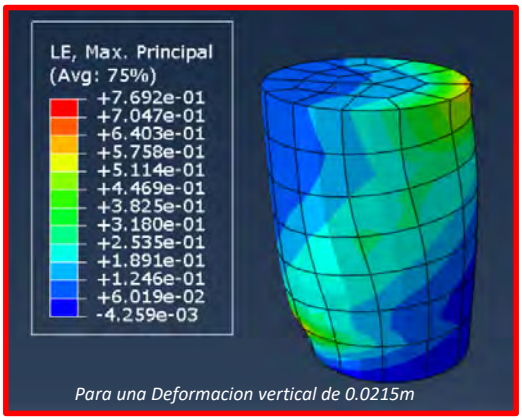




Condicion Inicial (89kPa)

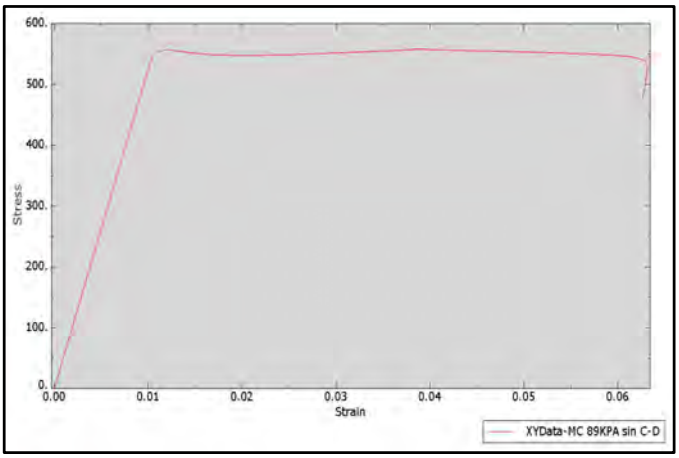


Para una Deformacion vertical de 0.01m

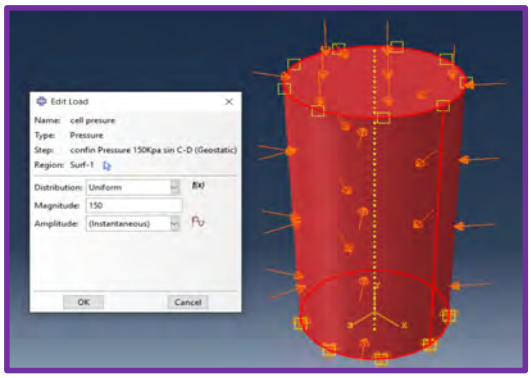


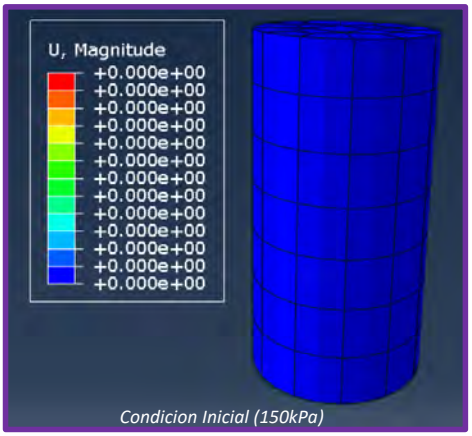
Para una Deformacion vertical de 0.0215m

Curva Esfuerzo - defomacion de la Muestra M2 (89kPa) - Stress(Kpa) y Strain (Deformacion Unitaria vertical)

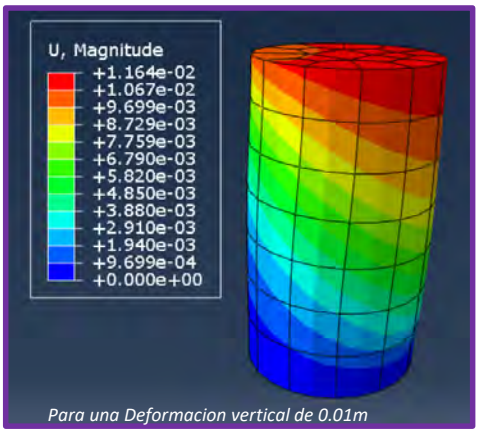


MODELAMIENTO de la Muestra M5 (150kPa)

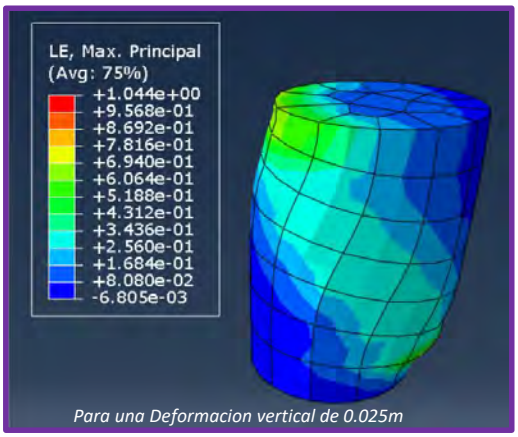




Condicion Inicial (150kPa)

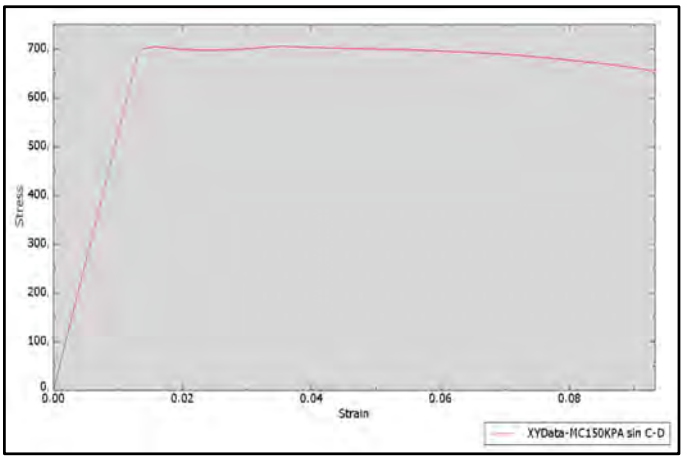


Para una Deformacion vertical de 0.01m



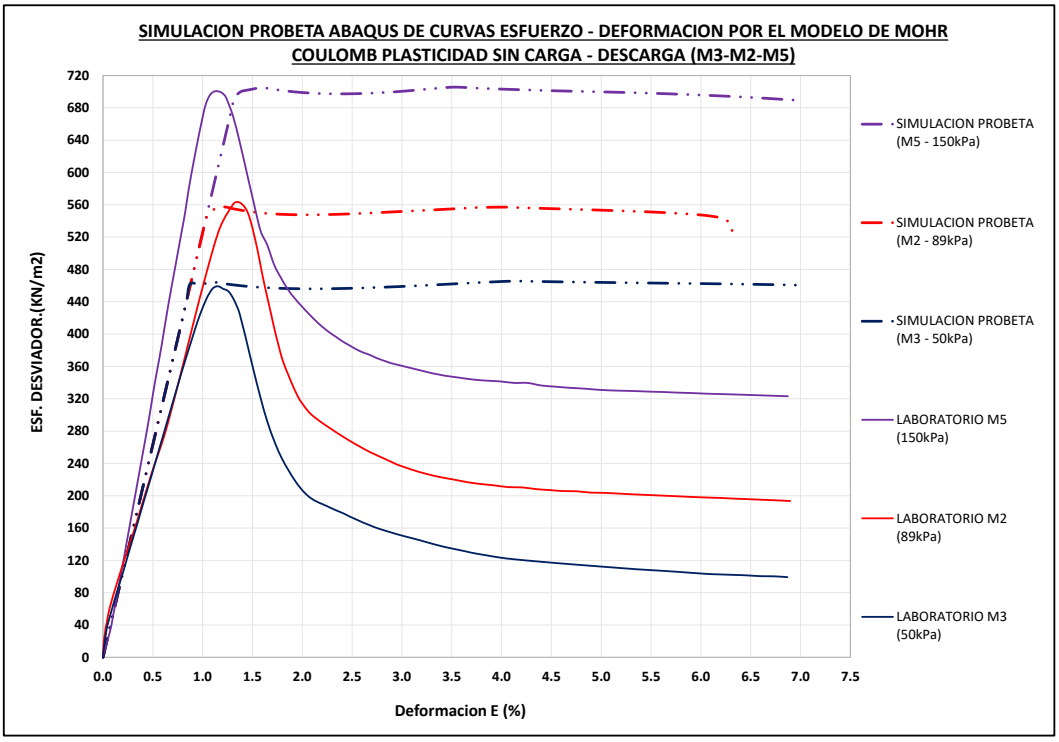
Para una Deformacion vertical de 0.025m

Curva Esfuerzo - defomacion de la Muestra M5 (150Pa) - Stress(Kpa) y Strain (Deformacion Unitaria vertical)



Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en ABAQUS CAE

$$\boldsymbol{Esfuerzo\ Desviador\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.E(\%)}$$



ANEXO B12

RESULTADOS DE SIMULACION POR

MODELADO 3D ABAQUS PARA LAS MUESTRAS

M4 – M1 – M6

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

SIMULACION DE LA CURVA ESFUERZO - DEFORMACION POR MODELADO DE PROBETA MUESTRAS M4 - M1 - M6 (MODELO DE MOHR COULOMB) - SOFTWARE ABAQUS

PROYECTO DE TESIS: "APLICACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS PARA LA SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO ESFUERZO - DEFORMACION DEL ESTRATO DE ARCILLA INFERIOR DEL TALUD DE UNA CANTERA ESPECIFICA UBICADA EN LA APV. VILLA ORCCONA - CUSCO"

TESISTA: Bach. Alexander Mejia Seca **Ubicacion:** Cusco/Cusco/San Sebastian

Programa: ABAQUS **Nro de pasos de Calculo:** 64 - 67

SIMULACION DE CURVA M4 (50kPa)

Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.000	0.000
0.000	0.000
0.082	38.625
0.157	73.517
0.229	106.954
0.299	139.779
0.369	172.350
0.439	204.822
0.509	237.264
0.579	269.706
0.649	302.159
0.718	334.630
0.788	367.120
0.858	399.632
0.928	432.158
0.970	450.824
1.028	459.792
1.130	462.739
1.248	462.550
1.374	460.363
1.502	458.661
1.631	457.472
1.758	456.720
1.884	456.304
2.008	456.121
2.129	456.126
2.248	456.264
2.365	456.503
2.479	456.826
2.592	457.209
2.702	457.632
2.812	458.083
2.919	458.550
3.025	459.008
3.130	459.458
3.439	460.797
3.540	461.276
3.640	461.768
3.931	463.537
4.023	464.366
4.116	464.339
4.211	463.814
4.487	462.963
4.576	462.707
4.664	462.462
4.750	462.221
5.077	461.260
5.153	461.014
5.499	459.708
5.560	459.431
5.726	458.553
5.821	457.898
6.002	455.800
6.104	452.443
6.136	444.301
6.131	439.779
6.114	425.596
6.109	421.485
6.096	412.987
6.074	398.855
6.057	388.880
6.049	383.740
6.040	378.509
6.031	373.143
6.021	367.639

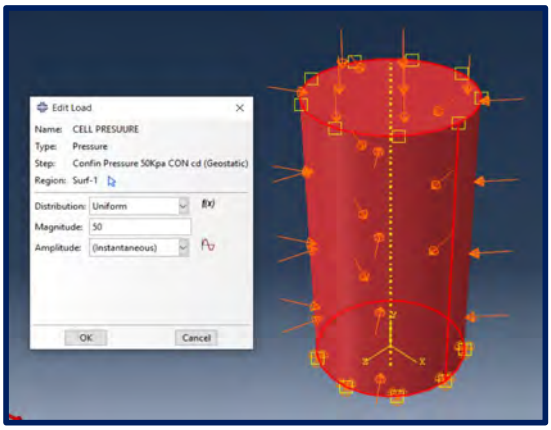
SIMULACION DE CURVA M1 (89kPa)

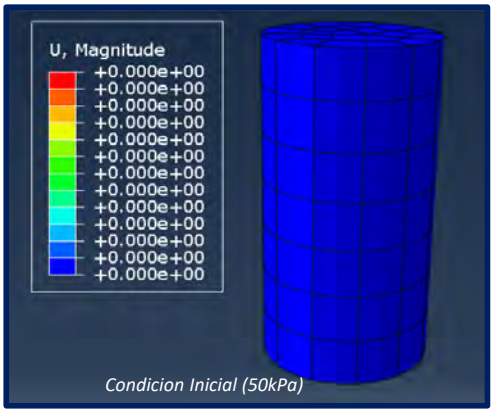
Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.000	0.001
0.000	0.001
0.082	38.477
0.156	73.229
0.228	106.523
0.298	139.200
0.368	171.620
0.437	203.938
0.507	236.225
0.576	268.510
0.646	300.806
0.715	333.120
0.785	365.453
0.854	397.807
0.924	430.182
0.994	462.580
1.063	494.998
1.133	527.314
1.173	545.062
1.231	553.743
1.332	556.434
1.446	556.545
1.569	554.282
1.693	552.479
1.816	551.259
1.939	550.399
2.059	549.946
2.177	549.784
2.293	549.831
2.407	550.054
2.518	550.390
2.627	550.809
2.734	551.304
2.838	551.844
2.941	552.405
3.042	552.974
3.241	554.120
3.531	555.970
3.715	557.345
3.975	557.439
4.061	557.049
4.226	556.406
4.454	555.609
4.525	555.358
4.715	554.624
4.823	554.183
4.994	553.770
5.027	553.781
5.082	553.846
5.103	553.881
5.120	553.891
5.149	553.556
5.152	553.235
5.149	552.201
5.145	550.836
5.134	545.272
5.113	532.236
5.096	521.277
5.086	515.093
5.065	501.438
5.053	494.240
5.029	478.698
5.003	462.104

SIMULACION DE CURVA M6 (150kPa)

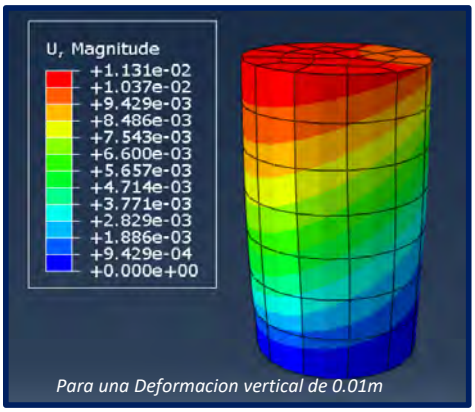
Deform (%)	Esf. Desv. (kN/m2)
0.000	0.000
0.000	0.016
0.000	0.016
0.080	37.815
0.154	72.220
0.225	105.270
0.295	137.743
0.364	169.974
0.433	202.109
0.502	234.215
0.571	266.320
0.640	298.437
0.709	330.570
0.779	362.723
0.848	394.897
0.917	427.091
0.986	459.307
1.056	491.545
1.125	523.804
1.194	556.085
1.264	588.387
1.333	620.711
1.403	653.057
1.462	680.180
1.501	696.922
1.582	700.546
1.690	703.458
1.803	705.438
1.927	703.682
2.051	701.998
2.175	700.666
2.295	699.744
2.412	699.176
2.527	698.911
2.639	698.899
2.749	699.110
3.065	700.841
3.265	702.712
3.555	705.646
3.866	703.862
3.973	703.278
4.083	702.734
4.308	701.714
4.542	700.793
4.905	699.697
5.029	699.250
5.408	697.571
5.537	696.930
5.798	695.567
6.061	694.084
6.326	692.409
6.457	691.468
6.589	690.469
6.848	688.409
7.101	686.369
7.470	683.553
7.589	682.702
7.935	680.524
8.046	679.898
8.265	678.739
8.477	677.654
8.580	677.108
8.783	675.985
8.980	674.766
9.077	674.111
9.265	672.713
9.358	671.960

MODELAMIENTO de la Muestra M4 (50kPa)

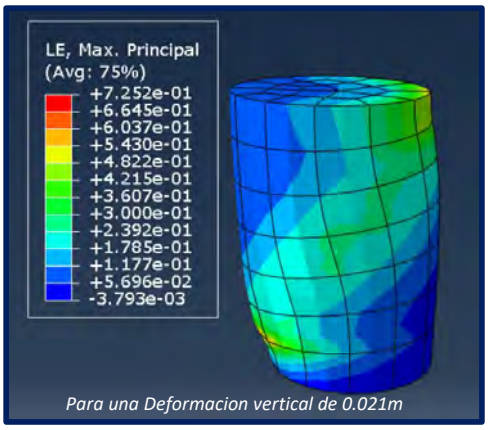




Condicion Inicial (50kPa)

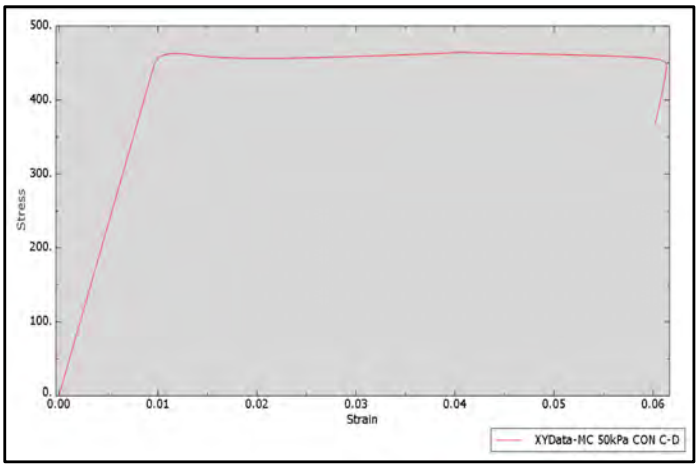


Para una Deformacion vertical de 0.01m

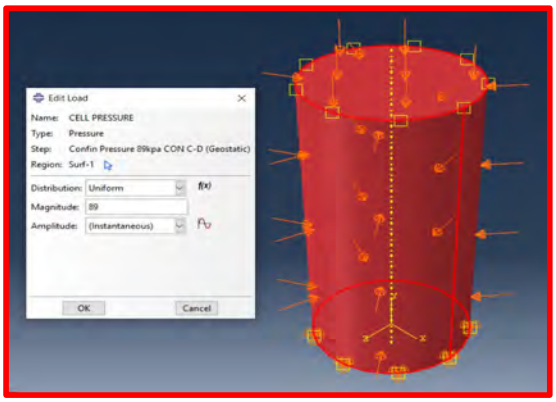


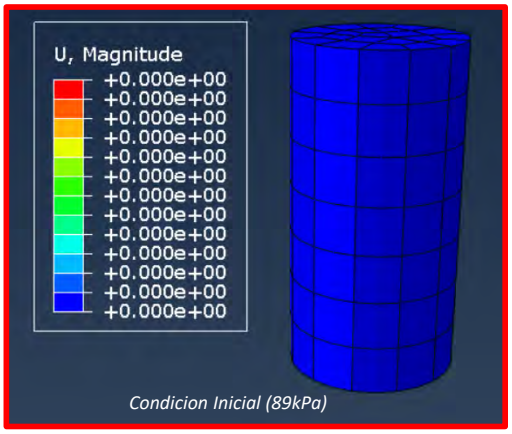
Para una Deformacion vertical de 0.021m

Curva Esfuerzo - defomacion de la Muestra M4 (50kPa) - Stress(Kpa) y Strain (Deformacion Unitaria vertical)

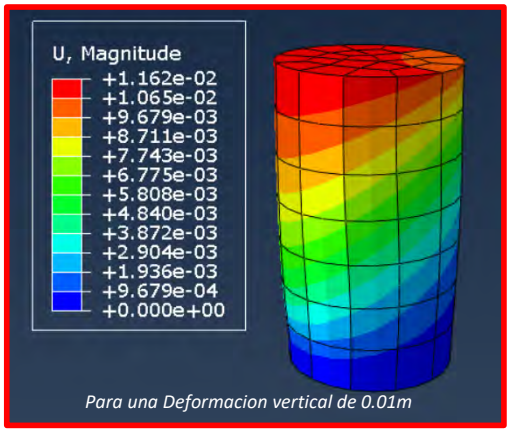


MODELAMIENTO de la Muestra M1 (89kPa)

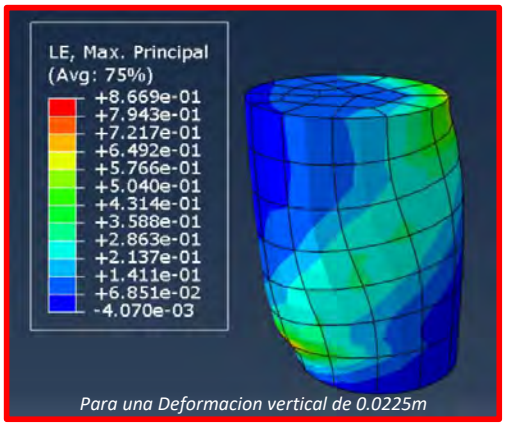




Condicion Inicial (89kPa)

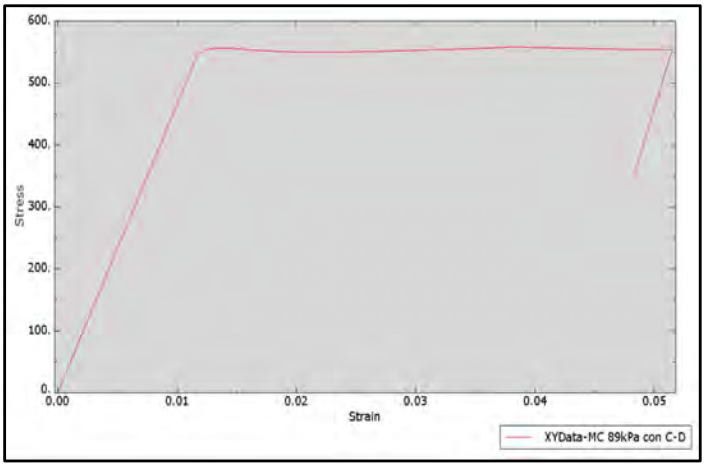


Para una Deformacion vertical de 0.01m

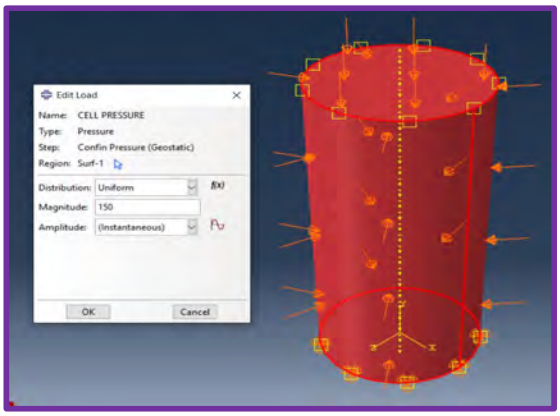


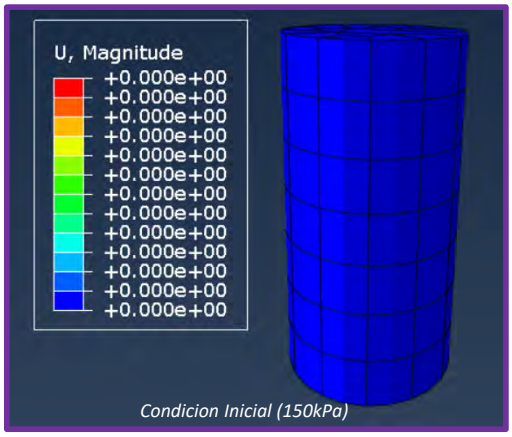
Para una Deformacion vertical de 0.0225m

Curva Esfuerzo - defomacion de la Muestra M1 (89kPa) - Stress(Kpa) y Strain (Deformacion Unitaria vertical)

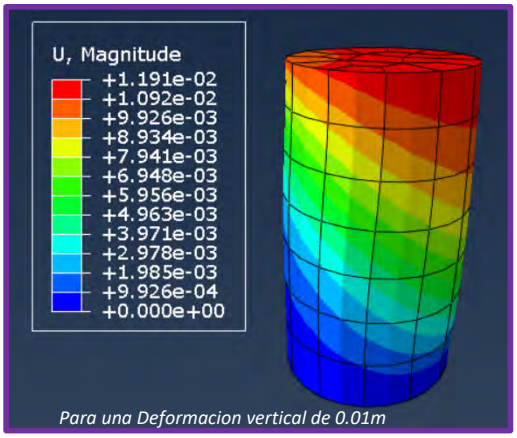


MODELAMIENTO de la Muestra M6 (150kPa)

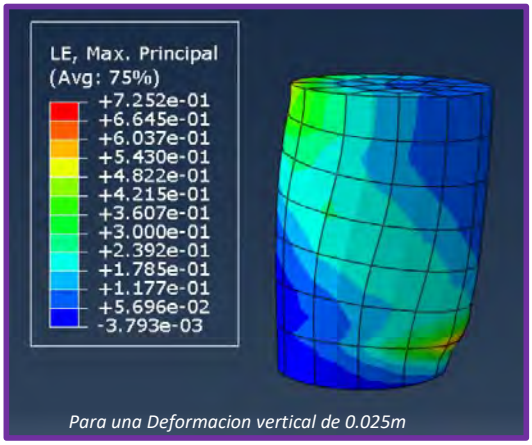




Condicion Inicial (150kPa)

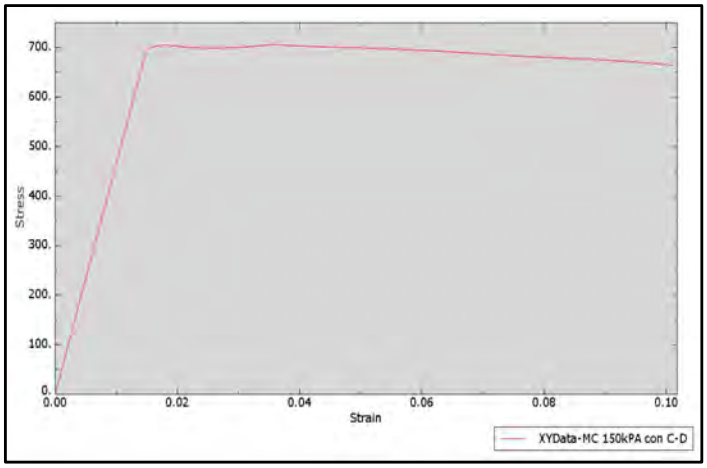


Para una Deformacion vertical de 0.01m



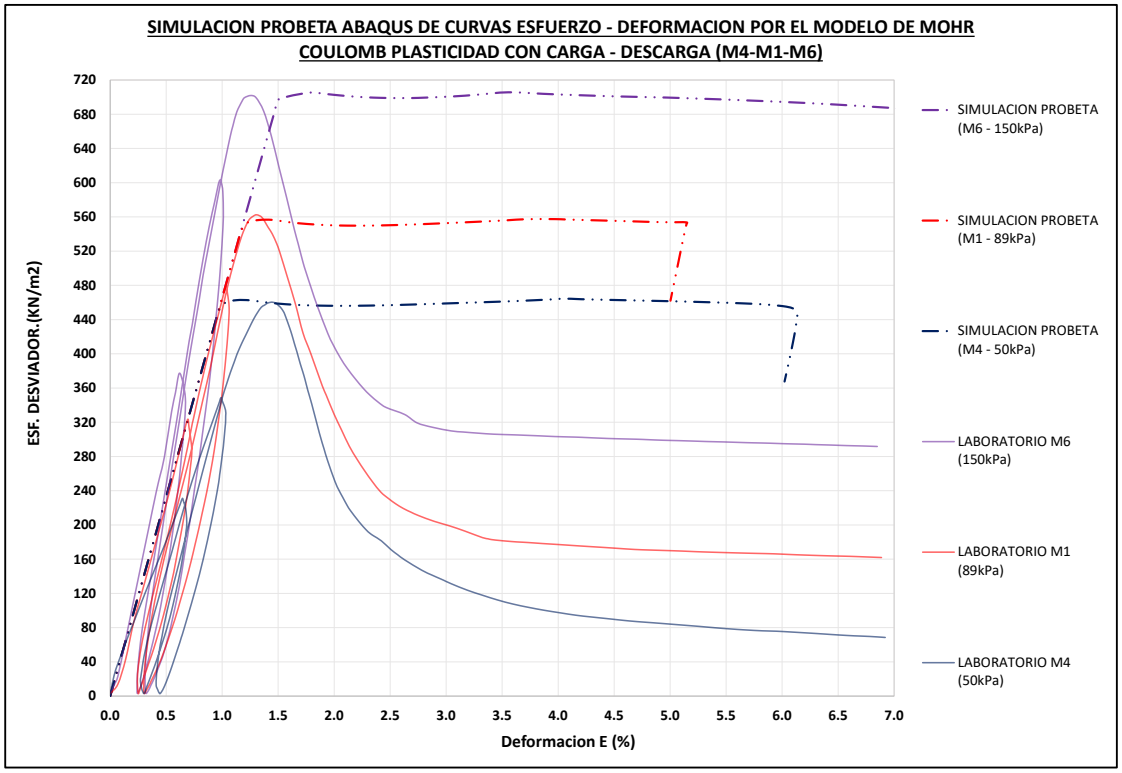
Para una Deformacion vertical de 0.025m

Curva Esfuerzo - defomacion de la Muestra M6 (150Pa) - Stress(Kpa) y Strain (Deformacion Unitaria vertical)



Resultados de Curvas Esfuerzo - Deformacion en ABAQUS CAE

$$Esfuerzo\ Desviador\ (\sigma_1)\ vs\ Deform.E(\%)$$



ANEXO C

PANEL FOTOGRAFICO

Ensayo de Análisis Granulométrico (NTP 339.128)

Figura C1

Secado del material de suelos para tamizado



Figura C2

1er Cuarteo del material de suelos para tamizado



Figura C3

2do Cuarteo del material de suelos para tamizado



Figura C4

Tamizado por la Malla Nro. 10



Figura C5

Tamizado por la Malla Nro 40 para obtención de material para hallar los límites de plasticidad



Figura C6

Deslehizamiento de la muestra tamizada por la Malla Nro 10



Figura C7

Lavado, obtención y secado al horno de suelo retenido por la Malla Nro 200



Figura C8

Tamizado de Suelo seco a través del conjunto de mallas para la obtención de suelos retenidos y para la construcción de la curva granulométrica



Ensayo de Contenido de Humedad (NTP 339.127)

Figura C9

Extracción de material de suelo de la muestra inalterada



Figura C10

Colocación y Peso de muestras húmedas en las capsulas respectivas



Figura C11

Colocación de muestras húmedas en el horno por 24hrs



Figura C12

Extracción y medida de peso de muestras secas



Ensayo de Limites de Atterberg (NTP 339.129)

Figura C13

Procedimiento para hacer el ensayo de límites de Atterberg para la obtención del límite Liquido.



Figura C14

Procedimiento para hacer el ensayo de límites de Atterberg para la obtención del límite Plástico



Ensayo de Gravedad Especifica de Solidos del Suelo (NTP 339.131)

Figura C15

Procedimiento de tamizado para la obtención de material que pasa la malla Nro. 4



Figura C16

Procedimiento para la obtención de la gravedad especifica de Solidos – primera muestra



Figura C17

Procedimiento para la obtención de la gravedad especifica de Solidos – segunda muestra



Ensayo de Consolidación Unidimensional de Suelos (NTP 339.154)

Figura C18

Preparación de herramientas y tallado para obtención de muestra inalterada



Figura C19

Colocación en el Edómetro y contra expansión de la muestra



Figura C20

Colocación de carga de 1kg y Lectura de dial de deformación



Figura C21

Colocación de carga de 2kg y Lectura de dial de deformación



Figura C22

Colocación de carga de 4kg y Lectura de dial de deformación

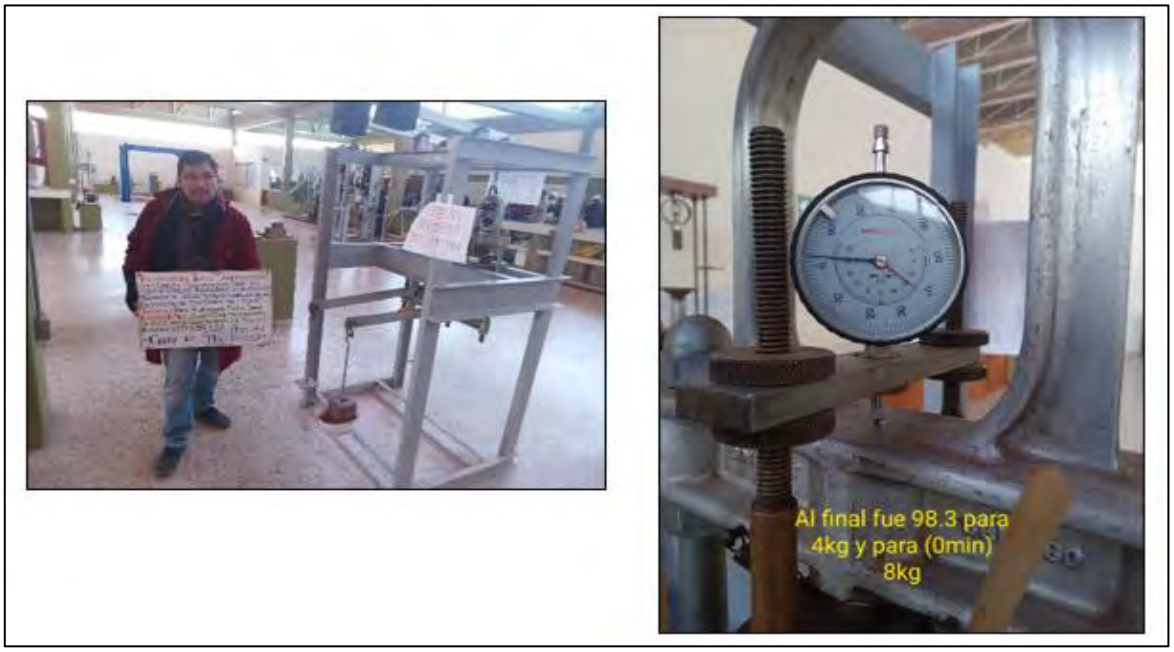


Figura C23

Colocación de carga de 8kg y Lectura de dial de deformación

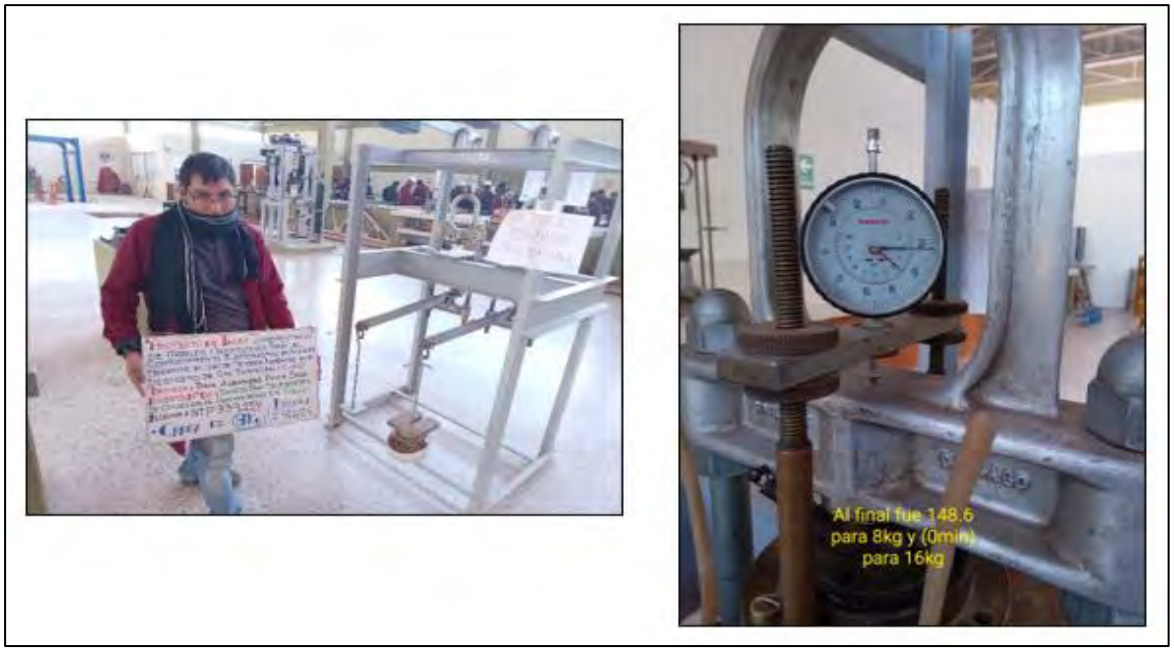


Figura C24

Colocación de carga de 16kg y Lectura de dial de deformación

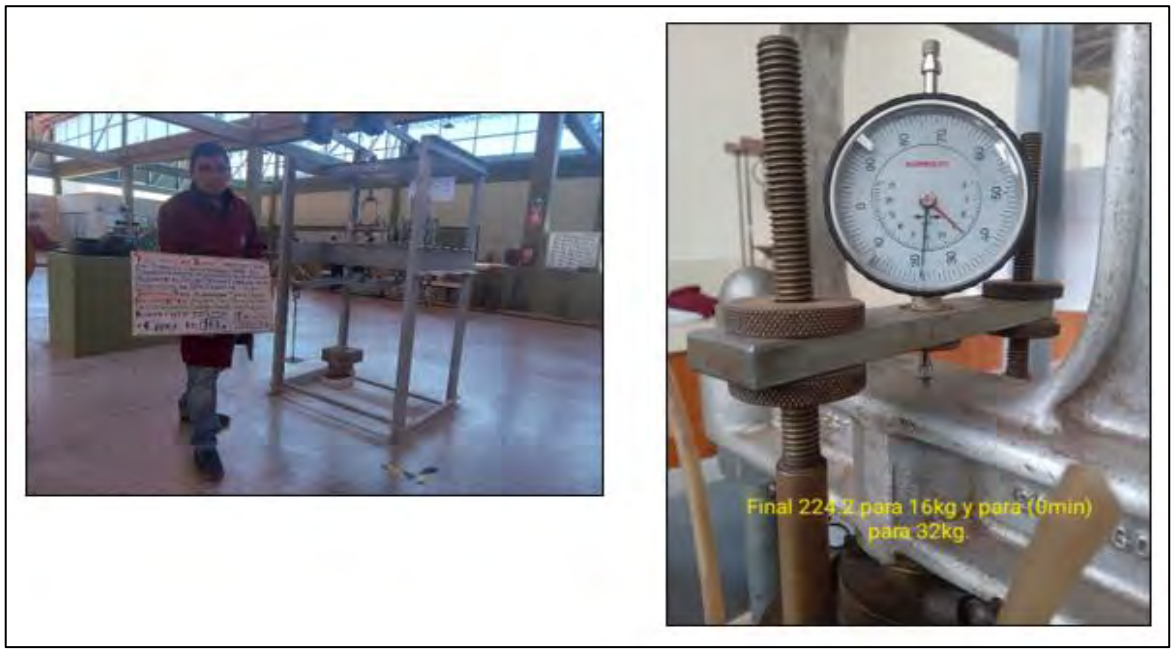


Figura C25

Colocación de carga de 32kg y Lectura de dial de deformación

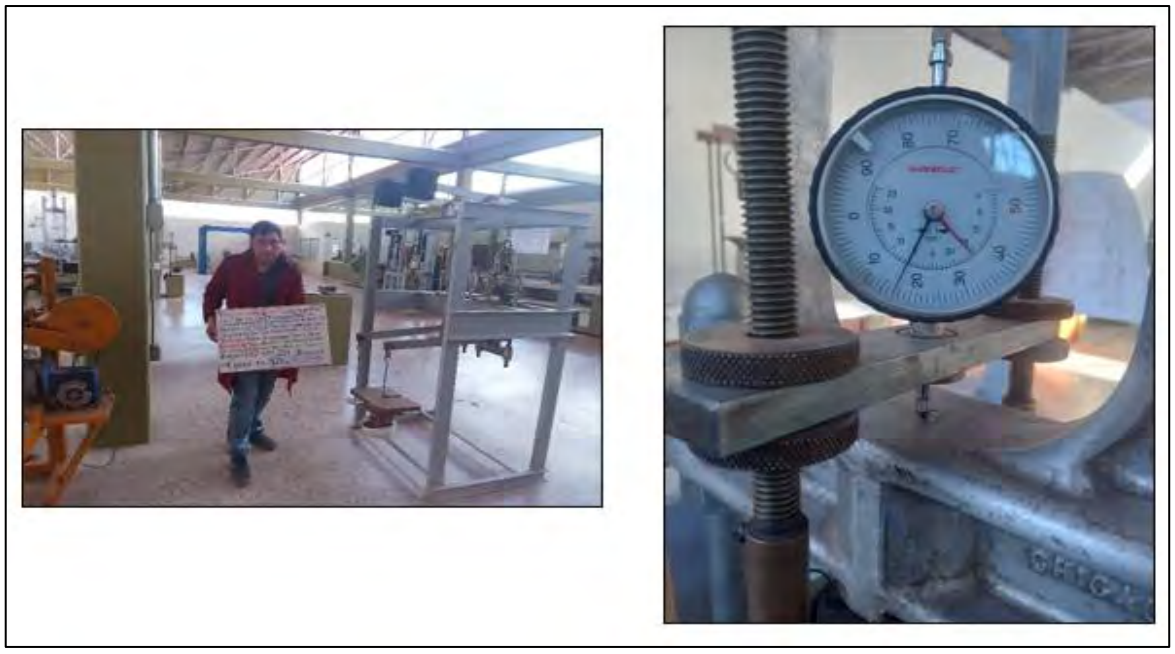


Figura C26

Proceso de Descarga y lecturas de deformación



Figura C27

Proceso de desmontaje de Edómetro y colocación en horno



Ensayo de Peso Unitario de Suelos (NTP 339.139 – NTP 339.151)

Figura C28

Extracción insitu de muestras inalteradas de cada estrato, así como peso y medida de dimensiones en el laboratorio (De la muestra 01 a la muestra 04)



Figura C29

Peso y Medida de dimensiones en el laboratorio (De la muestra 05 a la muestra 08)



Figura C30

Peso y Medida de dimensiones en el laboratorio (De la muestra 09 a la muestra 14)



Figura C31

Peso y Medida de dimensiones en el laboratorio (De la muestra 15 a la muestra 18 - Incluyendo la muestra del primer estrato superior O')



Ensayo de Corte Triaxial Consolidado Drenado (ASTM D7181)

Figura C32

Extracción de especímenes de suelo de arcilla inalteradas para obtención de muestras cilíndricas para el ensayo de corte Triaxial



Figura C33

Tallado de muestras cilíndricas de arcilla inalteradas para el ensayo de corte triaxial



Figura C34

Empaquetado de muestras cilíndricas talladas



Figura C35

Preparación del equipo de corte triaxial

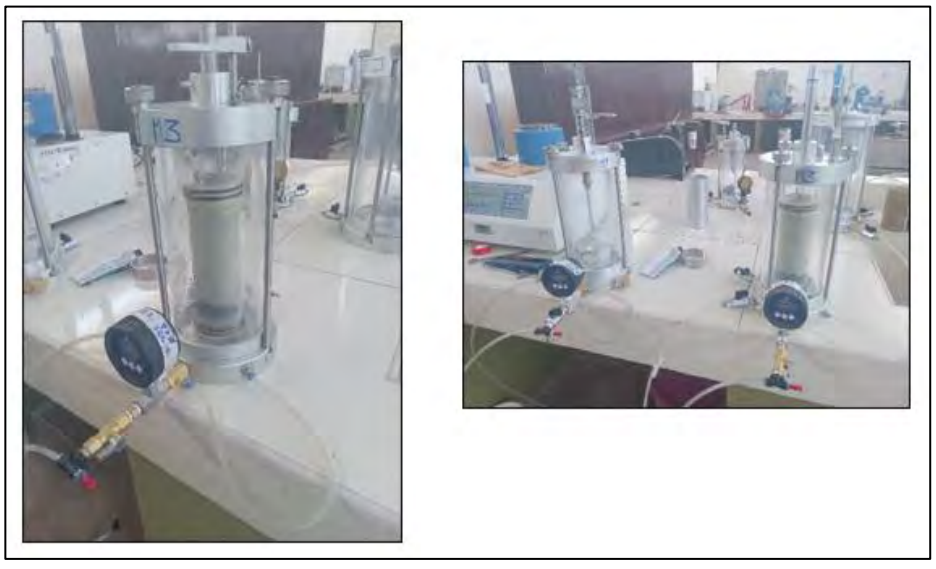


Figura C36

Pesos y Medidas de muestras M2 y M1 cilíndricas antes de montaje en cámaras

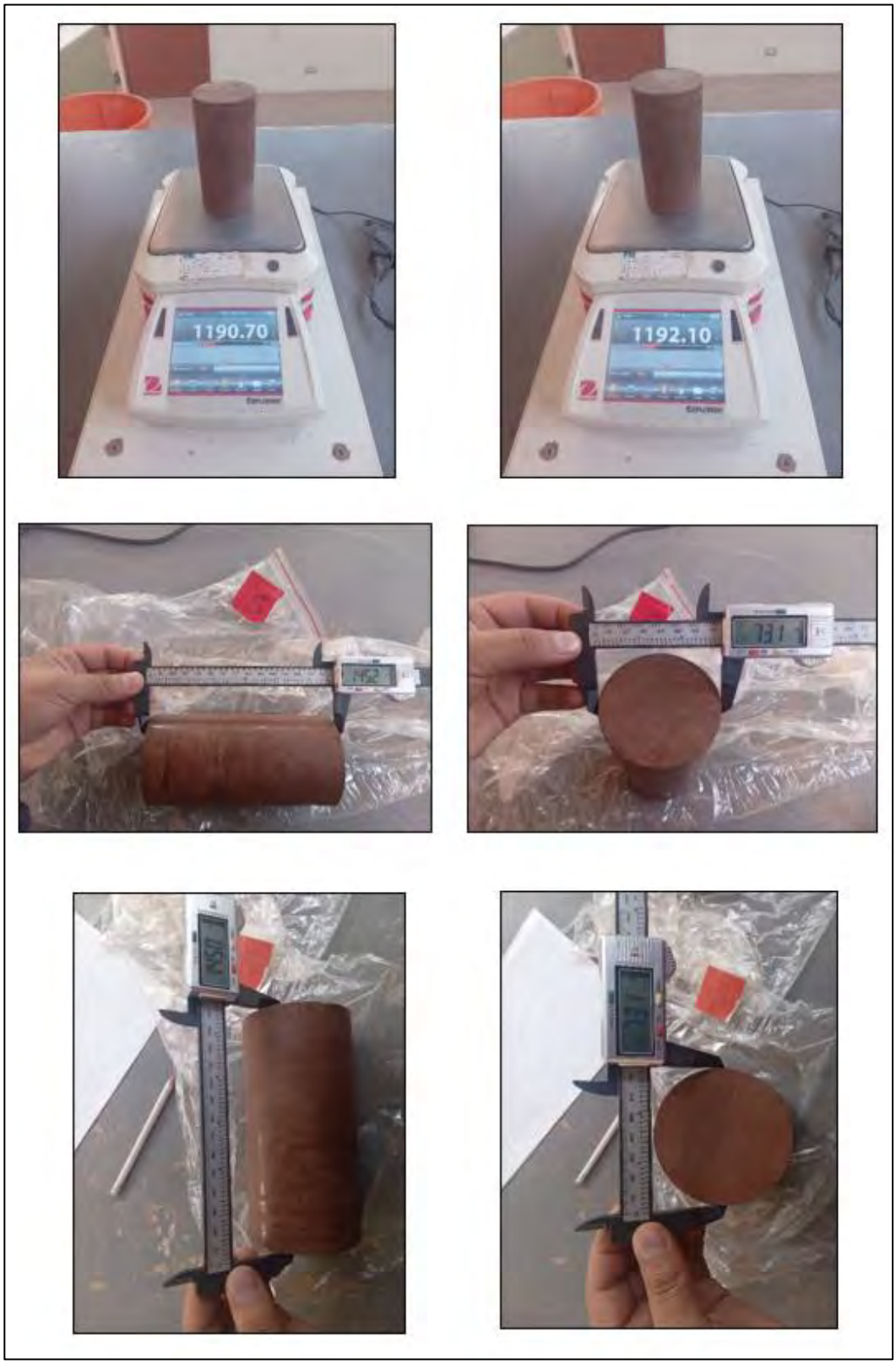


Figura C37

Montaje de muestras cilíndricas M2 en cámara de confinamiento



Figura C38

Montaje de muestras cilíndricas M1 en cámara de confinamiento



Figura C39

Llenado de cámaras de confinamiento con agua desaireada y posicionamiento de M2 Y M1



Figura C40

Colocación de Presión y Contrapresión para la SATURACION de las muestras cilíndricas M2 y M1 y cálculo del parámetro de Skempton



Figura C41

Consolidación de la Muestra Cilíndrica M2



Figura C42

Corte de muestra cilíndrica M2



Figura C43

Consolidación de la Muestra Cilíndrica M1



Figura C44

Corte de muestra cilíndrica M1



Figura C45

Desmontaje, peso y secado al horno de muestras cilíndricas M2 y M1



Figura C46

Pesos y Medidas de muestras M3 y M4 cilíndricas antes de montaje en cámaras

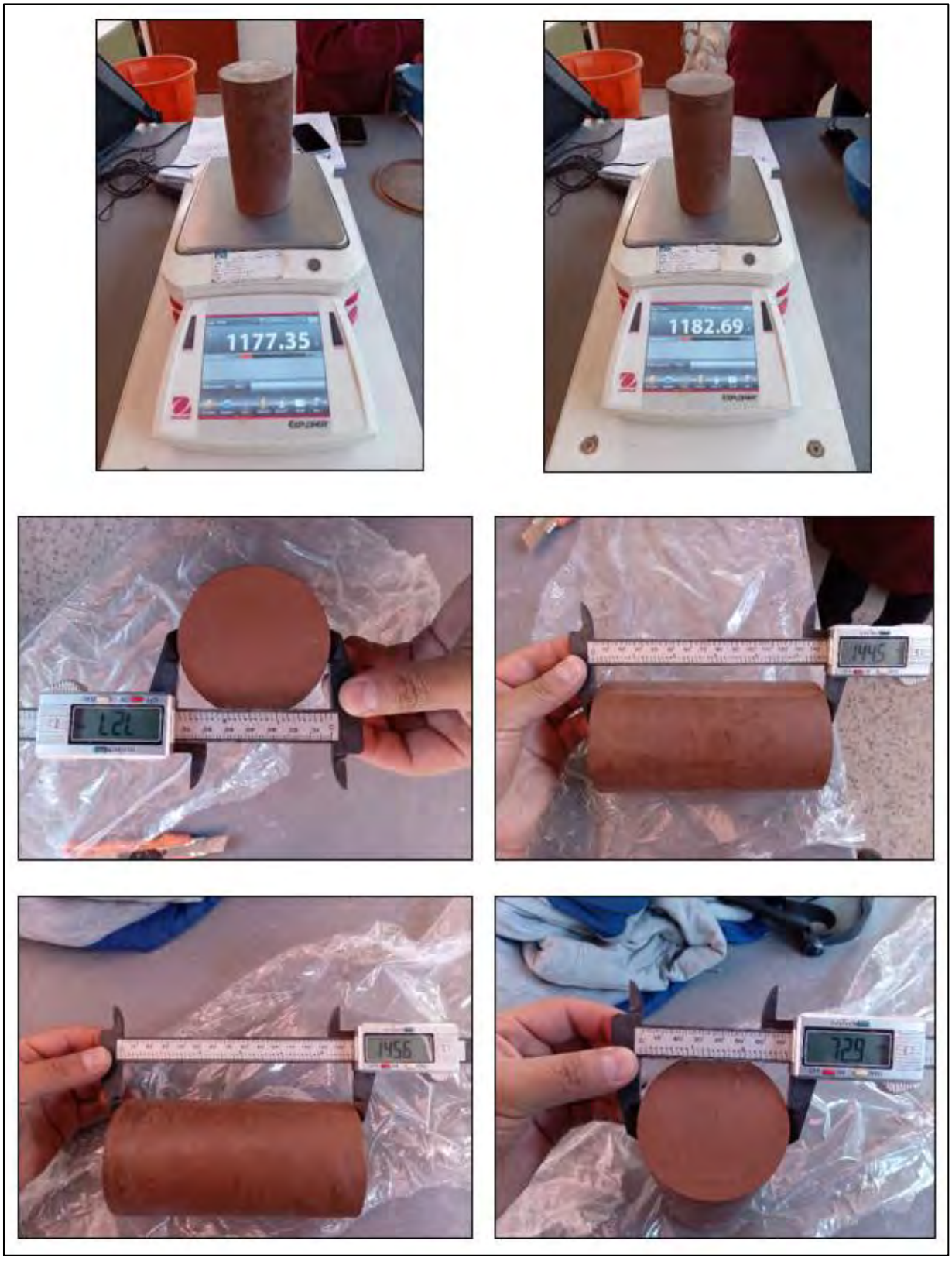


Figura C47

Montaje de muestras cilíndricas M3 y M4 en cámaras de confinamiento



Figura C48

Llenado de cámaras de confinamiento con agua desaireada y posicionamiento de M3 y M4



Figura C49

Colocación de Presión y Contrapresión para la SATURACION de las muestras cilíndricas M3 y M4 y cálculo del parámetro de Skempton



Figura C50

Consolidación de la Muestra Cilíndrica M3



Figura C51

Corte de muestra cilíndrica M3



Figura C52

Consolidación de la Muestra Cilíndrica M4

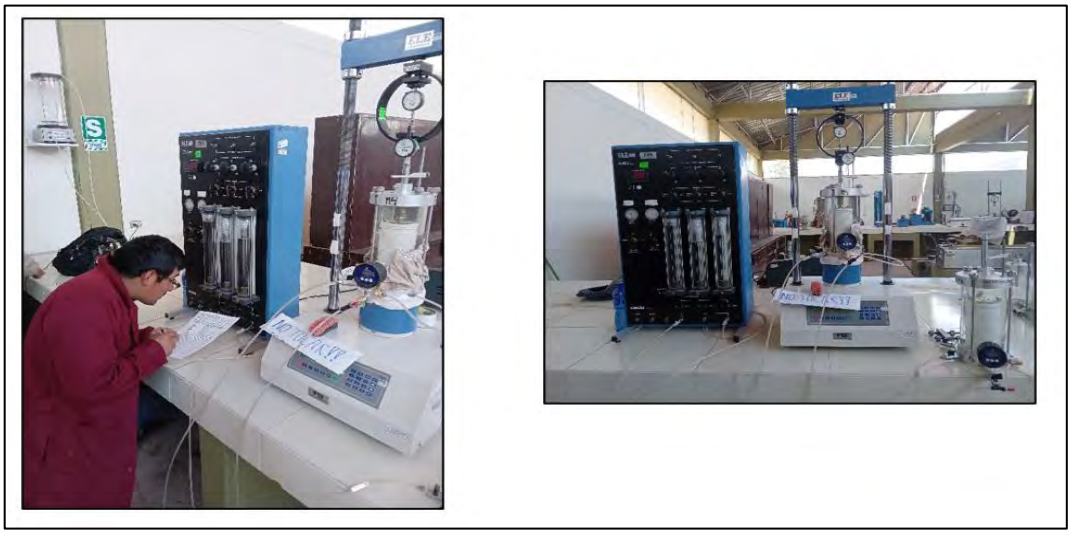


Figura C53

Corte de muestra cilíndrica M4



Figura C54

Desmontaje, peso y secado al horno de muestras cilíndricas M3 y M4



Figura C55

Pesos y Medidas de muestras M5 y M6 cilíndricas antes de montaje en cámaras

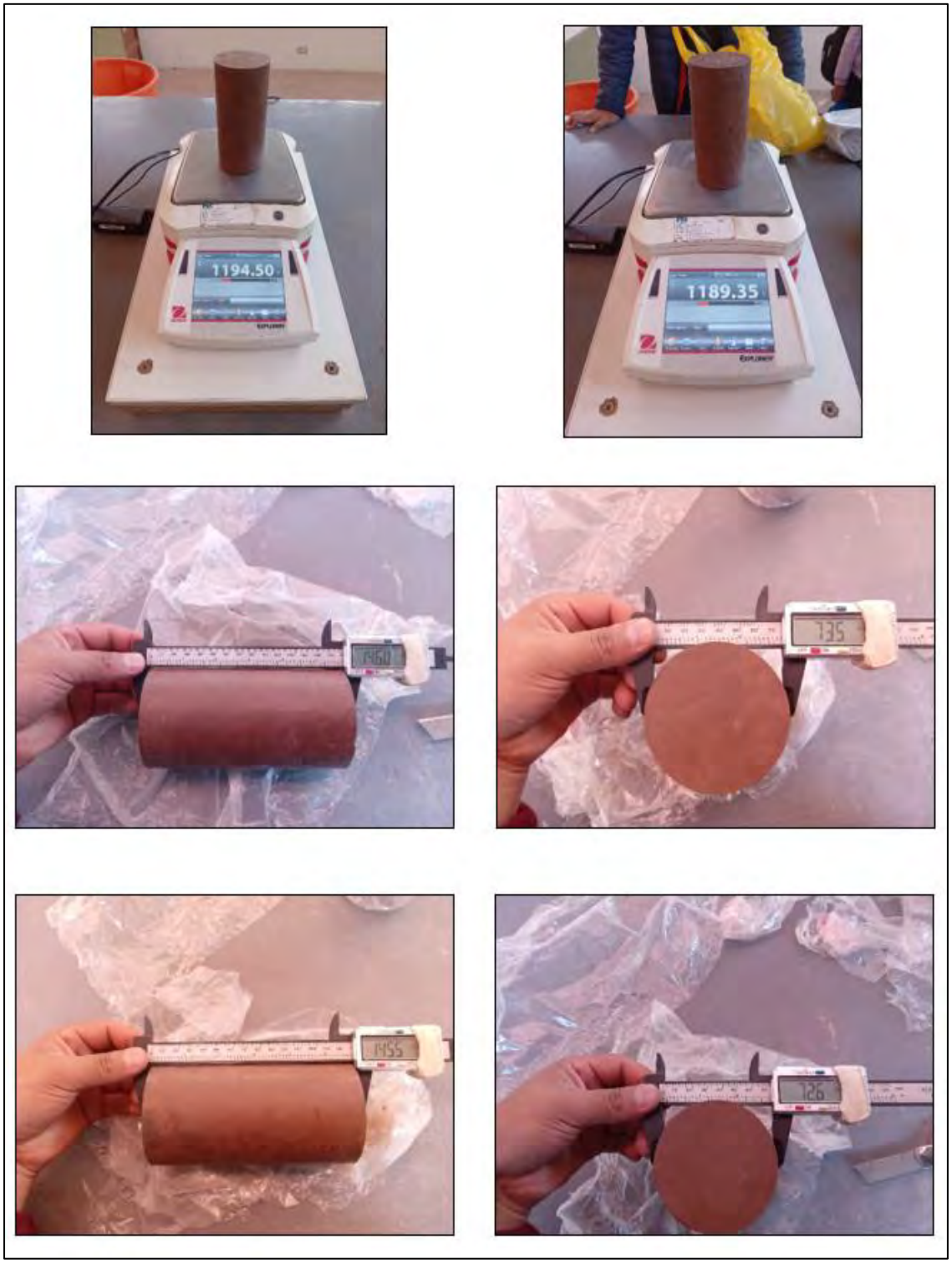


Figura C56

Montaje de muestras cilíndricas M5 y M6 en cámaras de confinamiento



Figura C57

Llenado de cámaras de confinamiento con agua desaireada y posicionamiento de M5 y M6

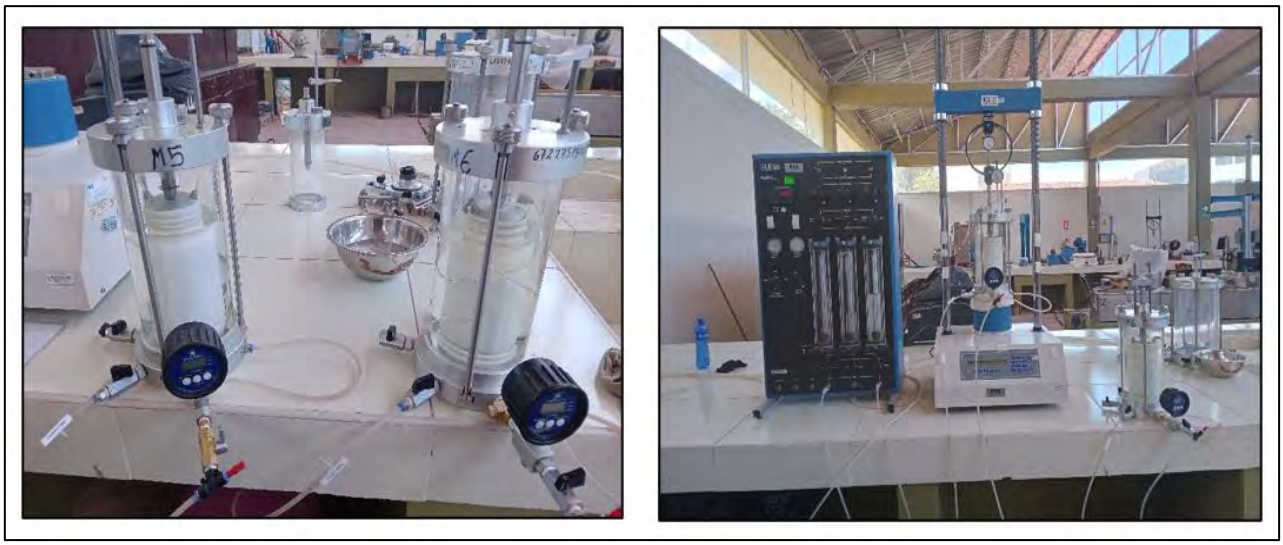


Figura C58

Colocación de Presión y Contrapresión para la SATURACION de las muestras cilíndricas M5 y M6 y cálculo del parámetro de Skempton



Figura C59

Consolidación de la Muestra Cilíndrica M5



Figura C60

Corte de muestra cilíndrica M5



Figura C61

Consolidación de la Muestra Cilíndrica M6



Figura C62

Corte de muestra cilíndrica M6



Figura C63

Desmontaje, peso y secado al horno de muestras cilíndricas M5 y M6



Figura C64

Fotografías con todas las seis muestras cilíndricas ensayadas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
Av. de la cultura Nro. 733 – Escuela Profesional de Ingeniería Civil

CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

HACE CONSTAR:

Que el tesista; conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. **ALEXANDER MEJIA SECA,** hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: **"IMPLEMENTACION DE MODELOS CONSTITUTIVOS PARA EL COMPORTAMINETO ELASTOPLASTICO EN ARCILLA MEDIANTE EL USO DE METODOS NUMERICOS EN EL DISTRITO DE SAN SEBASTIAN – CUSCO"**

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Determinar el contenido de humedad de un suelo.	NTP 339.127	03
02	Método de ensayo para el análisis granulométrico (Tamizado - Hidrómetro)	NTP 339.128	01
03	Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.	NTP 339.129	06
04	Determinar el peso específico relativo de las partículas de un suelo	NTP 339.131	02
05	Método de ensayo normalizado para propiedades de Consolidación Unidimensional de Suelos	NTP 339.154	01
06	Determinación de Peso Volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139	21
07	Determinación de parámetros de resistencia al corte mediante compresión triaxial CD	ASTM D7181 MTC E 131	06

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 05 de junio del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Jefe de Laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA SUELOS Y MATERIALES JEFATURA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	FACTORES	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL: ¿Cómo se aplicarían los modelos constitutivos para la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona - Cusco?	**OBJETIVO GENERAL:** Aplicar modelos constitutivos para simular el comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**HIPOTESIS GENERAL:** La aplicación de modelos constitutivos **influye** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**PARAMETROS DE MODELOS CONSTITUTIVOS (X)**	X1: Parámetros del modelo constitutivo de morh - coulomb	X11: Parámetros de Resistencia.
					X12: Parámetros de Elasticidad.
				X2: Parámetros del modelo constitutivo de cam – clay modificado	X21: Pendiente de Línea Critica (M)
					X22: Modulo de Poisson
					X23: Índice de Compresibilidad Cam Clay Modificad.
					X24: Relación de Vacíos Inicial.
				X3: Parámetros modelo constitutivo de hipoplasticidad	X31: Angulo de Fricción de Estado Crítico.
					X32: Índices de Compresibilidad Hipoplasticidad y Origen N
					X33: Parámetros de Relación *r*.
					X34: Parámetros de deformación Intergranular
				X4: Parámetros del modelo constitutivo de hardening soil	X41: Parámetros de Resistencia.
					X42: Parámetros de Rigidez.
					X43: Parámetros Avanzados.
			SIMULACION DE LA CURVA EXPERIMENTAL ESFUERZO – DEFORMACION (Y)	Y1: Simulación por el modelo constitutivo de morh - coulomb	Y11: Simulación del Comportamiento pre y post pico
				Y2 Simulación por el modelo constitutivo de cam – clay modificado	Y12: Simulación del esfuerzo máximo pico y residual.
				Y3: Simulación por el modelo constitutivo de hipoplasticidad	Y21: Simulación del Comportamiento pre y post pico)
				Y4: Simulación por el modelo constitutivo de hardening soil	Y22: Simulación del esfuerzo máximo pico y residual
PROBLEMA ESPECIFICO 1: ¿Cómo se aplicarían los parámetros de resistencia y elasticidad del modelo constitutivo Mohr Coulomb para la simulación del comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?	**OBJETIVO ESPECIFICO 1:** Aplicar parámetros de resistencia y de elasticidad del modelo constitutivo Mohr-Coulomb para la simulación del comportamiento esfuerzo – deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**HIPOTESIS ESPECIFICA 1:** La aplicación de los parámetros de resistencia y de elasticidad del modelo constitutivo Mohr-Coulomb **influyen** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**PARAMETROS DE MODELOS CONSTITUTIVOS (X)**	X1: Parámetros del modelo constitutivo de mohr coulomb	X11: Parámetros de Resistencia.
					X12: Parámetros de Elasticidad.
PROBLEMA ESPECIFICO 2: ¿Cómo se aplicarían los parámetros de elasticidad, línea de estado Crítico, índices de compresibilidad Cam Clay Modificado del modelo constitutivo Cam-Clay Modificado para la simulación del comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?	**OBJETIVO ESPECIFICO 2:** Aplicar parámetros de elasticidad, línea de estado Crítico, índices de compresibilidad Cam Clay Modificado del modelo constitutivo Cam-Clay Modificado para la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**HIPOTESIS ESPECIFICA 2:** La aplicación de parámetros de elasticidad, Línea de estado Crítico, índices de compresibilidad Cam Clay Modificado del modelo constitutivo Cam-Clay Modificado **influyen** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**PARAMETROS DE MODELOS CONSTITUTIVOS (X)**	X2: Parámetros del modelo constitutivo de cam clay modificado	X21: Pendiente de Línea Critica (M)
					X22: Modulo de Poisson
					X23: Índice de Compresibilidad Cam Clay Modificad.
					X24: Relación de Vacíos Inicial.
PROBLEMA ESPECIFICO 3: ¿Cómo se aplicarían los parámetros de carácter hipoplástico y deformación intergranular del modelo constitutivo de hipoplasticidad para la simulación del comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?	**OBJETIVO ESPECIFICO 3:** Aplicar parámetros de carácter hipoplástico y deformación intergranular del modelo constitutivo de hipoplasticidad para la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**HIPOTESIS ESPECIFICA 3:** La aplicación de los parámetros de carácter hipoplástico y deformación intergranular del modelo constitutivo de hipoplasticidad **influyen** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**PARAMETROS DE MODELOS CONSTITUTIVOS (X)**	X3: Parámetros del modelo constitutivo de hipoplasticidad	X31: Angulo de Fricción de Estado Crítico.
					X32: Índices de Compresibilidad Hipoplasticidad y Origen N
					X33: Parámetros de Relación *r*.
					X34: Parámetros de deformación Intergranular
PROBLEMA ESPECIFICO 4: ¿Cómo se aplicaría los parámetros de resistencia, rigidez y avanzados del modelo constitutivo Hardening Soil para la simulación del comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?	**OBJETIVO ESPECIFICO 4:** Aplicar parámetros de resistencia, rigidez y avanzados del modelo constitutivo Hardening Soil en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**HIPOTESIS ESPECIFICA 4:** La aplicación de los parámetros de resistencia, rigidez y avanzados del modelo constitutivo Hardening Soil **influyen** en la simulación del comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**PARAMETROS DE MODELOS CONSTITUTIVOS (X)**	X4: Parámetros del modelo constitutivo de hardening soil	X41: Parámetros de Resistencia.
					X42: Parámetros de Rigidez.
					X43: Parámetros Avanzados.
PROBLEMA ESPECIFICO 5: ¿Cuál de los modelos constitutivos aplicados simula mejor el comportamiento esfuerzo-deformación del estrato de arcilla inferior del talud perteneciente a una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco?	**OBJETIVO ESPECIFICO 5:** Concluir cuál de los modelos constitutivos aplicados simula mejor el comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**HIPOTESIS ESPECIFICA 5:** Los modelos constitutivos de hipoplasticidad y Hardening Soil **simulan** mejor el comportamiento esfuerzo - deformación del estrato de arcilla inferior del talud de una cantera especifica ubicada en la APV Villa Orccona – Cusco.	**SIMULACION DE LA CURVA EXPERIMENTAL ESFUERZO DEFORMACION (Y)**	Y: Simulación por medio de los modelos constitutivos	Y11: Simulación del Comportamiento pre y post pico
					Y12: Simulación del esfuerzo máximo pico y residual.
					Y21: Simulación del Comportamiento pre y post pico)
					Y22: Simulación del esfuerzo máximo pico y residual