

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN SUELOS FINOS
INCORPORANDO PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO A NIVEL DE
SUBRASANTE, CUSCO - 2025**

PRESENTADO POR:

BR. ANTONIO NICODEMO CHOQUE PAZ
BR. DANNY HASMANY CUSIHUAMAN
MIRANDA

**PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

DR. ING. ADÁN WILBERT SOLORZANO
MONTESINOS

CUSCO – PERÚ

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** DR. ING. ADÁN WILBERT SOLÓRZANO MONTESINOS

..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN
SUELOS FINOS INCORPORANDO PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO A
NIVEL DE SUBRASANTE, CUSCO-2025

Presentado por: ANTONIO NICOLÉMO CHOQUE PAZ DNI N° 47339717

Presentado por: DANNY HASMANY CUSHUAMAN MIRANDA DNI N° 44173380

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 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 3 %.

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 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 paginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 17 de ENERO de 2026


Firma

Post firma Dr. Ing. ADÁN WILBERT SOLÓRZANO MONTESINOS

Nro. De DNI 23857089

ORCID del Asesor 0000-0001-7072-618X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:546989409

Antonio y Danny Choque y Cusihuaman

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN SUELOS FINOS INCORPORANDO PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLAD...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:546989409

Fecha de entrega

17 ene 2026, 10:59 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

17 ene 2026, 11:07 a.m. GMT-6

Nombre del archivo

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN SUELOS FINOS INCORPORANDO PAVIMENTO ASF....pdf

Tamaño del archivo

20.7 MB

297 páginas

73.740 palabras

336.832 caracteres




3% Similitud general

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

Filtrado desde el informe



- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
51 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
2907 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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 mis padres por haberme dado la vida, en especial para mi mamá, por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por ser mi mayor ejemplo de perseverancia.

Gracias por apoyarme en cada paso y por creer en mí.

A mi familia por acompañarme en este camino con cariño, paciencia y palabras de aliento. Cada uno de ustedes ha contribuido a que hoy pueda alcanzar esta meta.

A mi novia, por su comprensión, apoyo y confianza. Gracias por inspirarme a ser mejor cada día. Este logro lo comparto contigo con todo mi corazón.

Al señor de Qoyllorrit'i Por brindarme fortaleza espiritual en los momentos de mayor desafío y por acompañar cada una de mis decisiones. Su protección y guía han sido un sostén fundamental en este proceso.

Antonio Nicodemo Choque Paz

A mis queridos padres, Tomás y Teresa, que ya descansan en paz, pero viven eternamente en mi corazón. Su amor, sus enseñanzas y su ejemplo siguen vivos en mí los cuales fueron el motor que me impulsó a no rendirme. Esta tesis es un homenaje a su memoria y cada logro alcanzado lleva sus nombres.

A mis hermanos, por su compañía, por estar presentes en los momentos más importantes y por ser mi fuerza cuando más lo necesitaba. Su apoyo constante ha sido fundamental para cumplir esta meta.

Danny Hasmany Cusihuaman Miranda

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por ser la casa superior de estudios que nos formó académica y humanamente, brindándonos las bases científicas, éticas y profesionales necesarias para afrontar los retos de la ingeniería al servicio de la sociedad.

A la Facultad de Ingeniería Civil, por su compromiso permanente con la formación integral de profesionales competentes, críticos y responsables, y por proporcionar los espacios, recursos y conocimientos que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por su valiosa enseñanza, orientación y vocación académica, que contribuyeron de manera decisiva a nuestra formación profesional. De manera especial, expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestro asesor, Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos, por su guía constante, dedicación, rigurosidad técnica y apoyo académico durante todo el proceso de elaboración de la presente investigación.

Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a los docentes dictaminantes, Dr. Ing. Jose Felipe Marin Loayza y Mgt. Ing. Juan Pablo Escobar Masias, por sus aportes, observaciones y recomendaciones, las cuales permitieron fortalecer y mejorar la calidad académica de este trabajo.

Los tesistas.

RESUMEN

En este estudio se propone examinar las características estructurales de terrenos de grano fino reforzados con pavimento asfáltico reciclado (RAP) a nivel de subrasante; la investigación nace de la exigencia de optimizar el soporte de carga y la respuesta estructural de suelos de escasa resistencia; para lograrlo, se añadieron distintos porcentajes de RAP al terreno original; a través de ensayos de laboratorio y siguiendo la reglamentación técnica actual, se midieron variables mecánicas como el índice CBR, la resistencia a la compresión no confinada, el módulo de Poisson y el módulo resiliente.

El estudio se llevó a cabo con un esquema experimental transversal y una perspectiva cuantitativa; esto posibilitó la valoración, en un único momento, del impacto que la adición de RAP tiene sobre las características estructurales de los terrenos de grano fino; de este modo, se ajustaron proporciones concretas del material reutilizado y se cuantificaron los cambios consecuentes.

Los resultados obtenidos permitieron comparar el comportamiento del suelo mejorado respecto al suelo natural, evidenciando que la incorporación de RAP incrementa la rigidez, la capacidad de soporte y la durabilidad de la subrasante, contribuyendo a un mejor diseño estructural del pavimento. Esta investigación contribuye a la sostenibilidad del sector vial mediante la valoración de residuos asfálticos y el uso eficiente de recursos locales. El análisis experimental demostró que el contenido óptimo de material reciclado corresponde al 20% de RAP.

Se concluye que la incorporación de pavimento asfáltico reciclado produce una mejora en el comportamiento mecánico de los suelos evaluados.

Palabras clave: Subrasante, Suelo fino, Pavimento Asfáltico Reciclado, Módulo resiliente.

ABSTRACT

In this study, the structural characteristics of fine-grained soils reinforced with reclaimed asphalt pavement (RAP) at the subgrade level are examined. The research arises from the need to improve the load-bearing capacity and structural performance of low-strength soils. To achieve this, different percentages of RAP were added to the natural soil. Through laboratory testing and in accordance with current technical standards, mechanical variables such as the CBR index, unconfined compressive strength, Poisson's ratio, and the resilient modulus were measured.

The study was conducted under a cross-sectional experimental design with a quantitative approach, which made it possible to assess, at a single point in time, the impact of RAP incorporation on the structural behavior of fine-grained soils. Specific proportions of recycled material were adjusted, and the resulting changes were quantified.

The results allowed for a comparison between the improved soil and the natural soil, showing that the incorporation of RAP increases the stiffness, load-bearing capacity, and durability of the subgrade, thus contributing to a more efficient structural pavement design. This research supports sustainability in the road sector by valorizing asphalt waste and promoting the efficient use of local resources. Experimental analysis demonstrated that the optimal recycled material content corresponds to 20% RAP.

It is concluded that the incorporation of reclaimed asphalt pavement improves the mechanical behavior of the evaluated soils.

Keywords: Subgrade, Fine-grained soil, Reclaimed Asphalt Pavement, Resilient modulus.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Formulación de problemas	5
1.2.1. Problema General	5
1.2.2. Problemas Específicos	5
1.3. Justificación de la investigación.....	5
1.3.1. Conveniencia	5
1.3.2. Relevancia social	6
1.3.3. Implicancias prácticas.....	6
1.3.4. Valor teórico	6
1.3.5. Utilidad metodológica.....	7
1.4. Objetivos de la investigación	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
1.5. Delimitación de la zona de estudio.....	8
1.5.1. Delimitación espacial.....	8
1.5.2. Delimitación temporal	8
CAPITULO II: MARCO TEORICO	9
2.1. Antecedentes	9
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2. Antecedentes nacionales	10
2.1.3. Antecedentes locales.....	12
2.2. Bases Teóricas.....	13
2.2.1. Suelos.....	13
2.2.2. Propiedades físicas del suelo	13

2.2.3.	Clasificación de suelos.....	17
2.2.4.	Propiedades mecánicas del suelo	23
2.2.5.	Estabilización de suelos	36
2.2.6.	Pavimento Asfáltico Reciclado.....	38
2.2.7.	Pavimento	40
2.2.8.	Diseño de pavimento flexible	42
2.2.9.	Normatividad	51
2.3.	Formulación de hipótesis.....	52
2.3.1.	Hipótesis general.....	52
2.3.2.	Hipótesis específicas.....	52
2.4.	Variables de estudio	53
2.4.1.	Variable independiente	53
2.4.2.	Operacionalización de variables	55
2.5.	Definición de términos básicos	56
2.5.1.	Pavimento Asfáltico Reciclado.....	56
2.5.2.	Capacidad de Soporte	56
2.5.3.	Compresión no confinada	56
2.5.4.	Módulo de Poisson.....	56
2.5.5.	Módulo Resiliente.....	57
2.5.6.	Subrasante	57
2.5.7.	Estabilización de suelos	57
2.5.8.	Tipo de suelo.....	57
2.5.9.	Suelo fino.....	58
2.5.10.	Grado de compactación	58
CAPITULO III: MÉTODO		59
3.1.	Alcance del Estudio.....	59
3.1.1.	Enfoque de investigación.....	59
3.1.2.	Nivel de investigación	59
3.2.	Diseño de la investigación.....	60
3.3.	Población	60
3.4.	Muestra	60

3.4.1.	Tamaño de muestra.....	60
3.4.2.	Método de muestreo.....	61
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	61
3.5.1.	Técnicas	61
3.5.2.	Instrumentos.....	61
3.5.3.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	61
3.6.	Plan de análisis de datos.....	62
3.7.	Recolección de datos	64
3.7.1.	Proceso de recolección de datos	64
3.7.2.	Ubicación de toma de muestras	64
3.7.3.	Descripción del tramo de investigación.....	65
3.7.4.	Elaboración de calicatas y extracción de muestras	67
3.8.	Ensayos de laboratorio	76
3.8.1.	Análisis granulométrico por tamizado.....	77
3.8.2.	Contenido de humedad	79
3.8.3.	Limite liquido	80
3.8.4.	Límite Plástico e Índice de Plasticidad	81
3.8.5.	Proctor Modificado Ensayo de compactación	82
3.8.6.	Ensayo de CBR.....	84
3.8.7.	Ensayo de Compresión no confinada.....	86
3.8.8.	Ensayo del Módulo de Poisson.....	87
3.8.9.	Ensayo del Módulo Resiliente.	88
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		91
4.1.	Resultado de Granulometría por tamizado	91
4.2.	Resultado de Limite de consistencia	94
4.3.	Resultados de clasificación de suelos por calicata	96
4.4.	Resultados de contenido de humedad	97
4.5.	Resultados del Ensayo de compactación.....	98
4.6.	Resultados del Ensayo de CBR.....	99
4.7.	Resultado de Ensayo de Compresión no Confinada	101
4.8.	Resultado de Ensayo del Módulo de Poisson.....	102

4.9.	Resultado de Ensayo del Módulo Resiliente	103
4.10.	Diseño de pavimento flexible.....	109
4.10.1.	Diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93	109
4.10.2.	Cálculos y resultados para el diseño de pavimento flexible	111
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		116
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES		119
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....		122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		124
ANEXOS		127
Anexo A: MATRIZ DE CONSISTENCIA		128
Anexo B: Análisis granulométrico		129
Anexo C: Carta de Plasticidad para determinar la clasificación de suelos según SUCS.....		144
Anexo D: Contenido de humedad natural de las calicatas.....		148
Anexo E: Limite liquido		156
Anexo F: Limite plástico		160
Anexo G: Compactación mediante Proctor Modificado.....		164
Anexo H: Capacidad de Soporte CBR.....		169
Anexo I: Compresión no confinada		184
Anexo J: Módulo de Poisson		194
Anexo K: Módulo Resiliente		199
Anexo L: Panel fotográfico.....		269

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1 Número de tamices y abertura	14
Cuadro N° 2 Plasticidad de los suelos	16
Cuadro N° 3 Clasificación de suelos según tamaño de partículas	17
Cuadro N° 4 Clasificación de suelos de acuerdo al IG	19
Cuadro N° 5 Correlación entre AASHTO SUCS para clasificación de suelo	20
Cuadro N° 6 Sistema de Clasificación de suelos	22
Cuadro N° 7 Clasificación de Suelos Según La ASTM	23
Cuadro N° 8 Especificaciones de la prueba de Proctor modificado	25
Cuadro N° 9 Especificaciones de la prueba de Proctor estándar	25
Cuadro N° 10 Categoría de subrasante según CBR	27
Cuadro N° 11 Características del patrón de muestra	27
Cuadro N° 12 Rangos del imódulo de Poisson	28
Cuadro N° 13 Relación de Poisson de materiales de Carreteras	28
Cuadro N° 14 Relación de consistencia de suelo y esfuerzo de compresión	29
Cuadro N° 15 Secuencia de pruebas para subrasante	33
Cuadro N° 16 Módulo de elasticidad de la estructura del pavimento	35
Cuadro N° 17 Correlación para determinar el Módulo Resiliente (MPa) en función del CBR (%)	36
Cuadro N° 18 Número de ejes equivalentes	43
Cuadro N° 19 Valores sugeridos de Nivel de Confiabilidad para diseños realizados en una sola etapa (10 o 20 años), establecidos en función del rango de tránsito	44
Cuadro N° 20 Coeficiente Estadístico de la Desviación Normal Estándar (ZR) Aplicable a diseños realizados en una sola etapa (10 o 20 años), definido en función del Nivel de Confiabilidad seleccionado y del rango de tránsito considerado	45
Cuadro N° 21 Valores del índice de serviciabilidad inicial PI	46
Cuadro N° 22 Valores del índice de serviciabilidad final o terminal Pt	46
Cuadro N° 23 Coeficiente estructurales a_i de las capas del pavimento	48
Cuadro N° 24 Calidad de drenaje	50
Cuadro N° 25 Valores para m_i del coeficiente de drenaje de base y subbase granulares no tratadas	50

Cuadro N° 26 Ubicación de las calicatas.....	75
Cuadro N° 27 Normativas utilizadas en la investigación	76
Cuadro N° 28 Cantidad total de ensayos realizados de las propiedades físicas	77
Cuadro N° 29 Cantidad total de ensayos realizados de las propiedades mecánicas.....	77
Cuadro N° 30 Coeficientes estructurales de las capas de pavimento	110

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama N° 1 Flujograma general del desarrollo de la investigación	62
Diagrama N° 2 Recolección de datos	64

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1 Ranura de la muestra para el Límite Líquido.....	15
Figura N°2 Carta de Plasticidad.....	20
Figura N°3 Clasificación del suelo según SUCS.....	21
Figura N°4 Esfuerzos provocados por el paso de un vehículo en movimiento en la subrasante..	31
Figura N°5 Tensiones bajo cargas repetidas	32
Figura N°6 Pulso de carga tipo Haversine.....	33
Figura N°7 Elementos estructurales del pavimento flexible.....	41
Figura N°8 Espesores de la estructura del pavimento flexible	49
Figura N°9 Mapa geográfica del distrito Ccatcca.....	64
Figura N°10 Ubicación de las calicatas en el tramo de estudio.....	65
Figura N°11 Zona geológica de la zona de estudio distrito Ccatcca	67
Figura N°12 Resumen del análisis granulométrico de las calicatas C-01 a la C-05.....	92
Figura N°13 Resumen del análisis granulométrico de las calicatas C-06 a la C-10.....	92
Figura N°14 Límite Líquido de las calicatas	95
Figura N°15 Límite Plástico de las calicatas	95
Figura N°16 Índice de Plasticidad de las calicatas	95
Figura N°17 Contenido de humedad natural	97
Figura N°18 Resultado del contenido de humedad natural	98
Figura N°19 Densidad seca máxima de suelo + Pavimento Asfáltico Reciclado	99
Figura N°20 CBR para 0.1"	100
Figura N°21 Resultados de la Expansión	101

Figura N°22 Presión atmosférica anual, según departamento.	103
Figura N°23 Constantes de regresión para suelo natural	104
Figura N°24 Constantes de regresión para suelo + 15% de RAP	104
Figura N°25 Constantes de regresión para suelo + 20% de RAP	104
Figura N°26 Constantes de regresión para suelo + 25% de RAP	105
Figura N°27 Constantes de regresión para suelo + 30% de RAP	105
Figura N°28 Variación del Módulo Resiliente con incorporación de RAP	107
Figura N°29 Dimensiones estructurales del pavimento flexible suelo + 15% de RAP	111
Figura N°30 Dimensiones estructurales del pavimento flexible suelo + 20% de RAP	112
Figura N°31 Dimensiones estructurales del pavimento flexible suelo + 25% de RAP	113
Figura N°32 Dimensiones estructurales del pavimento flexible suelo + 30% de RAP	114

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N°1 Material RAP desechado en la vía Cusco - Urcos	40
Fotografía N°2 Primer tramo de la zona de estudio.....	66
Fotografía N°3 Segundo tramo de la zona de estudio.....	66
Fotografía N°4 Calicata C-01 Excavación, extracción y estratigrafía.....	68
Fotografía N°5 Calicata C-02 Excavación, extracción y estratigrafía.....	69
Fotografía N°6 Calicata C-03 Excavación, extracción y estratigrafía.....	70
Fotografía N°7 Calicata C-04 Excavación, extracción y estratigrafía.....	70
Fotografía N°8 Calicata C-05 Excavación, extracción y estratigrafía.....	71
Fotografía N°9 Calicata C-06 Excavación, extracción y estratigrafía.....	72
Fotografía N°10 Calicata C-07 Excavación, extracción y estratigrafía.....	72
Fotografía N°11 Calicata C-08 Excavación, extracción y estratigrafía.....	73
Fotografía N°12 Calicata C-09 Excavación, extracción y estratigrafía.....	74
Fotografía N°13 Calicata C-10 Excavación, extracción y estratigrafía.....	74
Fotografía N°14 Lavado de material y tamizado de la muestra.....	78
Fotografía N°15 Análisis granulométrico del RAP	79
Fotografía N°16 Se muestra las capsulas con material para el secado en horno.	80
Fotografía N°17 Ensayo del Límite Líquido	81
Fotografía N°18 Ensayo del Límite Plástico	82

Fotografía N°19 Ensayo de compactación Proctor Modificado	83
Fotografía N°20 Ensayo de CBR.....	85
Fotografía N°21 Ensayo de Penetración	86
Fotografía N°22 Ensayo de Compresión no Confinada.....	87
Fotografía N°23 Ensayo del módulo de Poisson	88
Fotografía N°24 Ensayo del módulo Resiliente	90

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1 Resultados del análisis granulométrico de las calicatas de C-01 a C-05.....	91
Tabla N° 2 Resultados del análisis granulométrico de las calicatas de C-06 a C-10.....	91
Tabla N° 3 Porcentajes de fracciones granulométricas.....	93
Tabla N° 4 Granulometría del Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP).....	94
Tabla N° 5 Límites de Atterberg (Límites de Consistencia).....	94
Tabla N° 6 Clasificación SUCS AAHSTO de suelos.....	96
Tabla N° 7 Resumen del Contenido de Humedad de las calicatas	97
Tabla N° 8 Resultados del ensayo Proctor Modificado	98
Tabla N° 9 CBR para 0.1".....	99
Tabla N° 10 Porcentaje de Expansión	100
Tabla N° 11 Resultados del ensayo de Compresión no confinada	101
Tabla N° 12 Resultados del ensayo del Módulo de Poisson.....	102
Tabla N° 13 Resumen de los resultados de las constantes de la ecuación constitutiva	103
Tabla N° 14 Resumen de los esfuerzos principales	106
Tabla N° 15 Módulo Resiliente mediante la ecuación constitutiva	106
Tabla N° 16 Resumen de Módulo Resiliente para cada muestra	106
Tabla N° 17 Correlaciones entre el CBR y el Módulo Resiliente	108
Tabla N° 18 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 15% RAP	111
Tabla N° 19 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 20% RAP	112
Tabla N° 20 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 25% RAP	113
Tabla N° 21 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 30% RAP	114
Tabla N° 22 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 20% RAP con Módulo Resiliente mediante la ecuación de Powell.....	115

Tabla N° 23 Resumen de los espesores según diseño de pavimentos	115
---	-----

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación (1) Porcentaje que pasa la malla N°200	14
Ecuación (2) Porcentaje retenido	14
Ecuación (3) Porcentaje que pasa	14
Ecuación (4) Contenido de humedad.....	15
Ecuación (5) Límite Plástico.....	16
Ecuación (6) Índice de plasticidad	16
Ecuación (7) Índice de grupo.....	19
Ecuación (8) Densidad seca	26
Ecuación (9) CBR.....	27
Ecuación (10) Porcentaje de Expansión	28
Ecuación (11) Módulo de Poisson	29
Ecuación (12) Deformación unitaria axial.....	29
Ecuación (13) Sección transversal promedio	30
Ecuación (14) Esfuerzo.....	30
Ecuación (15) Módulo Resiliente	32
Ecuación (16) Ecuación Constitutiva del MR	34
Ecuación (17) Ecuación para el diseño estructural del pavimento flexible	42
Ecuación (18) Ecuación del número estructural propuesto del pavimento.....	47

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Alarcón y Jiménez (2020) señalan que, en numerosos proyectos viales, no siempre se cuenta con suelos naturales que ofrezcan las condiciones adecuadas para garantizar la estabilidad y vida útil en la estructura del pavimento. Cuando el terreno no presenta las características requeridas, suele recurrirse al uso de materiales de préstamo provenientes de canteras cercanas. En este contexto, surge la necesidad de aplicar técnicas de mejoramiento, entre las cuales destaca la estabilización de suelos mediante agentes como asfalto, cemento, cal o productos derivados del petróleo, que permiten optimizar las propiedades ingenieriles del terreno y adecuarlo para su empleo en las distintas capas del pavimento.

De acuerdo con Montejo (2018) la estabilización tiene como finalidad transformar un suelo de bajo desempeño en un material más resistente y estable para fines constructivos. Este proceso contribuye a mejorar: la resistencia, comportamiento del volumen del suelo, capacidad de deformación y elevar su durabilidad. La elección del estabilizante depende de los objetivos del proyecto y de las características propias del terreno. Para asegurar la efectividad de la técnica, es indispensable realizar ensayos de laboratorio complementados con pruebas en campo. Además, un suelo adecuadamente estabilizado permite reducir los espesores de las capas estructurales, proporcionando un mejor soporte para la infraestructura vial.

Dentro de este contexto, el propósito consiste en analizar y definir las propiedades mecánicas de terrenos de grano fino reforzados con asfalto reciclado funcionando como base de la estructura vial; por consiguiente, se busca optimizar el rendimiento estructural de las vías que enfrentan tanto las presiones del tráfico rodado como los factores climáticos desfavorables; además, este enfoque permitirá determinar la viabilidad técnica de emplear materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viales más sostenibles y resistentes.

Como aplicación complementaria de los resultados obtenidos, se plantea el desarrollo de un diseño estructural de pavimento flexible mediante el método AASHTO 93, con el fin de analizar el desempeño estructural del suelo con RAP en la subrasante. Esta aplicación permitirá ilustrar de manera práctica la influencia del refuerzo con RAP en los parámetros de diseño.

La investigación se desarrolló de acuerdo a siguiente Distribución y contenido de los capítulos.

CAPITULO I. Se desarrolla el planteamiento del problema, justificación y objetivos.

CAPITULO II. Se describe: antecedentes, bases teóricas, formulación de hipótesis y variables de estudio.

CAPITULO III. Dentro de este capítulo se desarrolla la metodología, población, muestra, técnicas e instrumentos, recolección de datos y ensayos de laboratorio.

CAPITULO IV. En este capítulo se realiza el análisis, interpretación y discusión de resultados. Además, se desarrolla el diseño de pavimento flexible.

CAPITULO V y CAPITULO VI. Dentro de estos capítulos se desarrolla las conclusiones y recomendaciones.

1.1. Planteamiento del problema

Según los datos estadísticos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), consignados en el Clasificador de Rutas aprobado mediante el D.S. N.º 011-2016-MTC y actualizados al 31 de junio de 2025, el Perú dispone de una red vial total de 176 936,3 km. De esta extensión, 34 520,3 km, equivalentes al 19,51 %, corresponden a vías pavimentadas, mientras que 142 416,0 km (80,49 %) se encuentran a nivel de afirmado o subrasante. En el ámbito regional, el departamento del Cusco presenta una red vial de 17 779,1 km, de los cuales 2 878,7 km (16,19 %) corresponden a vías pavimentadas y 14 900,4 km (83,81 %) a vías no pavimentadas.

Según Llano y Rios (2020), el estado presente de las vías peruanas a nivel de afirmado se ve condicionado por factores ambientales; la diversa geomorfología, los climas variados y el tráfico vehicular en Perú intensifican el deterioro de las carreteras, puesto que los pavimentos funcionan en condiciones extremas; esta situación se manifiesta a través de la existencia de terrenos colapsables, expansivos, suelos afirmados y trochas en mal estado, entre otros problemas; Se ha destacado que la problemática de la infraestructura vial en el país comprende la histórica insuficiencia de recursos económicos, el abandono de áreas de extrema pobreza debido a la falta de conexiones y la necesidad de interconectar integralmente al país para desarrollar tanto el mercado interno como el externo; además, históricamente se ha dado prioridad a la ejecución de nuevas pavimentaciones sobre la conservación de vías existentes, lo cual se observa intensificado a causa de falta de apoyo para proyectos de mantenimiento y la deficiencia de sistemas efectivos de gestión vial.

En múltiples proyectos viales, particularmente en áreas rurales y de conexión interurbana, uno de los componentes fundamentales para asegurar la resistencia estructural y la durabilidad del pavimento es la subrasante; no obstante, en gran parte del distrito de Ccatcca, específicamente

entre las localidades de Illapata y Lloqueta, los suelos que conforman la subrasante están integrados mayoritariamente por materiales finos de composición arcillosa y limosa; además, estos suelos se distinguen por su considerable deformabilidad, su marcada vulnerabilidad a la humedad, su precaria resistencia portante y un comportamiento mecánico inadecuado ante las cargas cíclicas del tráfico vehicular.

Estas condiciones generan asentamientos, deformaciones permanentes, pérdida de capacidad estructural y fallas superficiales recurrentes en la plataforma vial, agravadas por la presencia de precipitaciones pluviales que incrementan la saturación del suelo, disminuyendo aún más el módulo resiliente (MR) y el índice CBR. Debido a ello, la vía interurbana presenta un deterioro progresivo que afecta la transitabilidad, la seguridad y la conectividad de los pobladores de la zona.

Ante esta problemática, surge la necesidad de emplear técnicas de estabilización que mejoren el desempeño mecánico de los suelos finos, siendo el pavimento asfáltico reciclado (RAP) una alternativa de interés por su capacidad de incrementar la rigidez, reducir la humedad susceptible y mejorar las propiedades ingenieriles de la subrasante.

Sin embargo, en la zona de estudio no se cuenta con investigaciones suficientes que analicen de manera cuantitativa cómo varían propiedades clave como el módulo resiliente, el módulo de Poisson y la capacidad de soporte al incorporar diferentes porcentajes de RAP en suelos finos locales. La falta de esta información limita la toma de decisiones técnicas confiables para el diseño y rehabilitación de carreteras en zonas con características geotécnicas similares.

En consecuencia, la interrogante central consiste en evaluar en qué medida la adición de pavimento asfáltico reciclado mejora las propiedades mecánicas de los suelos finos a nivel de

la subrasante; esto con el propósito de formular alternativas firmes y perdurables para el proyecto de pavimentación en el área de estudio.

1.2. Formulación de problemas

1.2.1. Problema General

PG: ¿Cómo varía las propiedades mecánicas de los suelos finos con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado (RAP) a nivel de subrasante, Cusco - 2025?

1.2.2. Problemas Específicos

- PE1: ¿Qué influencia tiene la incorporación de Pavimento Asfáltico Reciclado en la capacidad de soporte de suelos finos a nivel de subrasante, Cusco - 2025?
- PE2: ¿Qué cambios presenta la resistencia a la compresión no confinada en suelos finos incorporando diferentes porcentajes de Pavimento Asfáltico Reciclado a nivel de subrasante, Cusco - 2025?
- PE3: ¿Cómo se comporta el Módulo de Poisson en suelos finos incorporando Pavimento Asfáltico Reciclado a nivel de subrasante, Cusco - 2025?
- PE4: ¿Cómo varía el Módulo Resiliente en suelos finos con la incorporación de Pavimento Asfáltico Reciclado a nivel de subrasante y cómo influye dicha variación en el diseño de un pavimento flexible, Cusco - 2025?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Conveniencia

La investigación tiene un aporte técnico de importancia de evaluar propiedades mecánicas de suelos finos, donde se propone como agente estabilizante al pavimento asfáltico reciclado el cual será incorporado en un suelo fino a fin de realizar las verificaciones mecánicas del nuevo

componente, de esta manera se podrá aprovechar un recurso desechable y contaminante como un medio de solución alternativo para mejorar las condiciones de estabilidad de la subrasante. Bajo estas circunstancias, se plantea que los suelos estabilizados con RAP excedan el valor mínimo de CBR de 6 % requerido por las normas peruanas para subrasantes, garantizando una resistencia suficiente ante las cargas del tránsito vehicular.

1.3.2. Relevancia social

Desde la perspectiva social, el estudio beneficiará directamente a los habitantes de la ruta interurbana que conecta las comunidades de Illapata y Lloqueta; estas localidades se encuentran ubicadas en el distrito de Ccatcca, perteneciente a la provincia de Quispicanchi en el departamento de Cusco; por lo tanto, la investigación tiene un impacto directo en la calidad de vida de los residentes de esta región andina.

1.3.3. Implicancias prácticas

El desarrollo de la investigación, desde una perspectiva técnica, se realizará mediante técnicas de mejoramiento para suelos finos incorporando Pavimento asfáltico reciclado; la finalidad es la optimización de su comportamiento mecánico; la fundamentación del estudio se apoyará en el cumplimiento de las normativas nacionales vigentes y en la aplicación de protocolos de laboratorio de mecánica de suelos; con ello se busca garantizar la validez, consistencia y confiabilidad de los resultados obtenidos.

1.3.4. Valor teórico

Desde el punto de vista teórico, la investigación aporta conocimiento experimental sobre el comportamiento mecánico de suelos finos estabilizados con pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante, evaluando variables que no suelen analizarse de forma conjunta en estudios similares, como el módulo resiliente y el del índice CBR, además el módulo de Poisson.

Asimismo, el estudio contribuye a establecer relaciones cuantitativas entre el contenido de RAP y la mejora de las propiedades mecánicas del suelo, generando información técnica que complementa y refuerza los modelos teóricos existentes para el análisis estructural de pavimentos.

1.3.5. Utilidad metodológica

La justificación metodológica de la investigación se fundamenta en la realización de ensayos experimentales; estos tienen como propósito la determinación de las propiedades mecánicas del suelo fino con la adición de pavimento asfáltico reciclado, buscando así la mejora de la subrasante.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

OG: Analizar las propiedades mecánicas de suelos finos incorporando pavimento asfáltico reciclado (RAP) a nivel de subrasante, Cusco – 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

OE1: Determinar la influencia de la incorporación de RAP en la capacidad de soporte (CBR) en suelos finos a nivel de subrasante, Cusco – 2025.

OE2: Evaluar la resistencia a la compresión no confinada del suelo con diferentes porcentajes de RAP a nivel de subrasante, Cusco – 2025.

OE3: Analizar el módulo de Poisson en suelos finos incorporando RAP a nivel de subrasante, Cusco – 2025.

OE4: Evaluar el módulo resiliente en suelos finos incorporando RAP a nivel de subrasante y aplicar los resultados en el diseño de un pavimento flexible, Cusco – 2025.

1.5.Delimitación de la zona de estudio

1.5.1. Delimitación espacial

El estudio se circunscribe espacialmente al segmento que conecta la comunidad de Illapata con la comunidad de Lloqueta; este tramo forma parte de la vía interurbana ubicada en el distrito de Ccatcca, perteneciente a la provincia de Quispicanchi en el departamento de Cusco; además, corresponde a una carretera con escaso flujo vehicular cuya extensión total alcanza aproximadamente 5+000 km.

1.5.2. Delimitación temporal

Desarrollo se llevará a cabo durante la segunda mitad del año 2025; es decir, en el lapso comprendido entre julio y diciembre.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Parra Merino (2024), en su investigación titulada Estabilización del suelo empleando el reciclaje de pavimento en la vía de tercer orden Alao – Pungalá, definió como objetivo general la determinación de la opción más favorable desde las perspectivas mecánica, de disponibilidad y de costos; esto se hizo comparando dos alternativas de estabilización, cemento o cal contra asfalto reciclado, en un tramo específico de dicha vía; la población para el estudio se conformó a partir de la extracción de cuatro variedades de muestras de suelo (arena G.A, arena café, arena negra y arena Agg) en el cantón Riobamba; el alcance de la investigación fue de tipo experimental y descriptivo. En cuanto a los resultados, se observó un incremento considerable del índice CBR en los distintos estratos de suelo analizados; esto indica que, a medida que se incrementa el aporte de asfalto reciclado en la subrasante, la capacidad portante también aumenta; no obstante, se evidenció que el crecimiento más pronunciado de la capacidad CBR se presentó en el suelo Tipo 2 con una adición del 20%; el propósito de este trabajo de investigación es, por lo tanto, la comparación entre la estabilización de suelos con cal o cemento y aquella realizada con asfalto reciclado; la finalidad es contrastar ambos materiales en términos de su resistencia, disponibilidad y costos de producción.

Por otra parte, la estabilización de un suelo de subrasante residual de la región de Sampaje (Karnataka, India) mediante la adición de pavimento asfáltico reciclado (RAP) fue investigada por Ahmed Arqam Ruknuddin et al. (2019), en su estudio publicado en la revista International Journal of Engineering and Advanced Technology; para ello, el suelo natural fue mezclado con RAP en proporciones del 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%; en cuanto a los resultados de compactación, se

obtuvo una densidad seca máxima (MDD) de 1,92 g/cc con un contenido óptimo de humedad (OMC) de 15,03% fue determinada para el suelo sin RAP; al añadir RAP, la MDD experimentó una reducción inicial a 1,79 g/cc con un 5% de adición, para posteriormente incrementar progresivamente hasta 1,95 g/cc con un 25%; por su parte, el OMC siguió una tendencia variable, alcanzando 17,65% con 15% de RAP y volviendo a 15,09% con 25% de RAP; respecto al índice de soporte de California (CBR), mejoras importantes fueron observadas al incrementar el contenido de RAP; para una penetración de 10 mm, el CBR del suelo sin RAP era de 8,14%, mientras que con 5% de RAP ascendió a 12,46%; con 10% de RAP fue de 16,17%, alcanzando su máximo valor de 31,47% con 15% de RAP; finalmente, con 20% y 25% de RAP, los CBR registrados fueron de 21,75% y 23,02% respectivamente.

En el estudio realizado por de Lima, Silva y de Rezende (Lara Batista Ferreira de Lima et al., 2023) titulado Investigation of Resilient Modulus and Permanent Deformation of Tropical Soil with Reclaimed Asphalt Pavement, sobre mezclas de suelo laterítico tropical brasileño con Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), se evaluó el comportamiento mecánico mediante el módulo resiliente (MR) y la deformación permanente de las mezclas para su uso en capas granulares de pavimento. Se contrastaron tres proporciones: 100% suelo (0% RAP), 75% suelo + 25% RAP, y 50% suelo + 50% RAP. Los resultados mostraron que la mezcla con 25% de RAP (75% suelo) presentó el mejor comportamiento estructural, obteniendo mayor módulo resiliente y menor deformación permanente acumulada frente a la mezcla sin RAP. se reporta que la incorporación de RAP mejoró claramente el desempeño mecánico de la capa granular.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Campos y Vega (2019) en su estudio titulado en su investigación denominada estabilización de suelos con concreto asfáltico reciclado en el pj. dos de mayo – Chimbote; cuyo

objetivo fue examinar el método de estabilización de suelos mediante concreto asfáltico reciclado; la población analizada consistió en suelo limoso sin plasticidad del Pj. Dos de mayo de la ciudad de Chimbote, tomándose cuatro calicatas como muestra para todo el tramo; el estudio fue de naturaleza experimental con un enfoque cuantitativo; los hallazgos revelaron que el CBR aumentaba progresivamente conforme se adicionaba concreto asfáltico reciclado, alcanzando un valor de 11.10% con 20% de RAP, tomando como referencia el CBR al 95% de la muestra patrón; asimismo, es relevante destacar que el suelo pasó de tener un CBR de mala calidad a uno regular, considerándose que los CBRs resultan inadecuados cuando presentan valores inferiores al seis por ciento, conforme a lo estipulado por la normativa del ministerio de transportes y comunicaciones vigente.

Para Gonzales Quispe (2017), en su investigación denominada análisis del comportamiento mecánico de pavimentos con la reutilización de materiales reciclados en vías del distrito de san miguel, san Román, Puno – 2017 se tuvo como objetivo el comportamiento mecánico de pavimentos con la reutilización de materiales reciclados. La población de estudio se consideró todo el material en demolición de las estructuras del Distrito de San Miguel, a fin de mejorarlos con otros de primer uso y se empleen en la construcción de nuevas vías. Se trato de una investigación de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño experimental transversal. Tomando esta consideración los suelos de base del óvalo Pedro Vilcapaza parte de la Av. Circunvalación ha sido analizado y adicionado material de cantera en una cantidad del 30 % en peso y ha mejorado sus características mecánicas: En clasificación AASHTO de A-6-2 a A-1-a, en límites de consistencia del índice de plasticidad de 16.50 % a 7.10 % densidad seca (DS) de 1.841 gr/cm³ a 2.106 gr/cm³; entendiendo que es posible el reciclaje inclusive con el mejoramiento de características mecánicas de suelos de base para un nuevo pavimento. Los residuos de mezclas asfálticas provenientes de

pavimentos flexible renovados, pueden ser reciclados adicionándolos a suelos de base de un pavimento en proporciones adecuadas; es así que en el presente trabajo la adición del 5 % de residuos de mezclas asfálticas ha mejorado las características siguientes: en clasificación de suelos AASHTO de A-2-4 a A-1-a, en límites de consistencia, específicamente el índice de plasticidad (Ip) de 6.60 % a 5.46 %, en la densidad seca de 1.984 gr/cm³ a 2.1060 gr/cm³, mientras que para una adición del 10% estas características tienden a disminuir.

2.1.3. Antecedentes locales

Zambrano y Figueroa (2022), en su investigación análisis de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica por el método de diseño Marshall con elementos reciclados de la carpeta asfáltica de la av. Cusco tramo circunvalación cusco intersección con la av. Tuyro Tupac, distrito San Sebastián, provincia del cusco – Cusco – 2019. Cuyo objetivo fue de evaluar la influencia que tendrá las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica por el método de diseño Marshall con los elementos reciclados de la carpeta asfáltica de la av. Cusco tramo circunvalación cusco intersección con la av. Tuyro Tupac, distrito San Sebastián, provincia del cusco – Cusco – 2019. Población 30 briquetas de asfalto convencional y 30 briquetas modificadas con elementos reciclados. Tipo de investigación cuantitativo con diseño experimental. Los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados pétreos cumplen con requerimientos mínimos que exigen la EG-2013, para la preparación de una mezcla asfáltica en caliente; al RAP se le está considerando como una agregado de aportación para el diseño de mezcla, es por esta razón que se le ha realizado todas la pruebas de calidad al igual que un agregado pétreo; en el ensayo de partículas chatas y agregadas realizadas en el RAP presenta un resultado optimo con respecto a la norma, lo que indica que el fresado del RAP se realizó de manera correcta; se observa que, en las pruebas de calidad, el RAP también cumple con los requisitos mínimos que exige la EG-2013, pese a que ya fueron utilizados anteriormente en una mezcla asfáltica.

2.2.Bases Teóricas

2.2.1. *Suelos*

Braja M. Das (2010); define al suelo como un conjunto de partículas minerales naturales, que pueden incluir materia orgánica, aire y agua, y que constituyen la capa superficial de la corteza terrestre; además, los suelos son el resultado de la desintegración física y la descomposición química de las rocas, procesos originados por la acción de factores climáticos como el agua, el viento, las variaciones de temperatura y la actividad biológica.

2.2.2. *Propiedades físicas del suelo*

La descripción fundamental de su estado natural, composición y comportamiento básico, sin considerar esfuerzos externos, se define por un conjunto de características; la inclusión de parámetros como la granulometría, el contenido de humedad, la plasticidad y los límites de Atterberg es parte de estas; gracias a estas propiedades, la clasificación del suelo, la comprensión de su origen y la predicción de su comportamiento ante cambios de humedad, compactación o condiciones ambientales son posibles.

2.2.2.1. *Granulometría*

De acuerdo al MTC E-107 (2016, p. 44) Consiste en cuantificar la distribución granulométrica del suelo mediante la identificación del porcentaje de partículas que atraviesan cada uno de los tamices utilizados en el ensayo, incluyendo aquellos hasta el tamaño correspondiente al tamiz N° 200 (0.074 mm).

Cuadro N° 1 Número de tamices y abertura

TAMICES	ABERTURA (mm)
1"	25.000
3/4"	19.000
3/8"	9.500
N° 4	4.750
N° 10	2.000
N° 20	0.850
N° 40	0.425
N° 60	0.250
N° 100	0.150
N° 200	0.075

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales (MTC 2016)

Ecuaciones utilizadas:

$$\% \text{ Pasa } 0.0074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido del Tamiz } 0.0074}{\text{Peso Total}} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado} \quad (3)$$

- Tamaño máximo nominal

Según la ASSTHO M 323-13 (2013) menciona que El tamaño máximo nominal es el tamiz inmediatamente mayor al primer tamiz donde el % retenido en el tamiz supera el 10%.

2.2.2.2. Contenido de humedad

Se define como la proporción, expresada en porcentaje, entre el peso del agua contenida en una muestra de suelo y el peso de sus partículas sólidas; esta es la descripción que proporciona el Manual del MTC E-108 (2016, p. 49).

Ecuación:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100 \quad (4)$$

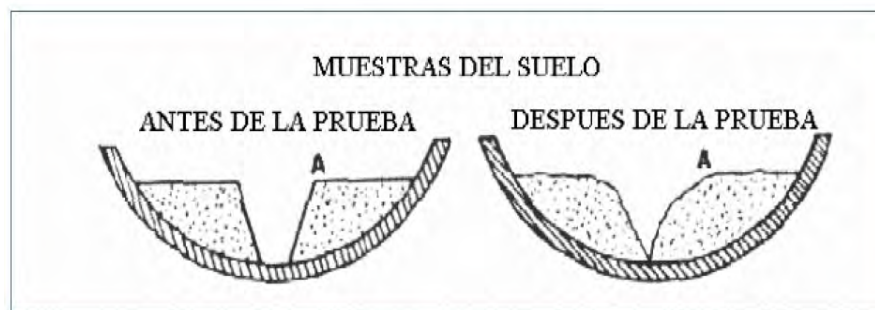
Donde: W = contenido de humedad (%)

2.2.2.3. Límites de Atterberg (*Límites de consistencia*)

- *Límite Líquido*

De forma convencional, se define como la humedad necesaria para que el surco que divide en dos una pasta de suelo se cierre a lo largo de 13 mm; esto sucede cuando la copa del aparato cae 25 veces desde una altura de 1 cm, a una frecuencia aproximada de dos caídas por segundo; de acuerdo con el Manual del MTC E-110 (2016, p. 67), este contenido de humedad, expresado en porcentaje, es aquel en el cual el suelo se encuentra en transición entre los estados líquido y plástico.

Figura N°1 Ranura de la muestra para el Límite Líquido



Fuente: MTC E-110 – 2016

- *Límite Plástico*

De acuerdo con el Manual del MTC E-111 (2016, p. 72), el contenido de humedad mínimo que permite moldear el suelo en forma de hilos de aproximadamente 3,2 mm (1/8") de diámetro es definido como límite plástico (L.P.); esto se logra mediante el rodado entre la palma de la mano y una superficie lisa como vidrio esmerilado, siempre y cuando los hilos no se fracturen o desintegren.

Ecuación:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco al horno}} \times 100 \quad (5)$$

- *Índice de Plasticidad*

Para un suelo determinado, el índice de plasticidad representa el rango de humedad delimitado por su límite líquido y su límite plástico, según lo establece el Manual del MTC E-111 (2016, p. 73); en consecuencia, su valor se calcula mediante la ecuación que se detalla a continuación:

$$I.P. = L.L. - L.P. \quad (6)$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

L.P. = Límite Plástico

El rango de humedad en el que un suelo mantiene una consistencia plástica es definido como índice de plasticidad; según se establece en el manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección Suelos y Pavimentos (2014, p. 33), esto lo constituye como un parámetro de gran utilidad para su clasificación; asimismo, un IP elevado es indicativo de un material con un alto contenido de arcilla, mientras que un IP reducido es característico de suelos con escasa presencia de estas partículas; en este contexto, la categorización de los suelos según su índice de plasticidad se puede realizar de la siguiente manera:

Cuadro N° 2 Plasticidad de los suelos

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP > 7		
IP ≤ 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos sección Suelos y pavimentos (2014, p.34)

2.2.3. Clasificación de suelos

Es el proceso mediante el cual los suelos se ordenan y agrupan en categorías, según sus propiedades físicas como granulometría y plasticidad.

Cuadro N° 3 Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos sección Suelos y pavimentos (2014, p.33)

Das clasifica los suelos principalmente en dos grandes grupos:

2.2.3.1.Suelos gruesos o granulares:

La clasificación de estos suelos se fundamenta en la distribución de las dimensiones de partículas (curva granulométrica) y en el porcentaje de finos que contienen; además, la inclusión de gravas y arenas es característica, cuyos granos tienen visibilidad a simple vista o con lupa; su característica principal, por lo tanto, es una alta permeabilidad, una baja plasticidad y, en general, un buen comportamiento mecánico bajo carga.

2.2.3.2.Suelos finos:

La clasificación de un suelo como de grano fino ocurre cuando el 50% o más de su peso seco atraviesa el tamiz N° 200 (0,075 mm); la comprensión de estos suelos abarca los limos y las arcillas; además, su composición se basa en partículas de un tamaño muy reducido, comúnmente inferiores a 0.075 mm; presentan, por lo tanto, propiedades como la plasticidad y la cohesión, y su comportamiento se ve fuertemente afectado por el contenido de humedad; su evaluación se lleva

a cabo mediante los límites de Atterberg (límite líquido LL y límite plástico LP) y el índice plástico; en consecuencia, su identificación se realiza a través de la Carta de Plasticidad (Plasticity Chart) y de ensayos de clasificación como el SUCS (o USCS) y el sistema AASHTO.

- **Arcilla:**

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 339.134 (2019), la arcilla se conceptualiza como un suelo que atraviesa el tamiz estándar N° 200 (75 μ m) y que exhibe plasticidad dentro de un rango determinado de contenido de humedad, además de mostrar una resistencia considerable cuando se encuentra seco; para efectos de su categorización, se considera arcilla a un suelo de grano fino o a la fracción fina de un suelo cuyo índice de plasticidad sea igual o superior a 4, y cuya posición en el gráfico de índice plástico frente al límite líquido se ubique sobre o directamente en la línea “A” (figura N.º 2).

- **Limo:**

(Norma Técnica Peruana NTP 339.134, 2019) el limo se define como un suelo que atraviesa el tamiz estándar N° 200 (75 μ m), caracterizado por ser no plástico o presentar una plasticidad muy baja, además de mostrar poca o ninguna resistencia al secarse al aire. Para fines de clasificación, se considera limo a un suelo de grano fino o a la fracción fina del mismo cuyo índice de plasticidad es menor de 4, o cuya posición en el gráfico de índice plástico frente al límite líquido se ubica por debajo de la línea “A” (figura N° 2).

- **Arcilla limosa:**

Se categoriza como suelo arcilla limosa, CL-ML, cuando su ubicación en la carta de plasticidad se encuentra en o sobre la línea "A", y el índice plástico se sitúa dentro del intervalo de 4 a 7. figura N°2

- **Arcilla limosa con arena:**

La norma NTP 339.134 (2019) señala que, cuando la porción de la muestra analizada que queda retenida en la malla N° 200 (75-µm) es inferior al 30% pero igual o superior al 15%, las palabras "con arena y/o grava" deben incorporarse al símbolo de clasificación; como ejemplos, se tiene: arcilla limosa con arena CL-ML, CL; limo con arena y grava, ML.

- **Índice de grupo**

El manual Carreteras del MTC (2014) define un índice de uso extendido para la clasificación de suelos, establecido por la normativa AASHTO y que se fundamenta principalmente en los límites de Atterberg; el cálculo del índice de grupo de un suelo se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$IG = 0.2(a) + 0.005(ac) + 0.01(bd) \quad (7)$$

Donde:

a = F-35 (F: porcentaje de partículas sólidas que pasa el tamiz N° 200). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

b = F-15 (F: porcentaje de partículas sólidas que pasa el tamiz N° 200). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

c = LL – 40 (LL: límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

d = IP-10 (IP: índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

Cuadro N° 4 Clasificación de suelos de acuerdo al IG

Índice de Grupo	suelo de Sub rasante
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 - 2	Bueno
IG está entre 0 - 1	Muy Bueno

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos sección Suelos y pavimentos (2014, p.35)

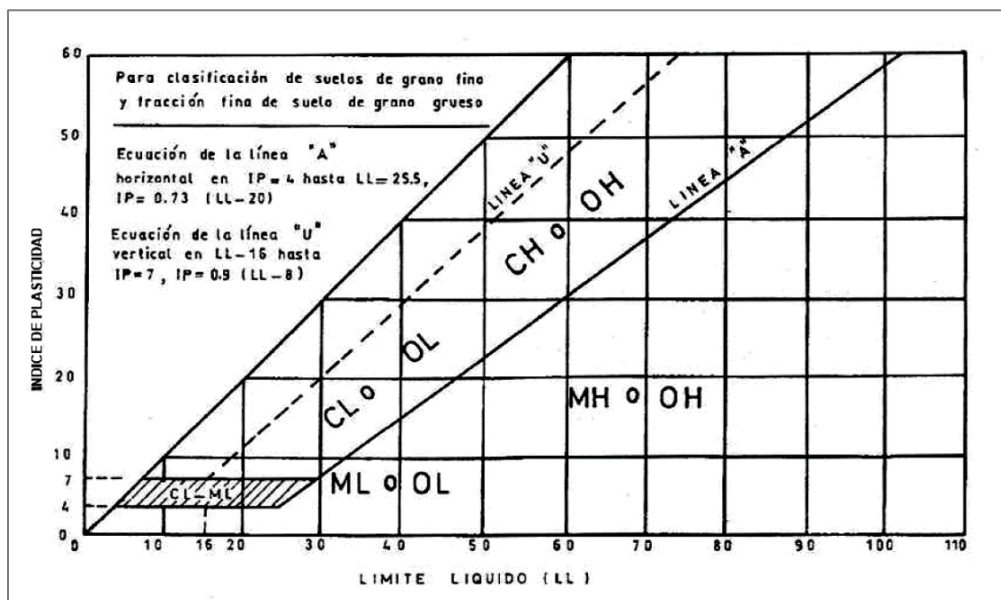
De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), una vez determinadas las características de los suelos descritas en los apartados previos, es factible anticipar su desempeño con considerable exactitud, fundamentalmente a partir de los datos de granulometría, plasticidad e índice de grupo; con estos parámetros se procede a su posterior clasificación; dicha clasificación se realizará utilizando el sistema mostrado en el Cuadro N.º 4, el cual facilita una predicción aproximada del rendimiento de los suelos y contribuye a delimitar zonas geotécnicamente homogéneas.

Cuadro N° 5 Correlación entre AASHTO SUCS para clasificación de suelo

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM-D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-a	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

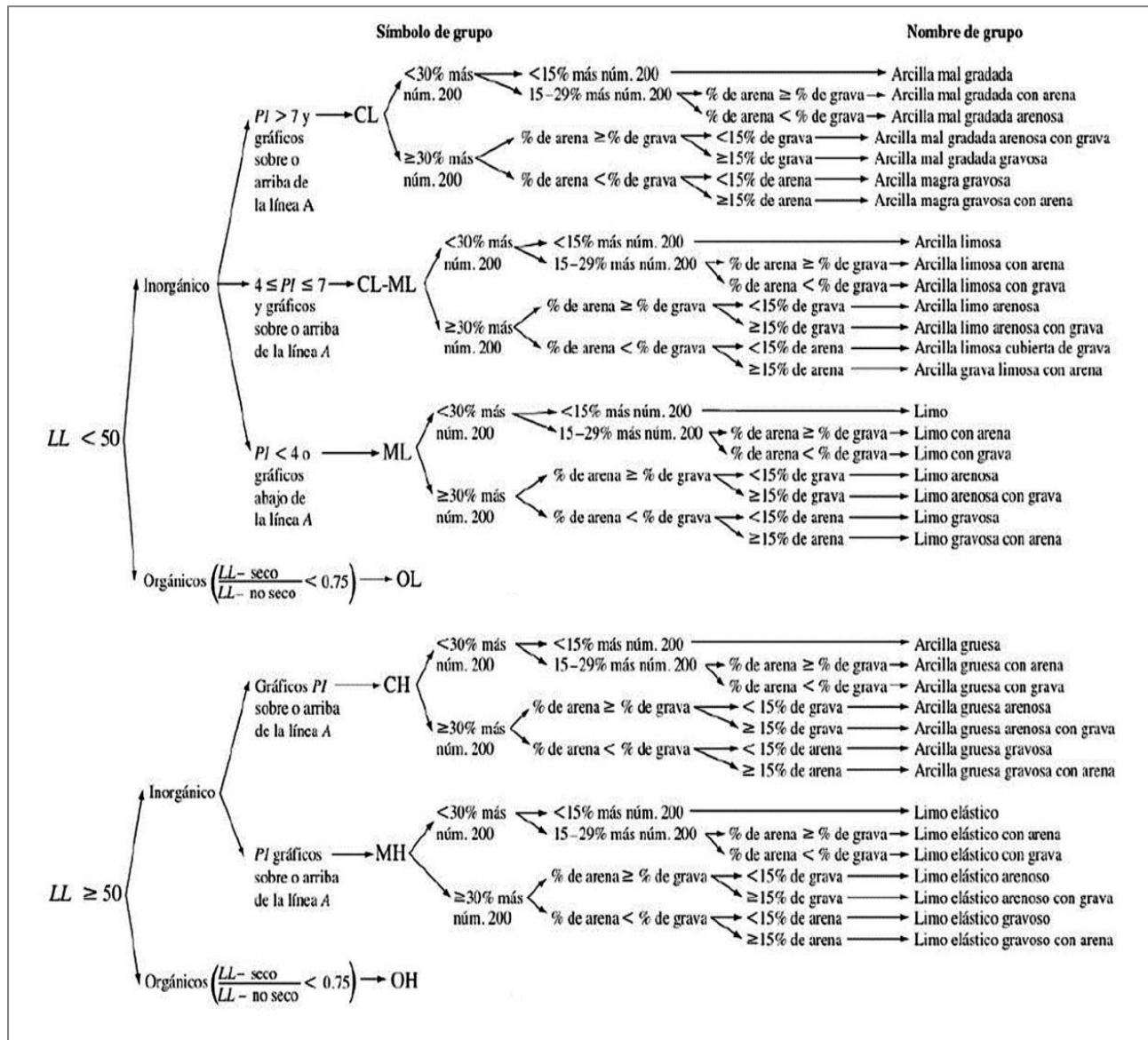
Fuente: US Army Corps of Engineers, MTC (2014, p. 35)

Figura N°2 Carta de Plasticidad



Fuente: NTP 339.134

Figura N°3 Clasificación del suelo según SUCS



Fuente: NTP 339.134

Cuadro N° 6 Sistema de Clasificación de suelos

Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO						
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200)					
	A-1			A-2		
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6
Análisis por mallas (% que pasa)						
Malla núm. 10	50 máx					
Malla núm. 40	30 máx	50 máx	51 Mín			
Malla núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Porcentaje de finos para la fracción de pasa						
Malla núm. 40						
Límite líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		No plástico	10 máx	10 máx	11 mín
Comportamiento usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa		
Clasificación de la capa	Excelente a buena					
Materiales de limo y arcilla						
Clasificación general	(más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)					
Clasificación de grupo	A-4		A-5	A-6		A-7
						A-7-5
						A-7-6
Análisis por mallas (% que pasa)						
Malla núm. 10						
Malla núm. 40						
Malla núm. 200	36 mín		36 mín	36 mín		36 mín
Porcentaje de finos para la fracción de pasa						
Malla núm. 40						
Límite líquido (LL)	40 máx		41 mín	40 máx		41 mín
Índice de plasticidad (IP)	10 máx		10 máx	11 mín		11 mín
Comportamiento usual de material	Principalmente suelos limosos			Principalmente suelos arcillosos		
Clasificación de la capa	Regular a malo					
Si $IP < LL - 30$, la clasificación es A-7-5.						
Si $IP > LL - 30$, la clasificación es A-7-6.						

Fuente: clasificación de suelos AASHTO

Cuadro N° 7 Clasificación de Suelos Según La ASTM

Criterios para asignar símbolos y nombres de grupo utilizando pruebas de laboratorio				Clasificación de los suelos			
				Símbolo de grupo	Nombre de Grupo		
Suelos de grano grueso. Mas del 50% retenido en la malla núm. 200	Gravas. Mas del 50% de la fracción gruesa retenida en la malla núm. 4	Gravas limpias.	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada		
		Menos del 5% finos	$Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada		
		Gravas con finos.	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa		
		Menos del 5% finos	Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa		
	Arenas. 50% o más de fracción gruesa pasa la malla núm. 4	Arenas limpias.	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada		
		Menos de 12% finos	$Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada		
		Arena con finos.	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa		
		Mas del 12% finos	Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena arcillosa		
		Inorgánicos	IP > 7 y se encuentra en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja compresibilidad		
			IP < 4 o se encuentra debajo de la línea "A"	ML	Limo de baja compresibilidad		
			Orgánicos	Límite liquido - secado al horno	0.75	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico
				Límite liquido no secado			
	Limos y arcillas. Limite liquido 50 o mayor.	Inorgánicos	IP se encuentra en o arriba de la línea "A"	CH	MH	Arcilla de alta compresibilidad Limo de alta compresibilidad	
			IP se encuentra debajo de la línea "A"				
		Orgánicos	Límite liquido - secado al horno	0.75	OH	Arcilla orgánica Limo orgánico	
			Líquido no secado				
Suelos altamente orgánicos		Principalmente materia orgánica, de color oscuro y olor orgánico		PT	Turba		

Fuente: Clasificación de Suelos Según La ASTM

2.2.4. Propiedades mecánicas del suelo

Las propiedades mecánicas del suelo representan el agrupamiento de atributos que describen su reacción al sometimiento a tensiones o presiones, definiendo su capacidad resistente, firmeza y potencial de deformación; asimismo, estas propiedades facilitan la valoración del

rendimiento del suelo ante presiones estáticas, tensiones repetitivas, fuerzas de cizallamiento y posibles asentamientos, resultando cruciales en el diseño geotécnico y de pavimentos; entre las variables más significativas se incluyen la resistencia a la compresión, el módulo resiliente, el módulo de elasticidad, el módulo de Poisson y la capacidad de soporte (CBR); de acuerdo con Das (2012), estas propiedades son cruciales para anticipar la respuesta del suelo bajo cargas externas y para valorar su estabilidad y deformabilidad dentro de aplicaciones geotécnicas.

- ***Compactación del suelo***

El grado de compactación se define como el porcentaje que relaciona la densidad seca obtenida in situ y la densidad seca máxima establecida en el ensayo Proctor; este indicador facilita la valoración de si el suelo ha logrado el nivel de densificación requerido para asegurar un desempeño óptimo en las construcciones civiles; de acuerdo con Das (2007, p. 91), de manera general, la compactación es la densificación del suelo mediante la expulsión del aire, un proceso que demanda energía mecánica; asimismo, el grado de compactación de un suelo se cuantifica en función de su peso unitario seco; cuando se incorpora agua al terreno durante este proceso, esta funciona como un agente lubricante sobre las partículas del suelo.

El Manual de Ensayos de Materiales del MTC establece dos procedimientos principales para la compactación de suelos: el Proctor estándar y el Proctor modificado.

- ***Proctor Modificado***

Conforme a la norma MTC E-115 (2016), este ensayo emplea una energía de compactación modificada (2700 kN/m^2) para establecer el contenido de humedad con el cual el suelo logra su densidad seca máxima; este valor es determinado a partir de la curva de compactación; la selección del método apropiado se debe efectuar según las especificaciones indicadas en el Cuadro N.º 8º.

Cuadro N° 8 Especificaciones de la prueba de Proctor modificado

DESCRIPCION	METODO A	METODO B	METODO C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del pisón	4.54 Kg	4.54 Kg	4.54 Kg
Altura de caída del pisón	45.60 cm	45.60 cm	45.60 cm
Numero de capas	5	5	5
Numero de golpes por capa	25	25	56
Energía de Compactación y uso	2700 KN-m/m ³ Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4	2700 KN-m/m ³ Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20% menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8'	2700 KN-m/m ³ Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 3/8'' y menos 30% de peso del material es retenido en el tamiz 3/4''.

Fuente: Braja M. Das, (2007, p. 102)

Cuadro N° 9 Especificaciones de la prueba de Proctor estándar

DESCRIPCION	METODO A	METODO B	METODO C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del pisón	2.50 Kg	2.50 Kg	2.5 Kg
Altura de caída del pisón	30.48 cm	30.48 cm	30.48 cm
Numero de capas	3	3	3
Numero de golpes por capa	25	25	56
Energía de Compactación y uso	600 KN-m/m ³ Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4	600 KN-m/m ³ Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20% menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8''.	600 KN-m/m ³ Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 3/8'' y menos 30% de peso del material es retenido en el tamiz 3/4''.

Fuente: Braja M. Das, (2007, p. 102)

Ecuación para calcular la densidad seca

$$\rho_d = \frac{P_m}{1 + \frac{W}{100}} \quad (8)$$

Donde:

ρ_d = Densidad seca compactado (g/cm³)

P_m = Densidad Húmeda compactado (g/cm³)

W = Contenido de agua (%)

- ***Proctor estándar***

Según la norma MTC E-116 (2016), Este ensayo aplica una energía de compactación estándar (600 kN/m²) para determinar el contenido de humedad con el cual el suelo alcanza su densidad seca máxima, valor obtenido a partir de la curva de compactación. La elección del método apropiado debe efectuarse según las especificaciones establecidas en el Cuadro N.º 9.

2.2.4.1. Capacidad de Soporte (CBR)

La capacidad de soporte del suelo se define como la resistencia del terreno para soportar cargas sin sufrir fallas de corte ni asentamientos excesivos. Según Braja M. Das (2007) se trata de la presión máxima que puede aplicar una estructura sobre el suelo antes de que éste colapse o se deforme más allá de límites admisibles. Este parámetro es fundamental para el diseño de subrasantes en pavimentos, ya que una baja capacidad puede comprometer la estabilidad estructural de la vía.

Según el manual de carreteras (2014) Una vez determinado el valor de CBR de diseño para cada sector con características homogéneas, se procede a clasificar la categoría de subrasante a la que pertenece cada sector o subtramo, de acuerdo con lo establecido en el Cuadro N.º 10.

Cuadro N° 10 Categoría de subrasante según CBR

Categoría de Sub rasante	CBR
SO: Subrasante Inadecuada	CBR < 3 %
S1: Subrasante Insuficiente	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S4: Subrasante Muy buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	De CBR ≥ 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2014, p. 37)

De acuerdo con la normativa MTC E-132 (2016, p. 255), el Valor de la Relación de Soporte (CBR) se conceptualiza como la proporción que indica la presión ejercida por el pistón sobre el espécimen de suelo, para una penetración determinada, en relación con la carga indispensable para producir una penetración idéntica en un material de referencia; asimismo, las características y datos estándar de dicho material de referencia se especifican en el Cuadro N° 11 de la misma especificación.

Cuadro N° 11 Características del patrón de muestra

Penetración			Presión	
mm	pulgadas	MN/m2	kgf/cm2	lb/plg2
2.54	0.1	6.90	70.31	1000
5.08	0.2	10.35	105.46	1500

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC (2016, p. 255)

Se utilizan la siguiente ecuación:

$$CBR = \frac{\text{esfuerzo del suelo}}{\text{esfuerzo del patron}} * 100 \quad (9)$$

- Expansión:

La expansión, de acuerdo con el Manual de Ensayos de Materiales MTC E-132 (2016, p. 255), se determina a partir de la diferencia entre las lecturas del deformímetro registradas antes y después del periodo de inmersión; este resultado se expresa como un porcentaje en relación

con la altura inicial de la muestra colocada en el molde; su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Expansi3n} = \frac{L2 - L1}{\text{Altura del molde}} * 100 \quad (10)$$

Donde:

L1 = Lectura inicial en mm

L2 = Lectura final en mm

2.2.4.2. M3dulo de Poisson

La relaci3n entre la deformaci3n lateral y la deformaci3n axial en un medio el3stico sometido a carga uniaxial es definida como el m3dulo de Poisson (ν), seg3n lo establece Braja M. Das (2012); en el caso de materiales geot3cnicos como los suelos, el valor de ν generalmente se sit3a en el intervalo de 0.20 a 0.50; dicho valor depende de factores como el tipo de suelo, su grado de saturaci3n y sus condiciones de compactaci3n.

Cuadro N3 12 Rangos del m3dulo de Poisson

Tipo de suelo	Coefficiente de Poisson ν
Arena Suelta	0.20 – 0.40
Arena semidensa	0.25 – 0.40
Arena densa	0.30 – 0.45
Arena limosa	0.20 – 0.40
Arena y grava	0.15 – 0.35
Arcilla blanda	
Arcilla media	0.20 – 0.50
Arcilla dura	

Fuente: M3dulo de Poisson seg3n Braja M. Das (2007, p. 523)

Cuadro N3 13 Relaci3n de Poisson de materiales de Carreteras

Material	Relaci3n de Poisson ν
Asf3ltico	0.40
Granular	0.35
Cemento curado	0.20
Suelo Subrasante	0.25 - 0.40
Roca erosionada de subrasante	0.30
Roca no meteorizada de subrasante	0.15

Fuente: Burt G. Look. (2007, p. 167)

Ecuación utilizada:

$$v = \frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{axial}} \quad (11)$$

Donde:

v = Módulo de Poisson

$\varepsilon_{lateral} = \Delta D/D_0$ = deformación lateral (Variación de diámetro)

$\varepsilon_{axial} = \Delta H/H_0$ = deformación axial (Variación de altura)

2.2.4.3. Compresión no confinada

Según Braja M. Das (2007, p. 256) el ensayo de compresión no confinada es una prueba de laboratorio utilizada principalmente en suelos cohesivos, en la cual se carga axialmente una muestra cilíndrica sin la aplicación de ninguna presión lateral. El propósito del ensayo es evaluar la resistencia al corte del suelo, cuantificando la carga máxima que el espécimen es capaz de soportar antes de alcanzar la falla. En este tipo de ensayo, la resistencia no drenada del suelo se obtiene tomando como base la mitad de la carga axial máxima alcanzada durante la prueba, debido a que la falla se produce sin presencia de confinamiento externo.

Cuadro N° 14 Relación de consistencia de suelo y esfuerzo de compresión

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	kPa
Muy blanda	< 0.25	< 25
Blanda	0.25 - 0.50	25 - 50
Mediana	0.50 - 1.00	50 - 100
Firme	1.00 - 2.00	100 - 200
Muy firme	2.00 - 4.00	200 - 400
Dura	> 4.00	> 400

Fuente: Manual de ensayos de materiales MTC E-121 (2016, p. 160)

Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (12)$$

Donde:

ε = Deformación unitaria axial

ΔL = Cambio en longitud del espécimen

L_0 = Longitud inicial del espécimen

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad (13)$$

Donde:

A = sección transversal promedio de la muestra

A_0 = Área inicial promedio

ε = Deformación unitaria axial

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (14)$$

Donde:

σ_c = Esfuerzo

P = Carga aplicada dada

A = Área de la sección promedio

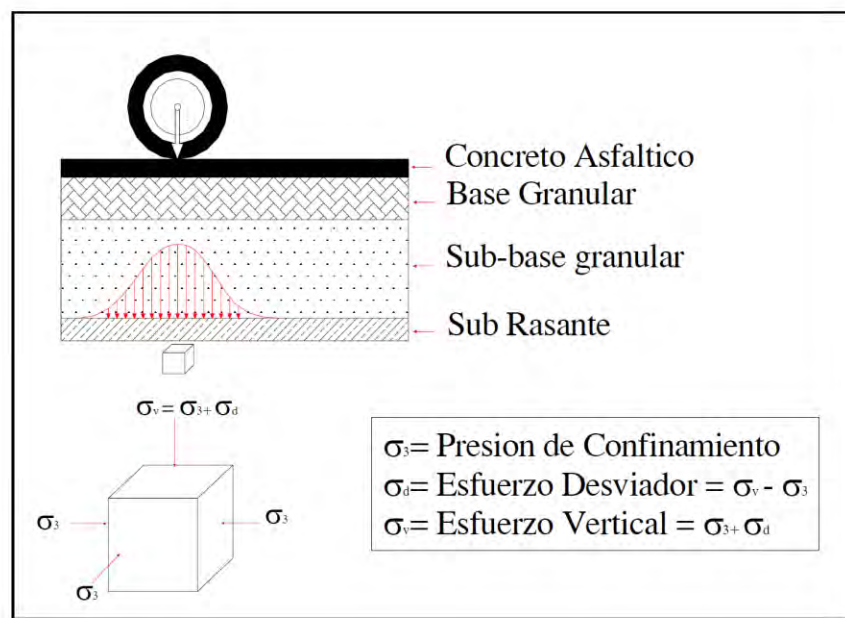
2.2.4.4. Módulo Resiliente

Según la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO T307-99) (2012), el módulo resiliente constituye la propiedad fundamental empleada para caracterizar el suelo de la subrasante en el diseño de pavimentos flexibles; este parámetro representa una estimación del comportamiento elástico del material bajo un determinado estado de esfuerzo, por lo que se considera equivalente al módulo de elasticidad asumido para esas condiciones.

Según el XIV Congreso Nacional De Ingeniería Civil (2003) Cuando un vehículo circula sobre el pavimento, los neumáticos transmiten cargas que son absorbidas por la estructura, entonces un elemento diferencial de suelo ubicado en la subrasante, estará sometido a esfuerzos que a su vez inducen un estado de deformaciones, tal como se muestra en la Figura N°4. Si se asume que la subrasante se comporta como un material elástico,

isótropo y homogéneo condiciones ideales establecidas en la mecánica de suelos, las tensiones y deformaciones pueden relacionarse directamente con el módulo de elasticidad y la razón de Poisson propios del suelo. Sin embargo, la respuesta real depende de las características particulares de los materiales que integran el pavimento, donde las cargas generadas por el tránsito son dinámicas y actúan durante intervalos muy breves. Como resultado, la deformación inducida tiende a recuperarse una vez que la carga ha sido retirada.

Figura N°4 Esfuerzos provocados por el paso de un vehículo en movimiento en la subrasante.



Fuente: XIV Congreso Nacional De Ingeniería Civil (2003)

El módulo resiliente representa el comportamiento elástico utilizado en la teoría elástica. Aunque los materiales de pavimentación no son completamente elásticos y presentan cierta deformación permanente por cada aplicación de carga, cuando la carga es pequeña respecto a la resistencia del material y se repite muchas veces, la respuesta del suelo es casi totalmente recuperable y proporcional a la carga, pudiendo asumirse como elástica. En una prueba de carga repetida, como se observa en la figura N°5, inicialmente se genera una deformación plástica significativa. Sin embargo, conforme aumentan las repeticiones, la deformación permanente

disminuye progresivamente. Después de aproximadamente 100 a 200 ciclos, la respuesta es prácticamente totalmente recuperable.

El cálculo del Módulo Resiliente se realiza mediante la división del esfuerzo desviador aplicado entre la deformación resiliente presentada por el material en el ciclo de carga.

$$Mr = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (15)$$

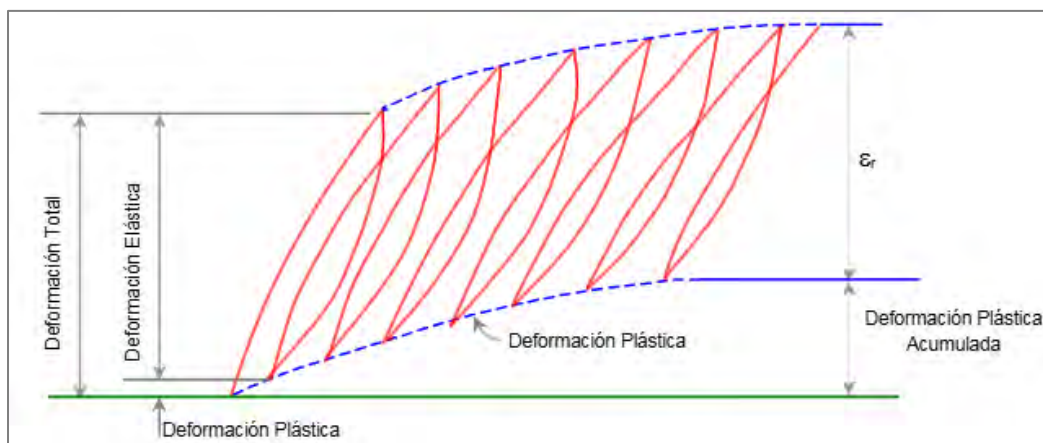
Donde:

Mr : Módulo resiliente

σ_d : esfuerzo desviador

ϵ_r : deformación unitaria recuperable (resiliente)

Figura N°5 Tensiones bajo cargas repetidas

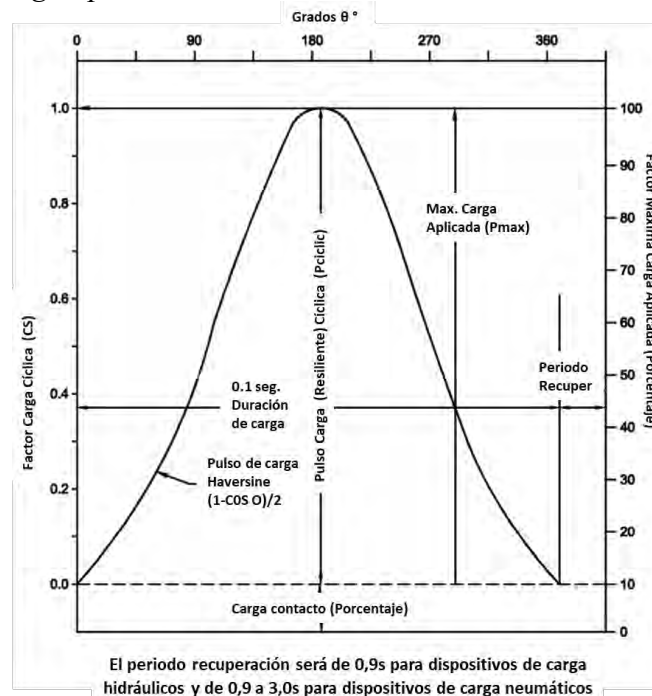


Fuente: Huang (2004)

- **Ensayo en laboratorio para el cálculo del Mr**

La ejecución de los ensayos se fundamentó en la norma AASHTO T 307-99, cuya última versión data del dos mil doce; asimismo, el procedimiento para la determinación del módulo resiliente se aplica tanto a suelos de subrasante como a materiales granulares de base y subbase sin tratar; este método tiene como propósito replicar los estados de esfuerzo y las condiciones físicas a las que se enfrentan los materiales de un pavimento flexible bajo las cargas inducidas por el tránsito vehicular; para simular dichas cargas, se emplean pulsos de carga con forma de onda tipo Haversine, tal como se ilustra en la figura N°6

Figura N°6 Pulso de carga tipo Haversine



Fuente: normativa AASHTO T307-99 (2012)

La secuencia de cargas aplicadas para la subrasante se presenta de acuerdo al cuadro N°15

Cuadro N° 15 Secuencia de pruebas para subrasante

Secuencia	Presión de confinamiento,		Máximo Esfuerzo		Esfuerzo Cíclico,		Esfuerzo de contacto,		Nro. De Cargas
	S3		Axial, Smax		Scyclic		0.1Smax		aplicadas
	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	
0	41.4	6	27.6	4	24.8	3.6	2.8	0.4	500-1000
1	41.4	6	13.8	2	12.4	1.8	1.4	0.2	100
2	41.4	6	27.6	4	24.8	3.6	2.8	0.4	100
3	41.4	6	41.4	6	37.3	5.4	4.1	0.6	100
4	41.4	6	55.2	8	49.7	7.2	5.5	0.8	100
5	41.4	6	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100
6	27.6	4	13.8	2	12.4	1.8	1.4	0.2	100
7	27.6	4	27.6	4	24.8	3.6	2.8	0.4	100
8	27.6	4	41.4	6	37.3	5.4	4.1	0.6	100
9	27.6	4	55.2	8	49.7	7.2	5.5	0.8	100
10	27.6	4	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100
11	13.8	2	13.8	2	12.4	1.8	1.4	0.2	100
12	13.8	2	27.6	4	24.8	3.6	2.8	0.4	100
13	13.8	2	41.4	6	37.3	5.4	4.1	0.6	100
14	13.8	2	55.2	8	49.7	7.2	5.5	0.8	100
15	13.8	2	68.9	10	62.0	9.0	6.9	1.0	100

Fuente: AASHTO T 307-99 (2012, p. 11)

- ***Equipo utilizado para el ensayo del Módulo resiliente***

De acuerdo a Perez y Castro (2025) Se instaló y configuró una unidad de control RM (receptor-emisor), que actúa como el núcleo de procesamiento del sistema. Esta unidad se encarga de recibir las señales generadas por los sensores de presión y deformación, además de gobernar el servomotor responsable de aplicar las cargas axiales al espécimen. La RM envía las órdenes correspondientes al servomotor y, a la vez, recibe una retroalimentación continua que garantiza la precisión del ensayo. El seguimiento y control del procedimiento se realiza desde una computadora portátil que ejecuta el programa “Main_Civil 19v”, desarrollado en el entorno LabVIEW. Este software permite visualizar en tiempo real los parámetros de carga y deformación, así como almacenar automáticamente los datos registrados para su análisis posterior.

- ***Procesamiento de datos para determinar el Módulo Resiliente***

Según el Folleto de Diseño para la Determinación de la Subrasante de Apoyo asociado a la norma AASHTO T 307-99 (FHWA-RD-97-083, 1997, p. 10) se recomienda emplear la ecuación constitutiva (Ec. 16) para ajustar los datos obtenidos en laboratorio. Ello se debe a que esta expresión ha demostrado generar, de manera consistente, coeficientes de correlación múltiple más elevados y resulta adecuada para una amplia variedad de materiales granulares no ligados y suelos de subrasante.

$$Mr = k_1 P_a \left[\frac{\Theta}{P_a} \right]^{k_2} \left[\frac{\sigma_d}{P_a} \right]^{k_3} \quad (16)$$

Donde:

k_1, k_2, k_3 : Constantes elásticas no lineales

P_a : Presión atmosférica

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: Tensiones principales, donde $\sigma_2 = \sigma_3$

Θ : Esfuerzo volumétrico (bulbo de presiones) = $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$

σ_d : Esfuerzo desviador = $\sigma_1 - \sigma_3$

- ***Resultados del módulo resiliente por medio de la teoría multicapa elástica***

Dado que las condiciones del pavimento y las cargas vehiculares afectan directamente los valores del módulo resiliente, se efectuará un análisis de sensibilidad considerando distintos espesores y módulos de las capas estructurales. Este procedimiento permitirá evaluar la coherencia y confiabilidad de los resultados frente a diversos escenarios. Para el cálculo de la carga se emplea el eje simple estándar de 8,2 toneladas, junto con una presión de inflado de 750 kPa. Tanto los espesores de las capas como los módulos elásticos adoptados corresponden a los valores establecidos en la normativa vigente.

Según Pérez y Castro (2025) Para el cálculo de los esfuerzos se empleó el software OpenPave, desarrollado por Jeremy Leah en la Universidad de California, Davis (Leah, 2019). Esta herramienta, de libre acceso para fines académicos y de investigación, fue incorporada en el presente estudio como parte del desarrollo metodológico. El programa ejecuta los cálculos internamente mediante la teoría de capas elásticas, implementada como una librería dentro del propio sistema. A través de este enfoque se determinan los esfuerzos principales en la superficie de la subrasante y se obtiene el módulo resiliente mediante un proceso iterativo, el cual continúa hasta que la diferencia entre resultados consecutivos sea menor a 1 MPa.

Por otra parte, se utilizan los módulos de elasticidad para iterar el valor del MR dentro de la plataforma del Openpave cuadro N°16.

Cuadro N° 16 Módulo de elasticidad de la estructura del pavimento

PARÁMETROS	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)
Carpeta asfáltica	2482
Base granular	207
Subbase granular	125
Subrasante	MR

Fuente: adaptado de las propiedades de capas del pavimento elaborado por Pérez y Castro (2025, p. 79)

Cuadro N° 17 Correlación para determinar el Módulo Resiliente (MPa) en función del CBR (%)

AÑO	AUTOR	ECUACIÓN
1984	Powell et al.	$2555 * CBR^{0.64}$
1962	Heukelom y Klomp	$1500 * CBR$
1999	Newcomb y Birgisson	$10^{(0.85 \log(CBR) + 2.971)}$

Fuente: Elaboración propia adaptada de los autores

2.2.5. Estabilización de suelos

Para Alarcon y Jimenez (2020) El proceso de estabilización de suelos permite mejorar significativamente sus propiedades físicas, mecánicas y de resistencia, asegurando que estos beneficios se mantengan de forma duradera en el tiempo. Para un diseño adecuado con el agente estabilizante, es fundamental clasificar el suelo, lo que permite determinar el tipo y la cantidad adecuada del estabilizante a utilizar. Asimismo, es crucial verificar el propósito que se le dará al suelo estabilizado para asegurar que cumpla con los requisitos necesarios para su uso previsto.

Según el manual de carreteras Suelos geología, geotecnia y pavimentos - sección suelos y pavimentos (2014), La estabilización de suelos se refiere al proceso de mejorar las propiedades físicas del suelo mediante procedimientos mecánicos y la adición de productos químicos de origen natural o sintético. Este método se utiliza principalmente en suelos de subrasante que no son adecuados para soportar estructuras. El objetivo de la estabilización es proporcionar mayor resistencia mecánica y durabilidad a lo largo del tiempo. Se considera que los suelos con un CBR $\geq 6\%$ son aptos para las capas de subrasante; si el valor es inferior, será necesario realizar estudios especiales para estabilizar, mejorar o reemplazar el suelo, ya que se trataría de una subrasante inadecuada.

Según el manual de carreteras: suelos geología geotecnia y pavimentos (2014, p. 42) La superficie de la subrasante debe ubicarse por encima del nivel freático, en función de su capacidad de soporte. El suelo debe mantenerse a una distancia mínima de 0,60 m en subrasantes extraordinarias o muy buenas; 0,80 m en suelos buenos o regulares; 1,00 m en suelos pobres; y 1,20 m en subrasantes deficientes. Cuando sea necesario, se deben implementar subdrenes, capas anticontaminantes o elevar la rasante para garantizar una adecuada estabilización.

2.2.5.1. Métodos de Estabilización

Los procesos de estabilización se pueden clasificar según el método utilizado. Uno de ellos es la estabilización mecánica del suelo, cuyo objetivo es mejorar las propiedades del suelo existente sin alterar su estructura ni su composición fundamental. En este tipo de estabilización, la compactación se emplea como herramienta clave, ya que permite reducir el volumen de vacíos en el suelo, mejorando así su densidad y capacidad de soporte sin necesidad de agregar materiales externos. (Braja M. Das, 2007)

Para Ojeda y Mendoza (2018) La estabilización por combinación de suelos consiste en mezclar el suelo existente con materiales de préstamo para mejorar sus propiedades. El procedimiento inicia con la disgregación del terreno original hasta una profundidad aproximada de 15 cm, a fin de incorporar el material de aporte. Luego, la mezcla se airea y ajusta hasta alcanzar la humedad óptima para su compactación, retirando previamente las partículas mayores de 75 mm. Finalmente, el material se compacta cumpliendo los requisitos de densidad y espesores especificados, hasta conformar el nivel de subrasante requerido.

El manual de carreteras (2014) expone diversas técnicas de estabilización, entre ellas el reemplazo de materiales en la subrasante, la estabilización mecánica, la combinación de diferentes tipos de suelo y el uso de aditivos como cal, cemento, escorias y emulsiones asfálticas. Asimismo,

incluye procedimientos de estabilización química y el empleo de geosintéticos, tales como geotextiles, geomallas u otros elementos afines.

Estabilización con productos asfálticos

Para el manual de carreteras (2014). La combinación de un suelo con un material asfáltico puede perseguir dos objetivos principales:

- Incrementar la estabilidad del material, aprovechando la capacidad aglomerante del ligante asfáltico que recubre las partículas del suelo.
- Reducir la permeabilidad del terreno, disminuyendo su susceptibilidad frente a variaciones de humedad y, en consecuencia, mejorando su comportamiento en condiciones desfavorables.

2.2.6. *Pavimento Asfáltico Reciclado*

FHWA, (2016) Define que; el pavimento asfáltico reciclado (RAP RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT) es un material recuperado de capas existentes de mezcla asfáltica, que, tras ser triturado, puede reutilizarse como parte de nuevas mezclas o como estabilizante de suelos, aportando beneficios económicos y ambientales significativos.

Para Gonzales (2012) el reciclado de pavimentos es una técnica que consiste en pulverizar las superficies bituminosas y mezclarlas con la base granular ya existente. A esta mezcla se le añade un ligante, ya sea hidráulico o asfáltico, con el objetivo de crear una nueva capa con una alta capacidad de soporte. Este método no solo optimiza el uso de materiales existentes, sino que también mejora las condiciones estructurales del pavimento, extendiendo su vida útil y reduciendo la necesidad de materiales nuevos.

Gracias a su naturaleza granular, su contenido de asfalto residual y su resistencia estructural, el pavimento asfáltico reciclado se considera un estabilizante viable. Su aplicación puede afectar parámetros clave como la densidad seca máxima, el módulo resiliente, el módulo de

Poisson y la capacidad de soporte del suelo. Por ello, su influencia se evalúa experimentalmente para determinar su factibilidad técnica, económica y ambiental en proyectos de infraestructura vial. (Yang H. Huang, 2004)

2.2.6.1. Métodos de reciclaje del Pavimento Asfáltico Reciclado

Los métodos de reciclaje de pavimentos comprenden un conjunto de procesos destinados a recuperar, reprocesar y reutilizar materiales provenientes de capas asfálticas deterioradas con el fin de rehabilitar o reconstruir estructuras viales de manera eficiente y sostenible. Según la Federal Highway Administration (2016), estos métodos incluyen técnicas como el fresado, la recuperación en frío, la recuperación en caliente, y la recuperación profunda, las cuales permiten reincorporar el pavimento existente a nuevas capas estructurales reduciendo el uso de agregados vírgenes y ligante asfáltico nuevo.

- **Fresado de pavimento**

El fresado de pavimentos es un método de reciclaje ampliamente utilizado que consiste en la remoción controlada de una porción de la superficie asfáltica mediante una máquina fresadora equipada con un tambor giratorio de cortes. Este proceso genera el pavimento asfáltico reciclado (RAP), el cual puede ser procesado y reutilizado en nuevas mezclas asfálticas, bases estabilizadas o capas de subrasante.

En el ámbito local, las actividades de mantenimiento vial no contemplan un manejo adecuado del material asfáltico reciclado (RAP), el cual suele quedar expuesto a la intemperie y convertirse en una potencial fuente de contaminación. Este material, lejos de ser desechado, podría ser valorizado y reutilizado en procesos de estabilización de suelos, así como incorporado en nuevos diseños de pavimentos, contribuyendo tanto a la sostenibilidad como a la eficiencia constructiva.

Fotografía N°1 Material RAP desechado en la vía Cusco - Urcos



Fuente: Elaboración Propia

2.2.7. Pavimento

El pavimento constituye un sistema estructural compuesto por múltiples capas apoyadas sobre la subrasante, cuya función principal es soportar y dispersar las cargas generadas por el tránsito vehicular, garantizando mejores condiciones de seguridad y confort durante la circulación. Habitualmente, esta estructura está integrada por la capa de rodadura, la base y la subbase (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p. 25).

- **Capa de rodadura**

Corresponde al estrato superior del pavimento y puede estar constituido por mezclas bituminosas (pavimento flexible), concreto de cemento Portland (pavimento rígido) o adoquines. Su función esencial es recibir de manera directa las cargas generadas por el tránsito vehicular.

- **Base**

Es el nivel inmediatamente inferior a la capa de rodadura. Su propósito principal es proporcionar soporte estructural, distribuyendo y transmitiendo adecuadamente los esfuerzos

inducidos por el tránsito. Puede estar conformada por un material granular con adecuada capacidad drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o por materiales estabilizados con asfalto, cal o cemento.

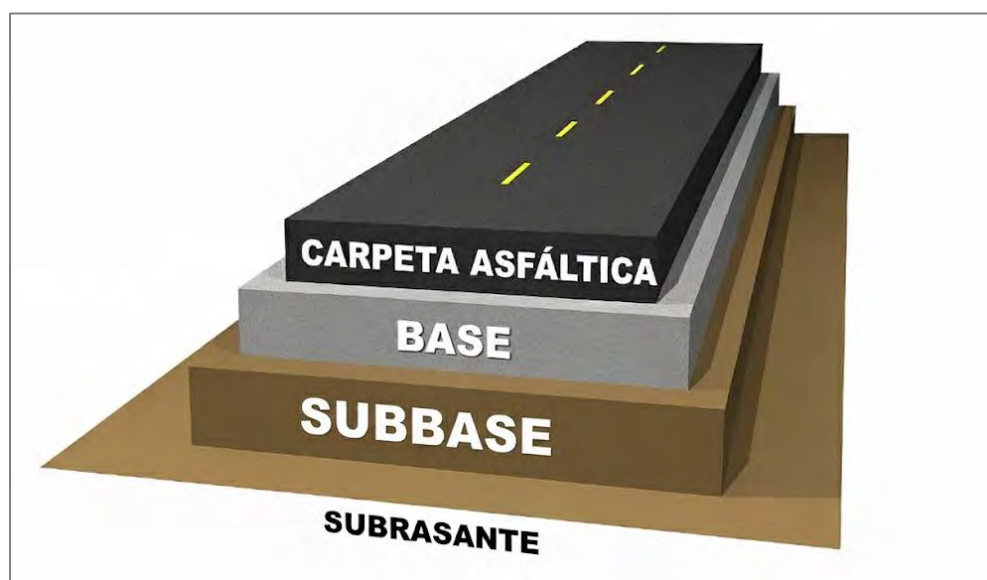
- **Subbase**

Se trata de una capa compuesta por materiales previamente especificados y con un espesor establecido en el diseño. Su misión es servir de apoyo a la base y a la carpeta de rodadura, además de contribuir al drenaje interno y a la reducción de la ascensión capilar del agua. Dependiendo del tipo de pavimento y del criterio de dimensionamiento, esta capa puede no ser necesaria. Puede emplearse material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o material estabilizado con asfalto, cal o cemento.

- **Subrasante**

La subrasante corresponde al estrato de suelo, ya sea en su estado natural o previamente estabilizado, que actúa como la base portante principal del sistema de pavimento. Las características geotécnicas de este suelo condicionan de manera decisiva el comportamiento estructural y la capacidad resistente de la vía.

Figura N°7 Elementos estructurales del pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia adaptado de la página Pavement Interactive

2.2.8. Diseño de pavimento flexible

2.2.8.1. Diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93

Este procedimiento se fundamenta en modelos desarrollados a partir del comportamiento estructural del pavimento, las solicitaciones del tránsito y la capacidad portante de la subrasante, con el fin de determinar los espesores requeridos. El objetivo del modelo es estimar el Número Estructural requerido (SNr), a partir del cual se establecen y seleccionan los espesores de cada una de las capas que conformarán la estructura del pavimento. Estas capas deben disponerse sobre la subrasante para garantizar que la vía soporte adecuadamente las cargas vehiculares y mantenga niveles aceptables de serviciabilidad durante el periodo de diseño previsto en el proyecto. En base al manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos sección suelos y pavimentos (2014, p. 121)

- **Periodo de diseño**

El presente manual de diseño para pavimentos flexibles considera un Período de Diseño de hasta 10 años para vías de bajo volumen de tránsito, así como alternativas de diseño en dos etapas de 10 años cada una o en una sola etapa de 20 años. No obstante, el ingeniero encargado del diseño puede modificar dicho período en función de las características particulares del proyecto y de los requerimientos establecidos por la Entidad.

- **Variables**

La formulación fundamental utilizada para determinar la estructura de un pavimento flexible se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (17)$$

Ejes equivalentes (W18)

Las cargas de tráfico que actúan sobre el pavimento se expresan en ESALs (Equivalent Single Axle Loads), La acumulación de ESALs se representa mediante el parámetro W18 en cual representa el número acumulado de Ejes Simples Equivalentes de 18 000 lb (80 kN) proyectado para todo el Período de Diseño. Este valor corresponde al total de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas y se determina a partir de la información obtenida en el estudio de tráfico esto según el manual de carreteras suelos, geología geotecnia y pavimentos sección suelos y pavimentos (2014, p. 119).

Cuadro N° 18 Número de ejes equivalentes

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T _{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T _{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T _{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T _{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T _{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE

Fuente: Elaborado por el manual de carreteras MTC (2014, p. 119)

Módulo Resiliente

El Módulo de Resiliencia (MR) constituye un parámetro que expresa la rigidez del suelo de subrasante. Para su determinación, debe emplearse el ensayo de módulo resiliente realizado conforme a los procedimientos y recomendaciones establecidos por la AASHTO T307-99.

Confiabilidad (%R)

El método AASHTO incorpora el concepto de confiabilidad (%R), entendido como la probabilidad de que la estructura del pavimento desempeñe, a lo largo de su período de diseño, el comportamiento previsto. Este nivel de confiabilidad depende de la variabilidad asociada a los distintos factores que afectan el desempeño estructural del pavimento; no obstante, pueden presentarse solicitudes distintas a las estimadas originalmente. Cabe señalar que la

confiabilidad no se ingresa de manera directa en la ecuación de diseño. En su lugar, se emplea el coeficiente estadístico denominado Desviación Normal Estándar (ZR). Cuadro N°18

Tp tráfico pesado

En el contexto de diseño de pavimentos, tráfico pesado se refiere a los vehículos cuya carga por eje es considerablemente alta y que producen mayor daño al pavimento en comparación con vehículos livianos. Esto es clave para calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes (EE) o ESALs, y para definir los espesores de las capas del pavimento.

Cuadro N° 19 Valores sugeridos de Nivel de Confiabilidad para diseños realizados en una sola etapa (10 o 20 años), establecidos en función del rango de tránsito.

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,000	150,000	65%
	TP1	150,001	300,000	70%
	TP2	300,001	500,000	75%
	TP3	500,001	750,000	80%
	TP4	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	85%
	TP6	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%
	TP9	7,500,001	10'000,000	90%
	TP10	10'000,001	12'500,000	90%
	TP11	12'500,001	15'000,000	90%
	TP12	15'000,001	20'000,000	95%
	TP13	20'000,001	25'000,000	95%
	TP14	25'000,001	30'000,000	95%
	TP15	>30'000,000		95%

Fuente: elaboración del manual de carreteras (MTC 2014) basado en la guía AASHTO 93

Coficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (ZR)

El coeficiente estadístico (ZR) corresponde al valor asociado al nivel de confiabilidad elegido, dentro del marco de una distribución normal de los datos.

Cuadro N° 20 Coeficiente Estadístico de la Desviación Normal Estándar (Z_R) Aplicable a diseños realizados en una sola etapa (10 o 20 años), definido en función del Nivel de Confiabilidad seleccionado y del rango de tránsito considerado.

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z _R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T _{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T _{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T _{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T _{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T _{P15}	>30'000,000		-1.645

Fuente: elaboración del manual de carreteras (MTC 2014) basado en la guía AASHTO 93

Desviación Estándar Combinada (S_o)

La Desviación Estándar Combinada (S_o) incorpora la variabilidad asociada a la estimación del tránsito y a otros factores que influyen en el desempeño del pavimento, tales como las condiciones de construcción, el ambiente y la incertidumbre propia del modelo de diseño. La Guía AASHTO sugiere emplear valores de S_o entre 0.40 y 0.50 para pavimentos flexibles. En el manual de carreteras (2014, p. 126), se adopta un valor de 0.45 para los diseños recomendados.

Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) expresa el nivel de comodidad y calidad de rodadura que percibe el usuario durante la circulación. Este índice toma valores entre 0 y 5, donde 5 representa la máxima comodidad teórica prácticamente inalcanzable en condiciones reales y 0 corresponde a la peor condición posible. A medida que la vía se deteriora, el valor del PSI disminuye en concordancia con la pérdida de su condición funcional.

Serviciabilidad inicial P_i

La Serviciosabilidad Inicial (P_i) se refiere al estado o nivel de desempeño de una vía recién construida, antes de que haya sido afectada por el tránsito o factores ambientales.

Cuadro N° 21 Valores del índice de serviciosabilidad inicial P_i

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_i)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	75,00	150,000	3.80
	T_{P1}	150,001	300,000	3.80
	T_{P2}	300,001	500,000	3.80
	T_{P3}	500,001	750,000	3.80
	T_{P4}	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	4.00
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	4.00
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	4.00
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	4.00
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	4.00
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	4.00
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	4.00
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	4.20
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	4.20
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	4.20
	T_{P15}	>30'000,000		4.20

Fuente: Elaborado por el manual de carreteras según la guía ASSHTO 93

Serviciabilidad final o terminal P_t

La Serviciosabilidad Inicial (P_i) se refiere al estado o nivel de desempeño de una vía recién construida, antes de que haya sido afectada por el tránsito o factores ambientales.

Cuadro N° 22 Valores del índice de serviciosabilidad final o terminal P_t

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (P_t)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	75,000	150,000	2.00
	T_{P1}	150,001	300,000	2.00
	T_{P2}	300,001	500,000	2.00
	T_{P3}	500,001	750,000	2.00
	T_{P4}	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	3.00
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T_{P15}	>30'000,000		3.00

Fuente: Elaborado por el manual de carreteras según la guía ASSHTO 93

Variación de Serviciabilidad (ΔPSI)

El ΔPSI representa la variación entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad terminal establecidas para el proyecto, y refleja la pérdida de calidad funcional permitida durante el período de diseño.

Número Estructural Propuesto (SNR)

Los datos obtenidos y procesados se incorporan en la ecuación de diseño AASHTO para determinar el Número Estructural (SN), el cual expresa el espesor total requerido para el pavimento. Este valor debe descomponerse en los espesores efectivos de cada una de las capas que integran la estructura rodadura, base y subbase utilizando los coeficientes estructurales correspondientes. Esta conversión se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3 \quad (18)$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 = coeficientes estructurales de las capas; superficial, base y subbase, respectivamente

d_1, d_2, d_3 = espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente

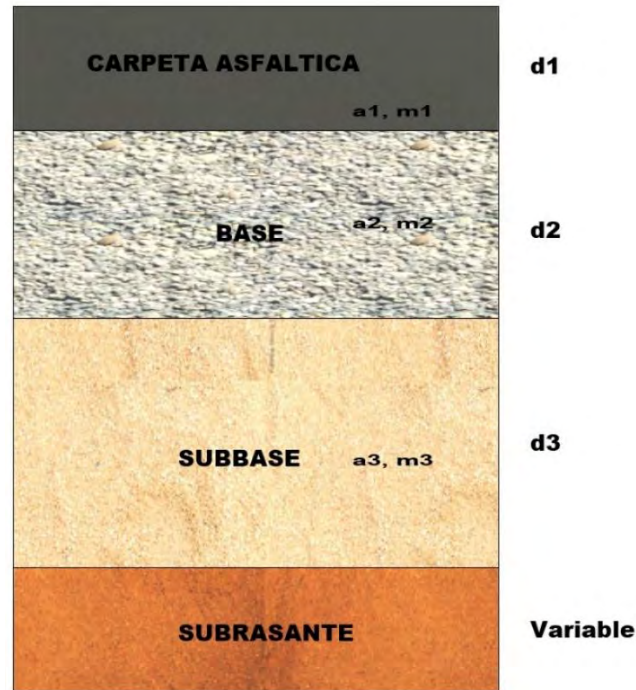
m_2, m_3 = coeficiente de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.

Cuadro N° 23 Coeficiente estructurales a_i de las capas del pavimento

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico. Este ES un valor Maximo y de utilizarse como tal, El expediente de ingeniería debe ser explícito en cuanto a pautas de cumplimiento obligatorio como realizar : - Un control de calidad riguroso - Indicar un valor de Estabilidad Marshal, superior a 1000 kf-f - Alertar sobre la susceptibilidad al fisuramiento térmico y por fatiga (AASHTO 1993)
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Micropavimento 25 mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considerapor no tener aporte estructural			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 10'000,000$ EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $> 10'000,000$ EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a_{2b}	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a_{2c}	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

Fuente: elaborado por el manual de carreteras según la guía del ASSHTO 93

Figura N°8 Espesores de la estructura del pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia para diseño de pavimentos flexibles

Así mismo, según el manual de carreteras (2014, p. 134) para el diseño de pavimentos recomienda El mínimo espesor permitido para la capa superficial de mezcla asfáltica en caliente es de 40 mm, mientras que las capas granulares, tanto de base como de subbase, deben contar con un espesor constructivo no menor a 150 mm.

Según la normativa peruana del manual de carreteras en el proceso de construcción, la subrasante por lo menos deberá ser compactada al 95% un espesor de 30 cm.

Coefficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje se determina a partir de dos factores principales: La eficiencia del sistema de drenaje, que refleja la capacidad de la vía para evacuar el agua de manera adecuada y La exposición a la saturación, definida como el porcentaje del año en que el pavimento se encuentra sometido a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Cuadro N° 24 Calidad de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: elaborado por el manual de carreteras según la guía del ASSHTO 93

Cuadro N° 25 Valores para m_i del coeficiente de drenaje de base y subbase granulares no tratadas

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Insuficiente	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Insuficiente	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: elaborado por el manual de carreteras según la guía del ASSHTO 93

Para la determinación de las secciones de pavimento según el Manual de carreteras (2014, p. 130), se adopta un coeficiente de drenaje de 1.00 para las capas de base y subbase.

2.2.9. Normatividad

- MTC E 101 muestreo de suelos y rocas
- MTC E 103 reducción de muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo
- MTC E 104 conservación y transporte de muestras de suelos
- MTC E 105 obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)
- MTC E 106 preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo
- MTC E 107 análisis granulométrico de suelos por tamizado
- MTC E 108 determinación del contenido de humedad de un suelo
- MTC E 110 determinación del límite líquido de los suelos
- MTC E 111 determinación del límite plástico LP de los suelos e índice de plasticidad IP
- MTC E 115 compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)
- MTC E 132 CBR de suelos (laboratorio)

Normas referenciales internacionales de la ASTM (American Society for Testing and Materials)

- Clasificación de suelos ASTM D 2487 (SUCS)
- Clasificación de suelos ASTM D 3282
- Módulo de Poisson ASTM D 2166

Normas referenciales internacionales AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

- Clasificación de suelos AASHTO - 145
- Módulo resiliente AASHTO T307 - 99

2.3. Formulación de hipótesis

2.3.1. *Hipótesis general*

HG: Las propiedades mecánicas de suelos finos mejora significativamente con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante.

2.3.2. *Hipótesis específicas*

HE1: La capacidad de soporte (CBR) en suelos finos se incrementa con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante.

HE2: La resistencia a la compresión no confinada en suelos finos varía en función a la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante.

HE3: El módulo de Poisson en suelos finos mejora el comportamiento mecánico con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante.

HE4: El módulo resiliente en suelos finos se incrementa con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante lo cual influye favorablemente en el diseño de un pavimento flexible.

2.4. Variables de estudio

2.4.1. Variable independiente

2.4.1.1. Pavimento Asfáltico Reciclado

El contenido de pavimento asfáltico reciclado (RAP) se refiere al porcentaje en peso de un agregado proveniente de capas asfálticas recicladas de pavimentos existentes. Tras ser triturado y acondicionado, este material se incorpora al suelo fino con el objetivo de modificar sus propiedades mecánicas. En esta investigación, se utiliza bajo condiciones controladas de laboratorio en proporciones del 15%, 20%, 25% y 30%.

Según Huang (2004) el contenido de pavimento asfáltico reciclado del 10% se utiliza principalmente para mejorar la granulometría del suelo fino, reduciendo su plasticidad y mejorando su comportamiento bajo carga sin generar mezclas demasiado secas o difíciles de compactar. Para un contenido del 30% de pavimento asfáltico reciclado es el límite superior comúnmente recomendado por Huang para mezclas con suelos finos. A este porcentaje, el pavimento asfáltico reciclado mejora significativamente la capacidad de soporte (CBR) y el módulo resiliente, especialmente cuando el suelo base es de baja calidad estructural. Sin embargo, advierte que porcentajes superiores pueden afectar la compactación y provocar segregación o mezcla no homogénea.

2.4.1.2. Variable dependiente

2.4.1.2.1. Propiedades mecánicas del suelo

- **Capacidad de soporte**

La capacidad de soporte del suelo se define como una variable dependiente evaluada a través del ensayo CBR en laboratorio, el cual permite medir la resistencia del suelo estabilizado frente a una carga de referencia. El CBR se expresa en porcentaje (%) y se emplea como parámetro

para analizar el efecto del contenido de RAP en el comportamiento mecánico de la subrasante, conforme a los procedimientos establecidos en la norma en el Manual de Ensayos del MTC (2016)

- **Compresión no confinada**

Para Terzaghi (Terzaghi Karl et al., 1996) La compresión no confinada mide la carga axial máxima que un suelo cohesivo puede soportar sin confinamiento, proporcionando una estimación rápida de la resistencia al corte en condiciones no drenadas.

- **Módulo de Poisson**

Según Braja M. Das (2012) El módulo de Poisson (ν) es la relación entre la deformación lateral y la deformación axial en un medio elástico cuando se somete a carga uniaxial. Para materiales geotécnicos como suelos, ν suele variar entre 0.20 y 0.50, dependiendo del tipo de suelo, su grado de saturación y sus condiciones de compactación. El módulo resiliente es evaluado como una variable dependiente que representa la respuesta elástica del suelo estabilizado bajo cargas repetidas, simulando las condiciones reales de tránsito vehicular

- **Módulo Resiliente**

Según Huang (2004) El módulo resiliente es evaluado como una variable dependiente que representa la respuesta elástica del suelo estabilizado bajo cargas repetidas, simulando las condiciones reales de tránsito vehicular. En la presente investigación, el módulo resiliente se utiliza para analizar la influencia del porcentaje de RAP en la rigidez del suelo, siendo un parámetro fundamental para el análisis estructural de pavimentos conforme al enfoque mecanicista–empírico

2.4.2. Operacionalización de variables

“Análisis de las propiedades mecánicas en suelos finos incorporando pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante,

Cusco - 2025”

VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	TECNICA	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE				
X1: Pavimento asfáltico reciclado	<u>Contenido de pavimento asfáltico reciclado</u>	Porcentaje de pavimento asfáltico reciclado (15%, 20%, 25% y 30%)	Preparación y dosificación	Balanza
DEPENDIENTE				
Y1: Propiedades Mecánicas del suelo	<u>Capacidad de Soporte</u>	Índice CBR (%)	Ensayo de CBR	Equipo de ensayo CBR
	<u>Compresión no Confinada</u>	Resistencia a la compresión no confinada (kpa)	Ensayo de compresión no confinada	Equipo anillo de carga
	<u>Módulo de Poisson</u>	Relación de deformación: lateral/axial	Ensayo de deformación axial y lateral	Equipo de anillo carga y dispositivo de medición de deformación lateral
	<u>Módulo Resiliente</u>	Resistencia elástica (Mpa) para el diseño de un pavimento flexible.	Ensayo triaxial de carga repetida	Equipo triaxial Cíclico

2.5. Definición de términos básicos

2.5.1. *Pavimento Asfáltico Reciclado*

El pavimento asfáltico reciclado, denominado RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), corresponde al material extraído del fresado o demolición de estructuras asfálticas en servicio. Está constituido por agregados recubiertos con un ligante asfáltico envejecido y puede reutilizarse como insumo granular en la construcción o estabilización de capas dentro de sistemas de pavimentación (FHWA, 2011; Huang, 2004).

2.5.2. *Capacidad de Soporte*

La capacidad de soporte, cuantificada a través del índice CBR (California Bearing Ratio), constituye un parámetro que refleja la resistencia del suelo frente a una carga de referencia. Este indicador es esencial para valorar el desempeño de la subrasante y establecer los espesores requeridos de las capas estructurales del pavimento (MTC, 2016)

2.5.3. *Compresión no confinada*

El ensayo de compresión no confinada es una prueba de laboratorio que consiste en aplicar una carga axial creciente sobre una muestra cilíndrica de suelo cohesivo, sin la presencia de esfuerzos laterales de confinamiento, con el objetivo de determinar su resistencia a la compresión simple y estimar la cohesión no drenada del material (Das, 2011)

2.5.4. *Módulo de Poisson*

El módulo de Poisson es un parámetro que cuantifica la proporción entre la deformación transversal y la deformación axial generada en un material al aplicarse una carga unidireccional. Este coeficiente se emplea para analizar el comportamiento elástico de suelos y otros materiales utilizados en estructuras de pavimentos (Das, 2011)

2.5.5. Módulo Resiliente

El módulo resiliente es un parámetro mecánico que expresa la rigidez elástica de un suelo o material granular cuando es sometido a cargas cíclicas, reproduciendo el efecto del tránsito vehicular. Este indicador constituye una referencia fundamental en el diseño mecanicista de pavimentos flexibles (Huang, 2004)

2.5.6. Subrasante

Para Braja M. Das (2010) La subrasante es la capa natural de suelo que sirve como soporte inmediato de la estructura del pavimento, cuya capacidad de carga influye directamente en su desempeño y vida útil.

2.5.7. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos comprende un conjunto de procedimientos destinados a optimizar las propiedades físicas y mecánicas del terreno, incluyendo su resistencia, rigidez y durabilidad. Esto se logra mediante la incorporación de agentes estabilizantes o la aplicación de métodos mecánicos, con el fin de acondicionar el suelo para su adecuado desempeño en proyectos de ingeniería (MTC 2016)

2.5.8. Tipo de suelo

Según B. Das (2010) La identificación y clasificación de los suelos es fundamental para evaluar su idoneidad como material de construcción o fundación. El tipo de suelo se determina generalmente por medio de análisis granulométrico (tamizado e hidrometría) y los límites de Atterberg. Estas propiedades permiten categorizar el suelo como grava, arena, limo o arcilla, y además, según su plasticidad y contenido de finos, se puede diferenciar entre suelos de baja y alta compresibilidad.

2.5.9. Suelo fino

Los suelos finos son aquellos formados predominantemente por partículas que pasan el tamiz N.º 200, tales como limos y arcillas. Estos materiales suelen presentar baja capacidad portante y marcada susceptibilidad a las variaciones de humedad, lo que restringe su utilización directa como subrasante sin algún tipo de mejora previa (Das, 2011)

2.5.10. Grado de compactación

El grado de compactación corresponde al cociente entre la densidad seca medida en campo y la densidad seca máxima obtenida en laboratorio, expresado en términos porcentuales. Este parámetro sirve como indicador del nivel de consolidación logrado por un suelo o material utilizado en capas de pavimento (MTC, 2016)

CAPITULO III: MÉTODO

3.1. Alcance del Estudio

3.1.1. *Enfoque de investigación*

Es de enfoque cuantitativo, puesto que se realizará la recolección de datos en términos numéricos con el objetivo de lograr determinar las características del suelo, posteriormente, es necesario determinar las propiedades mecánicas de suelos finos con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado.

Un enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para validar o probar una hipótesis previamente planteada, esto se realiza en función de la medición numérica y los análisis estadísticos para probar teorías (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.1.2. *Nivel de investigación*

Según Tamayo y Tamayo (2003), la investigación de nivel aplicativo o aplicada se orienta a la búsqueda de soluciones concretas a problemas que se presentan en contextos específicos, haciendo uso del conocimiento científico previamente obtenido a través de estudios teóricos o básicos. Este tipo de investigación no busca generar teoría nueva, sino utilizar la existente para intervenir directamente en la realidad, mejorando prácticas, optimizando procesos o resolviendo situaciones técnicas. Se caracteriza por tener una finalidad práctica e inmediata, ya que sus resultados pueden implementarse directamente en el entorno social, tecnológico, educativo, ambiental o ingenieril.

Esta investigación es de tipo transversal de nivel aplicativo, debido a que el estudio se desarrollará en un tiempo único donde se detallará y estudiará las variables en un tiempo determinado.

3.2. Diseño de la investigación

Diseño metodológico (Experimental)

El presente trabajo de investigación es de tipo Experimental, en el cual se prepararán mezclas de suelo fino con diferentes porcentajes de pavimento asfáltico reciclado, logrando de esta manera verificar los efectos de este agente estabilizador en las propiedades mecánicas del suelo.

(Hernández Sampieri et al., 2014) mencionan que; el diseño experimental se caracteriza por la manipulación intencional de una o más variables independientes, con el propósito de observar sus efectos sobre una o más variables dependientes, en condiciones rigurosamente controladas.

3.3. Población

La población de estudio corresponde a los 5 km de vía que conforman la red vial vecinal o rural de la comunidad de Illapata, ubicada en el distrito de Ccatcca, Cusco.

3.4. Muestra

Se obtendrán muestras representativas en cada calicata excavada a lo largo de la vía vecinal o rural de la comunidad de Illapata, ubicada en el distrito de Ccatcca, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco.

3.4.1. *Tamaño de muestra*

Para la presente investigación se definió la excavación de 10 calicatas, cada una con una profundidad de 1.50 metros y ubicadas aproximadamente cada 500 metros. Esta distribución cumple con los parámetros mínimos establecidos por el Manual del MTC (Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014) el cual recomienda realizar al menos una calicata por kilómetro en vías de bajo volumen de tránsito. Además, se consideran las siguientes observaciones complementarias.

- Clasificación visual: 0,50 kg – 50 – 500 g
- Análisis granulométrico y constantes de suelos no granulares: 0,50 a 2,5 kg
- Ensayo de compactación y granulometría de suelo-agregado granular 20 – 40 kg

3.4.2. Método de muestreo

El método de muestreo es no probabilístico por conveniencia ya que permite obtener materiales representativos del contexto local de estudio y facilita la ejecución de ensayos experimentales en condiciones controladas.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Observación directa:

Se realizará un seguimiento visual sistemático en la estratigrafía de cada calicata excavada en campo, registrando la variación de las características geológicas del suelo en la zona.

Revisión documentaria:

Se recopilará y analizará información bibliográfica relacionada con las normativas vigentes del MTC con el respaldo de las normas internacionales de ser el caso.

3.5.2. Instrumentos

En esta investigación, se utilizó como técnica de recolección de datos el empleo de guías de observación y fichas de registro, las cuales permitieron recopilar información referente a las variables de estudio.

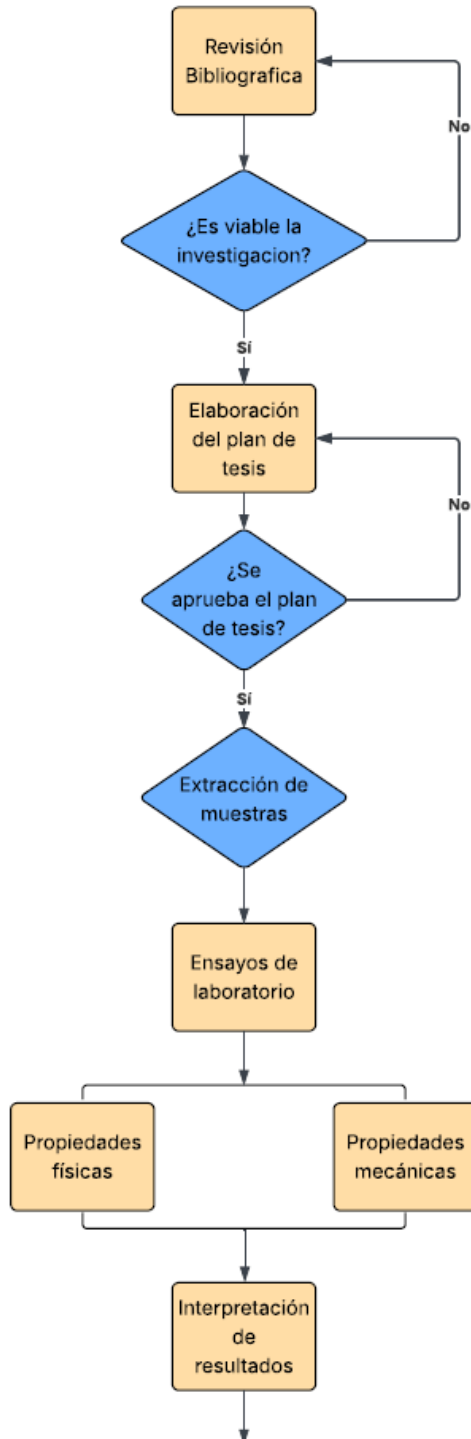
3.5.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

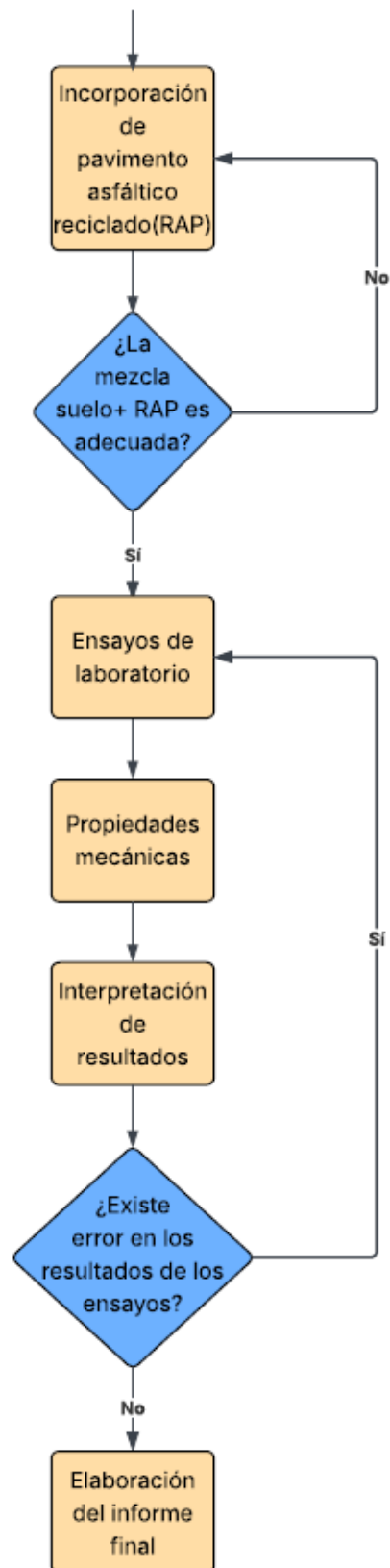
Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se empleó como técnica de apoyo el uso de programas informáticos, principalmente Microsoft Word y Microsoft Excel, Python y Openpave que permitieron registrar, organizar y analizar la información obtenida durante las etapas experimental y documental.

3.6. Plan de análisis de datos

Se presenta a continuación la secuencia de análisis a plantear a fin de lograr demostrar la veracidad o falsedad de las hipótesis planteadas inicialmente.

Diagrama N° 1 Flujograma general del desarrollo de la investigación





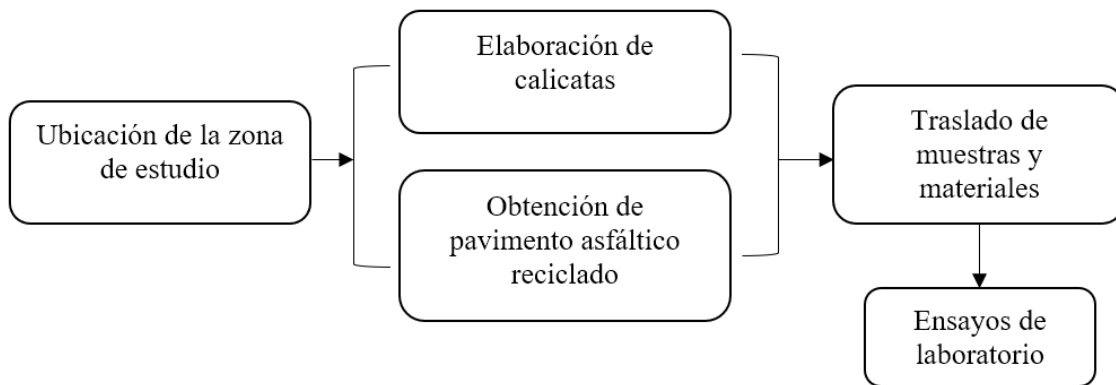
Fuente: Elaboración propia en base al desarrollo de la investigación

3.7. Recolección de datos

3.7.1. Proceso de recolección de datos

Para la presente investigación se realizó la recolección de datos en base al siguiente diagrama.

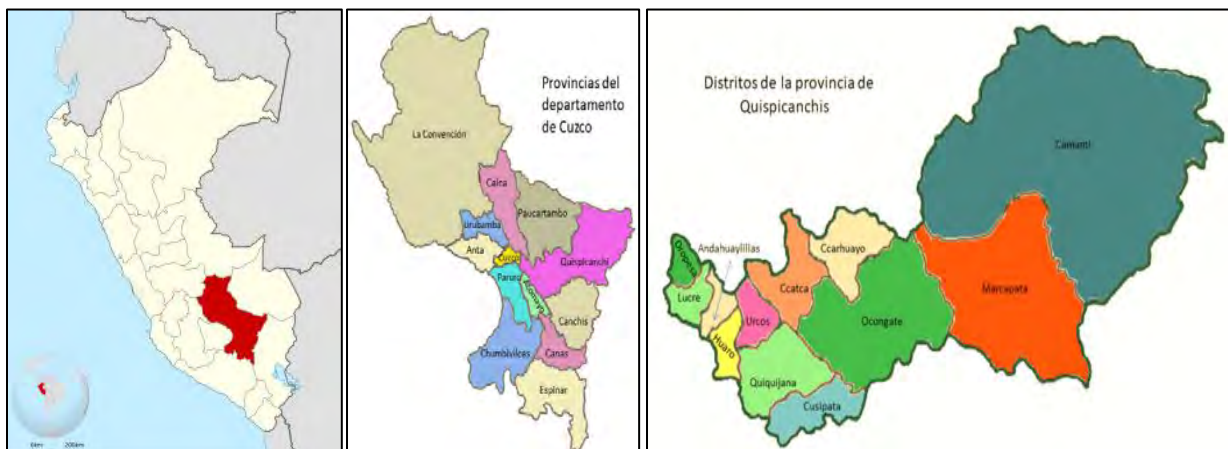
Diagrama N° 2 Recolección de datos



3.7.2. Ubicación de toma de muestras

La ubicación de esta investigación está comprendida desde el punto de inicio de la carretera de la comunidad de Illapata km 0+000 hasta la progresiva km 5+000 en el distrito de Ccatcca, provincia Quispicanchi departamento del Cusco.

Figura N°9 Mapa geográfico del distrito Ccatcca



Fuente: Elaboración propia adaptada del mapa geográfico del Perú

Figura N°10 Ubicación de las calicatas en el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia

La figura N°10 muestra la ubicación de las calicatas del C-01 hasta la calicata C-10 a lo largo del tramo de estudio.

3.7.3. Descripción del tramo de investigación

El tramo analizado tiene una extensión de 5 kilómetros y un ancho promedio de 4,00 metros. Esta vía, perteneciente a la red vial vecinal o rural, permite la conexión entre las comunidades de Illapata y Lloqueta, así como con el centro poblado de Huara y el distrito de Ccatcca, contribuyendo al desarrollo económico, social y productivo de la población local. El entorno geográfico del tramo se distingue por zonas destinadas al pastoreo y al cultivo de papa, actividades típicas de la economía agrícola de la región.

La fotografía N° 2 muestra el tramo comprendido entre las progresivas km 0+000 hasta el km 3+100 y la fotografía N° 3 muestra el tramo entre las progresivas km 3+100 hasta km 5+000

Fotografía N°2 Primer tramo de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°3 Segundo tramo de la zona de estudio



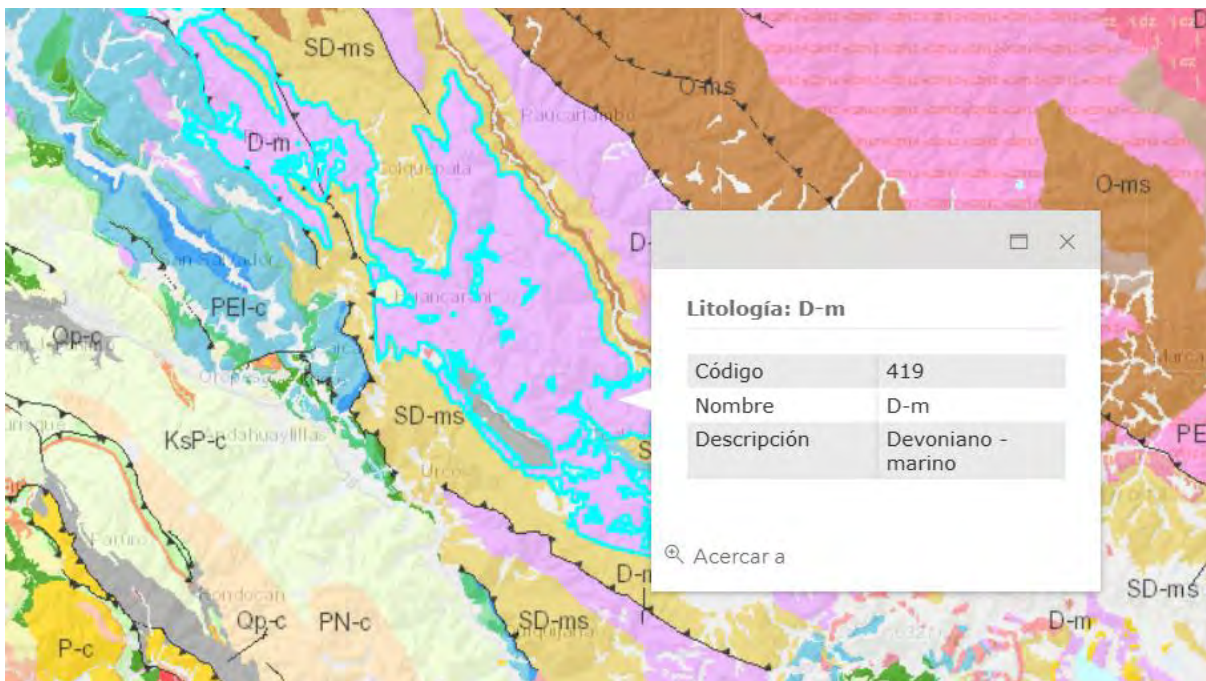
Fuente: Elaboración propia

- **Zona geológica de estudio**

La zona de estudio se encuentra dentro de una formación geológica clasificada como D-m, correspondiente al Devoniano marino, según la cartografía oficial del INGEMMET. Esta unidad geológica está compuesta principalmente por depósitos sedimentarios marinos, lo que suele

indicar la presencia de suelos finos con características homogéneas arcillosas y limosas, típicas de materiales derivados de ambientes marinos antiguos figura N°11.

Figura N°11 Zona geológica de la zona de estudio distrito Ccatcca



Fuente: imagen tomada de la página oficial de INGEMMET

3.7.4. Elaboración de calicatas y extracción de muestras

A lo largo del tramo estudiado la ubicación y excavación de las 10 calicatas se efectuó de manera consecutiva. y de acuerdo al cambio geológico obtenida visualmente en campo en el tramo km 0+000 hasta el km 3+350 se consideró 8 calicatas con presencia de suelos finos aproximadamente cada 400 metros, a su vez el tramo km 3+350 al km 5+000 se realizó 2 calicatas cada 900 metros aproximadamente, donde se observa presencia de roca suelta, Las muestras extraídas fueron a una iprofundidad imínima de 1.50 metros tal como establece el “Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC”

Para la excavación de calicatas se utilizó equipo mecánico (retroexcavadora), ya que en esta investigación se trabajará con muestras tratadas. Las muestras se recolectaron en sacos con un

peso promedio de 45 kg cada uno. Cada unidad fue debidamente identificada con su código correspondiente, el nombre de la calicata de procedencia y la fecha de extracción.

A continuación se muestra la extracción de las calicatas:

CALICATA C-01

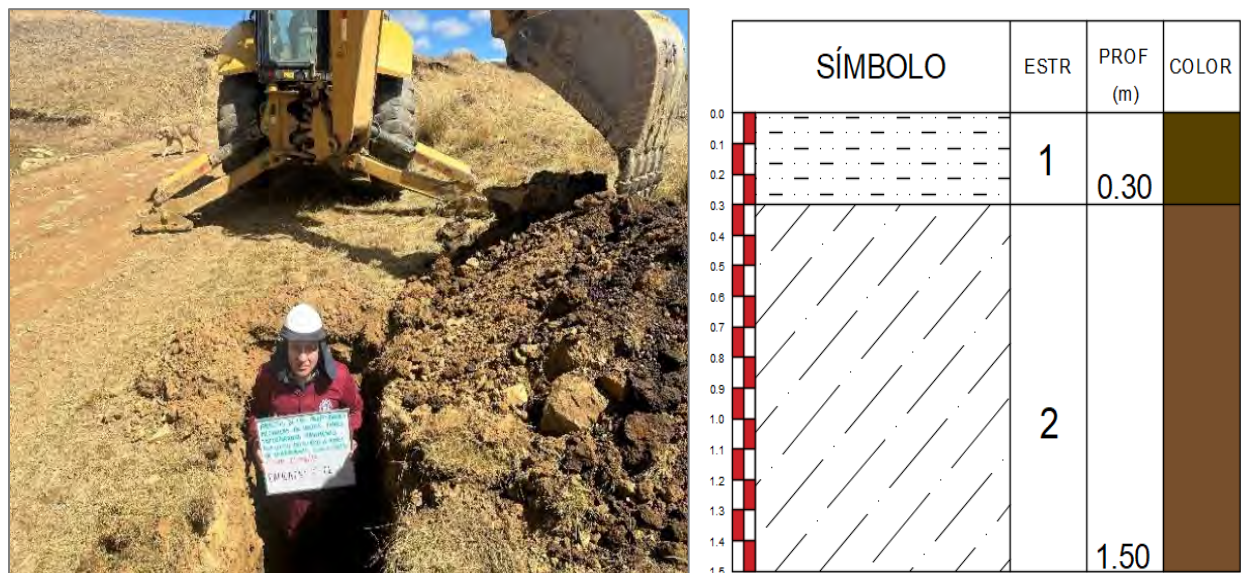
Ubicada en el kilómetro 0+050 y presenta una profundidad de 1.50 m, excavada en el margen derecho de la vía. En este punto se identifican dos estratos:

Estrato 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta una profundidad de 0.30 metros presencia de material orgánico.

Estrato 2: Desde una profundidad de 0.30 metros hasta 1.50m presencia de arcilla color marrón con arena.

La fotografía N°4 muestra el proceso de la calicata C-01 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°4 Calicata C-01 Excavación, extracción y estratigrafía



Fuente: Elaboración propia

CALICATA C-02

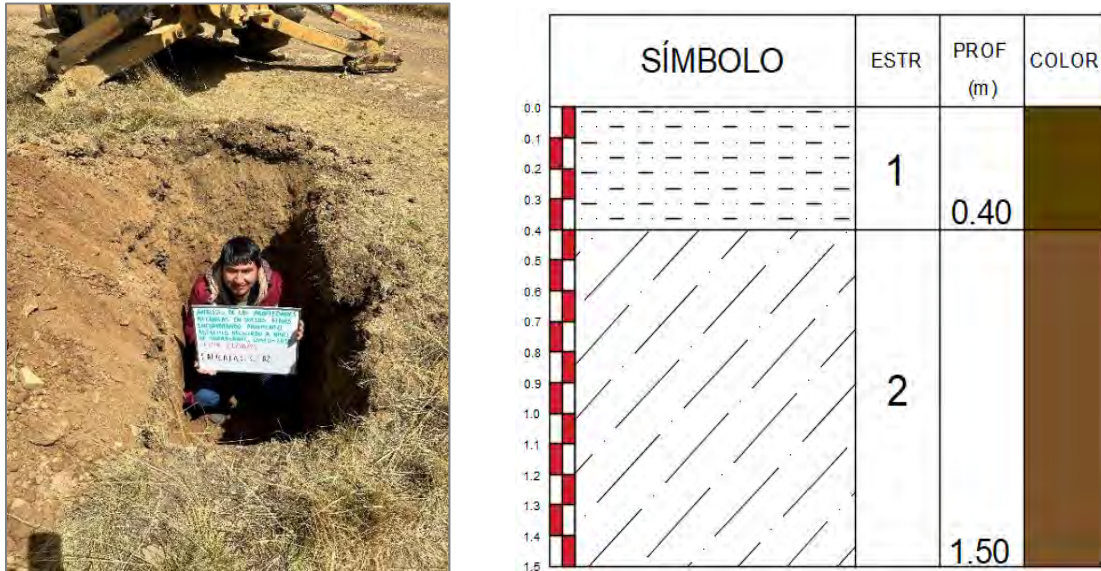
Ubicada en el kilómetro 0+500 con una profundidad de 1.50 excavado en el margen derecho de la vía. Con presencia de dos estratos:

Estrato 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 0.40 metros presencia de material orgánico.

Estrato 2: Desde una profundidad de 0.40 metros hasta 1.50 metros, presencia de arcilla, presencia de arena y ligeramente presencia de grava.

La fotografía N°5 muestra el proceso de la calicata C-02 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°5 Calicata C-02 Excavación, extracción y estratigrafía



Fuente: Elaboración propia

CALICATA C-03

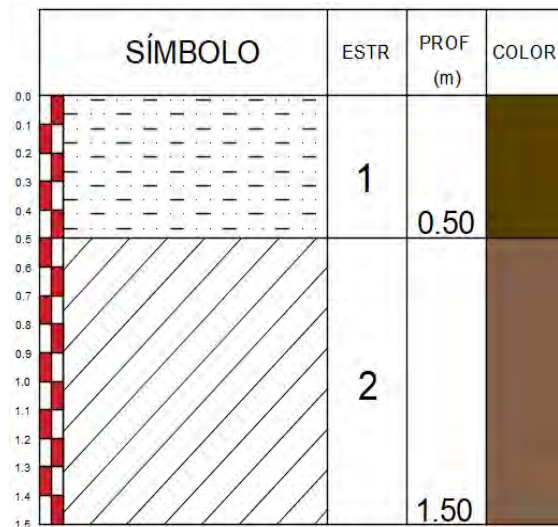
Ubicada en el kilómetro 0+920 con una profundidad de 1.50 metros excavado en el margen izquierdo de la vía. Con presencia de dos estratos:

Estrato 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 0.50 metros presencia de material orgánico color oscuro.

Estrato 2: Desde una profundidad de 0.50 metros hasta 1.50 metros, presencia de arcilla y arenilla.

La fotografía N°6 muestra el proceso de la calicata C-03 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°6 Calicata C-03 Excavación, extracción y estratigrafía



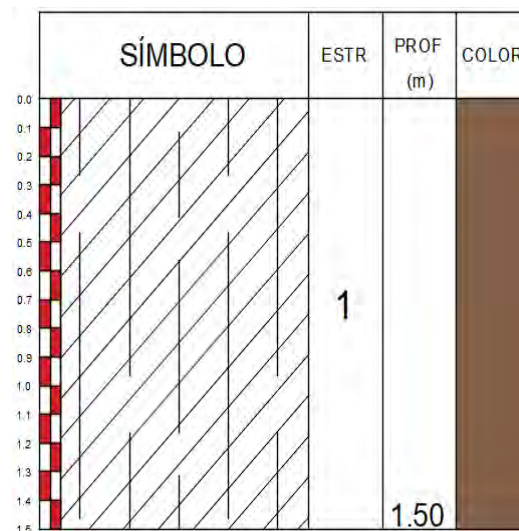
Fuente: Elaboración propia

CALICATA C-04

Ubicada en el kilómetro 1+320 con una profundidad de 1.50 metros excavado en el margen izquierdo de la vía. Con presencia de un estrato: Estrado 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 1.50 metros, presencia de arcilla y limo color marrón.

La fotografía N°7 muestra el proceso de la calicata C-04 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°7 Calicata C-04 Excavación, extracción y estratigrafía



Fuente: Elaboración propia

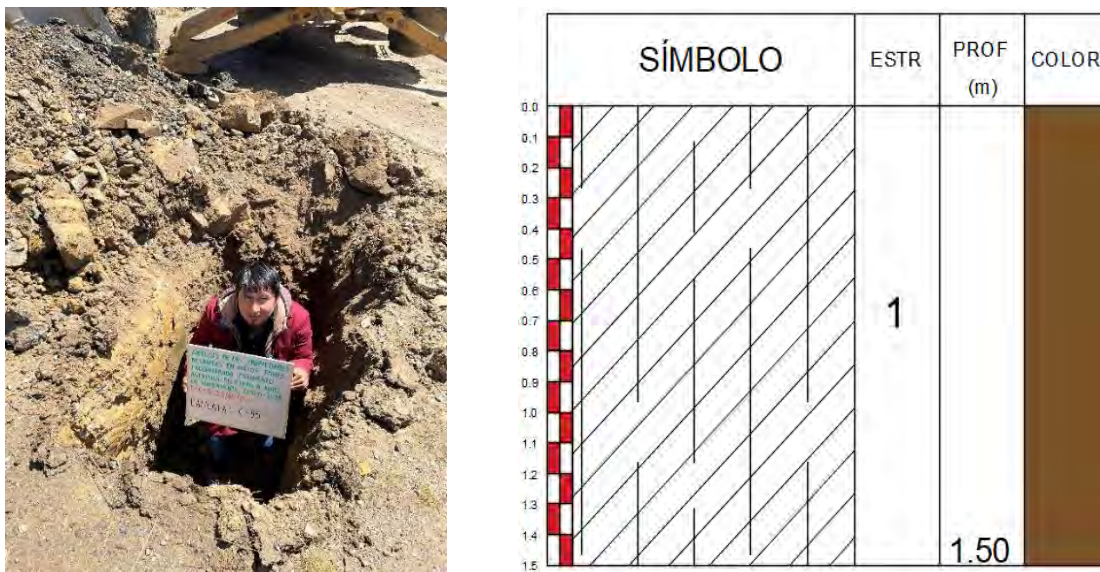
CALICATA C-05

Ubicada en el kilómetro 1+750 con una profundidad de 1.50 metros excavado en el margen izquierdo de la vía. Con presencia de un estrato:

Estrado 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 1.50 metros, presencia de arcilla color marrón, limo y arenilla.

La fotografía N°8 muestra el proceso de la calicata C-05 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°8 Calicata C-05 Excavación, extracción y estratigrafía



Fuente: Elaboración propia

CALICATA C-06

Ubicada en el kilómetro 2+200 con una profundidad de 1.50 metros excavado en el margen izquierdo de la vía. Con presencia de dos estratos:

Estrado 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 0.30 metros, presencia de grava con fragmentos de pizarra sedimentada.

Estrado 2: Desde una profundidad de 0.30 metros hasta 1.50 metros, presencia de arcilla y limo.

La fotografía N°9 muestra el proceso de la calicata C-06 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°9 Calicata C-06 Excavación, extracción y estratigrafía



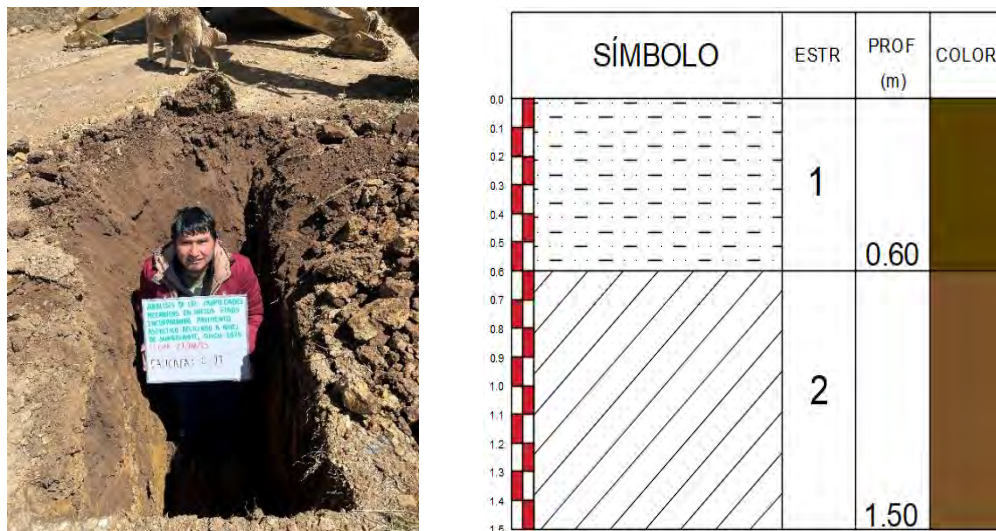
Fuente: Elaboración propia

CALICATA C-07

Ubicada en el kilómetro 2+620 con una profundidad de 1.50 metros excavado en el margen derecho de la vía. Con presencia de dos estratos: Estrado 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 0.60 metros, presencia material orgánico color oscuro. Estrado 2: Desde una profundidad de 0.60 metros hasta 1.50 metros, presencia de arcilla color marrón y limo con arenilla.

La fotografía N°10 muestra el proceso de la calicata C-07 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°10 Calicata C-07 Excavación, extracción y estratigrafía



Fuente: Elaboración propia

CALICATA C-08

Ubicada en el kilómetro 3+100 con una profundidad de 1.50 metros excavado en el margen derecho de la vía. Con presencia de dos estratos:

Estrado 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 0.20 metros, presencia material grueso arena y ligeramente gravas. Estrado 2: Desde una profundidad de 0.20 metros hasta 1.50 metros, presencia de arcilla color marrón y limo.

La fotografía N°11 muestra el proceso de la calicata C-08 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°11 Calicata C-08 Excavación, extracción y estratigrafía



	SÍMBOLO	ESTR	PROF (m)	COLOR
0.0	[Symbol]	1	0.20	[Color]
0.1				
0.2	[Symbol]	2	1.50	[Color]
0.3				
0.4				
0.5				
0.6				
0.7				
0.8				
0.9				
1.0				
1.1				
1.2				
1.3				
1.4				
1.5				

Fuente: Elaboración propia

CALICATA C-09

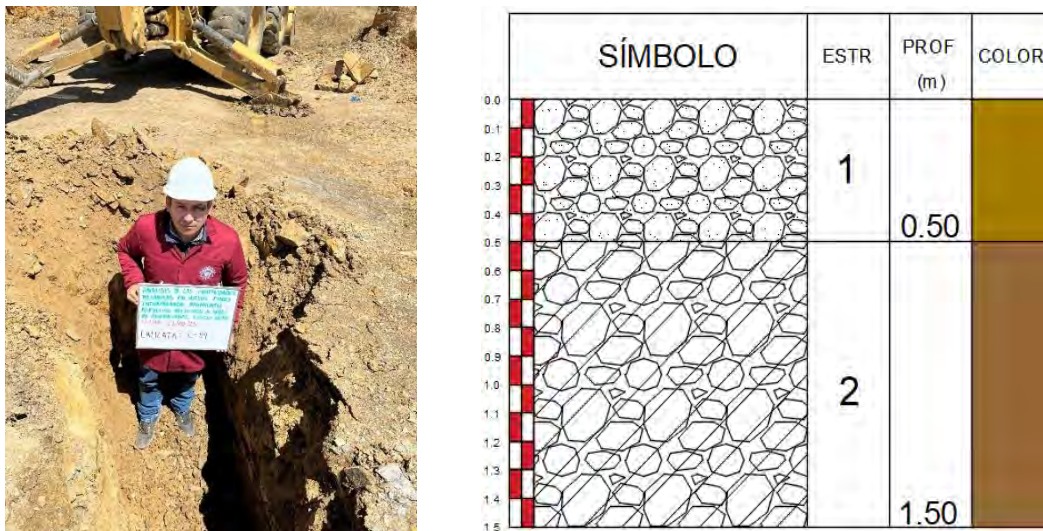
Ubicada en el kilómetro 4+100 con una profundidad de 1.50 metros excavado en el margen derecho de la vía. Con presencia de dos estratos:

Estrado 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 0.50 metros, presencia de material gravoso con arena.

Estrado 2: Desde una profundidad de 0.50 metros hasta 1.50 metros, presencia de material grava arcillosa color marrón.

La fotografía N°12 muestra el proceso de la calicata C-09 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°12 Calicata C-09 Excavación, extracción y estratigrafía



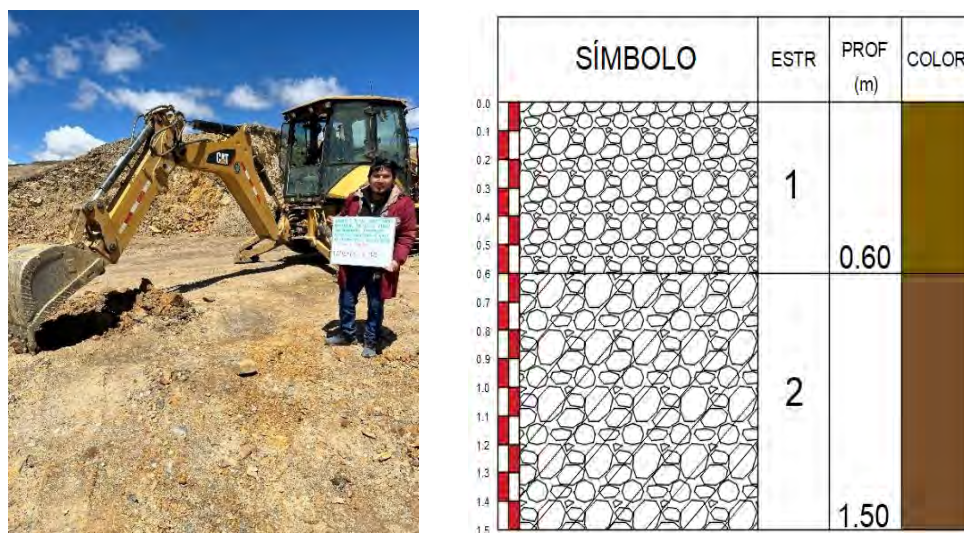
Fuente: Elaboración propia

CALICATA C-10

Ubicada en el kilómetro 5+000 con una profundidad de 1.50 metros excavado en el margen derecho de la vía. Con presencia de dos estratos: Estrado 1: Desde una profundidad de 0.00 metros hasta 0.60 metros, presencia de material gravoso con arena. Estrado 2: Desde una profundidad de 0.60 metros hasta 1.50 metros, presencia de material grava arcillosa color marrón.

La fotografía N°13 muestra el proceso de la calicata C-10 Excavación, extracción y estratigrafía

Fotografía N°13 Calicata C-10 Excavación, extracción y estratigrafía



Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N°26 se muestra el resumen de la ubicación, coordenadas y progresivas de las calicatas

Cuadro N° 26 Ubicación de las calicatas

CALICATAS	COORDENADAS		LADO	PROGESIVA
	NORTE	ESTE		
C-01	8497595.25 m S	219027.46 m E	Derecho	0+050
C-02	8497519.29 m S	219023.99 m E	Derecho	0+500
C-03	8497171.27 m S	218857.13 m E	Izquierdo	0+920
C-04	8497246.48 m S	218472.19 m E	Izquierdo	1+320
C-05	8497458.49 m S	218100.59 m E	Izquierdo	1+750
C-06	8497687.43 m S	217727.59 m E	Izquierdo	2+200
C-07	8497785.71 m S	217331.15 m E	Derecho	2+620
C-08	8497885.65 m S	216902.64 m E	Derecho	3+100
C-09	8497769.16 m S	216548.70 m E	Derecho	4+100
C-10	8498180.76 m S	215924.18 m E	Derecho	5+000

Fuente: Elaboración propia

3.8. Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio realizados para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos extraídos se ejecutaron siguiendo los procedimientos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del MTC (2016) En el Cuadro N.º 27 se presenta el listado de los ensayos efectuados, junto con las normas técnicas vigentes que regulan su aplicación.

Procesamiento de información:

Los datos obtenidos serán organizados y analizados utilizando hojas de cálculo y fichas técnicas elaboradas por los investigadores, siguiendo los lineamientos establecidos en las normas MTC, NTP, ASTM Y AASHTO, según corresponda.

Cuadro N° 27 Normativas utilizadas en la investigación

ENSAYOS	NORMAS			
	MTC	NTP	ASTM	AASHTO
<i>Propiedades Físicas</i>				
Análisis granulométrico por tamizado	E 107	NTP 339.128		
Contenido de humedad	E 108	NTP 339.127		
Limite líquido	E 110	NTP 339.129		
Limite plástico e índice de plasticidad	E 111	NTP 339.129		
Clasificación de suelos SUCS		NTP 339.134	ASTM D 2487	
Clasificación de suelos método AASHTO		NTP 339.135		AASHTO-145
Clasificación de suelos ASTM		NTP 339.135	ASTM D 3282	
<i>Propiedades Mecánicas</i>				
Proctor modificado	E 115	NTP 339.141		
Capacidad de soporte CBR	E 132	NTP 339.145		
Módulo Resiliente	E 128			AASHTO T 307-99
Compresión no confinada	E 121	NTP 339.167		
Módulo de Poisson	E 121		ASTM D 2166	

Fuente: Elaboración propia en base a la normatividad nacional e internacional

La cantidad total de ensayos realizados en esta presente investigación se detalla en el cuadro N° 28 para propiedades físicas y el cuadro N° 29 para las propiedades mecánicas, los cuales harán un total de 81 ensayos.

Cuadro N° 28 Cantidad total de ensayos realizados de las propiedades físicas

ENSAYOS	CALICATAS										RAP	SUELO FINO +				SUB TOTAL
	C 01	C 02	C 03	C 04	C 05	C 06	C 07	C 08	C 09	C 10		15% RAP	20% RAP	25% RAP	30% RAP	
<i>Propiedades Físicas</i>																
Análisis granulométrico por tamizado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	
Contenido de humedad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	
Limite liquido	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	8	
Limite plástico	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	8	
Número total de ensayos															46	

Fuente: Elaboración propia en base a la cantidad de ensayos

Cuadro N° 29 Cantidad total de ensayos realizados de las propiedades mecánicas

ENSAYOS	SUELO FINO + RAP					SUB. TOTAL
	0%	15%	20%	25%	30%	
<i>Propiedades Mecánicas</i>						
Proctor modificado	1	1	1	1	1	5
Capacidad de soporte CBR	1	1	1	1	1	5
Módulo resiliente	1	1	1	1	1	5
Compresión no confinada	2	2	2	2	2	10
Módulo de Poisson	2	2	2	2	2	10
Cantidad total de ensayos						35

Fuente: Elaboración propia en base a la cantidad de ensayos

3.8.1. Análisis granulométrico por tamizado

El procedimiento del ensayo se desarrolló conforme a lo establecido en la norma MTC E 107 según corresponde al Manual de Ensayo de Materiales. Donde se detalla de manera secuencial las etapas que se llevaron a cabo.

- Primero: Secado de muestra al aire
- Segundo: Cuarteo del material, pesado de muestra entre 1 kg a 2 kg aproximadamente, lavado con la malla N° 200 y colocación al horno por 24 horas

- Tercero: Pesado de la muestra después de secar y tamizado por un tiempo de 15 minutos.
- Cuarto: Obtención de pesos retenidos en cada tamiz.
- Quinto: Determinar las gráficas y distribución granulométrica.

La fotografía N°14 Muestra el lavado del material, el juego de tamices y los pesos obtenidos.

Fotografía N°14 Lavado de material y tamizado de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para determinar la granulometría del Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP), se tomó el material del fresado en la vía de la carretera Cusco – Urcos, a la altura de la universidad Continental. realizada por el mantenimiento de vías. Posteriormente se selecciona una muestra representativa previamente reciclada de entre 0.5 kg y 1.0 kg, la cual se ensaya en condición seca y sin lavar, para luego ser sometida al tamizado mediante las diferentes mallas establecidas.

La fotografía N°15 muestra la selección por cuarteo y el tamizado por las diferentes mallas.

Fotografía N°15 Análisis granulométrico del RAP



Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Contenido de humedad

El procedimiento del ensayo se desarrolló conforme a lo establecido en la norma MTC E 108 del Manual de Ensayo de Materiales. Donde se detalla de manera secuencial las etapas que se llevaron a cabo.

- Primero: Se extrae muestras in situ de aproximadamente 0.5 kilogramos, siendo estas almacenadas en contenedores herméticos.
- Segundo: Se procede a pesar la muestras, se coloca en capsulas rotuladas y se lleva al horno para su secado por un periodo 24 horas.
- Tercero: Se retira las muestras del horno; seguidamente, son pesados para la obtención de datos y realización de cálculos en base a la Ecuación N°4.

La fotografía N° 16 Muestra el material en las capsulas previamente pesadas y rotuladas respecto a todas las calicatas para luego ser depositada en el horno durante 24 horas.

Fotografía N°16 Se muestra las capsulas con material para el secado en horno.



Fuente: Elaboración propia

3.8.3. Limite liquido

El procedimiento del ensayo se desarrolló conforme a lo establecido en la norma MTC E 110 del Manual de Ensayo de Materiales. Donde se detalla de manera secuencial las etapas que se llevaron a cabo.

- Primero: Se selecciona una muestra representativa de 150 gramos que pase la malla N° 40; seguidamente, se añade agua hasta formar una pasta uniforme y plástica.
- Segundo: La muestra se deposita en la cuchara de Casagrande, procurando que alcance un espesor aproximado de 10 mm en su parte más profunda.
- Tercero: Haciendo el uso de un acanalador se procede a dividir la muestra realizando una ranura en la parte central.
- Cuarto: Ejecutar y anotar la cantidad de golpes requerida para que la ranura se cierre a lo largo de 13 mm, utilizando para ello diferentes contenidos de agua.
- Quinto: Tomar una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, dejar secar en el horno para luego realizar el cálculo del contenido de humedad.

- Sexto: Para obtener el Límite Líquido se deberá tomar la intersección del contenido de correspondiente a la abscisa de 25 golpes. Fórmula ídem al del contenido de humedad.

La fotografía N°17 muestra la cuchara de Casagrande y al costado la toma de las tajadas de la parte central de la ranura.

Fotografía N°17 Ensayo del Límite Líquido



Fuente: Elaboración propia

3.8.4. Límite Plástico e Índice de Plasticidad

El procedimiento del ensayo se desarrolló conforme a lo establecido en la norma MTC E 111 del Manual de Ensayo de Materiales. Donde se detalla de manera secuencial las etapas que se llevaron a cabo.

- Primero: Se selecciona una muestra representativa de 20 g que pase el tamiz N°40 preparada previamente para el ensayo de Límite Líquido
- Segundo: Mezclar y amasar añadiendo agua hasta formar una masa esférica
- Tercero: Tomar una muestra de 1.5 g a 2.0 g, para formar cilindros de 3.2 mm de diámetro haciendo de uso de los dedos de la mano sobre una superficie lisa.

- La fotografía N°18 muestra la elaboración de cilindros de 6 mm de longitud, sobre una superficie de vidrio y posteriormente se coloca en cápsulas para llevarlas al horno.

I.F.S. IS - AN UNO - DE LOS PRINCIPALES
 MELANOS DE LOS SOLOS FALSO DOCUMENTOS
 POSIBILIDAD POSIBLES DEBIDO A UNO DE
 CARACTERÍSTICAS, ETC - 2015
 ENSAYO - LÍMITE PLAST CO
 MUESTRA: CARBON M. 1.2.3.4
 FECHA: 26/06/2015

3.8.5. Proctor Modificado Ensayo de compactación

- Primero: De acuerdo al análisis granulométrico por tamizado se determina que corresponde a la compactación por el Método “A”
- Segundo: Utilizar una muestra de 16 kg y colocarla en una bandeja, incrementando agua en razón del 3% del peso seco; el mismo procedimiento se aplicará para las incorporaciones de pavimento asfáltico reciclado en porcentajes de 15%, 20%, 25% y 30% de la muestra.

- Tercero: Realizar la mezcla de cinco especímenes de suelo natural, así como con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado y compactar en cinco capas con 25 golpes cada una.
- Cuarto: Enrasar el molde retirando el collarín para determinar su peso de la muestra compactada; seguidamente, se obtiene un espécimen colocado en capsulas y llevado al horno para el cálculo del contenido de humedad.
- Quinto: Obtención de resultados para determinar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo. Repetir el procedimiento para todos los especímenes. Se utilizan la ecuaciones 8 y 4 respectivamente.

Fotografía N°19 Ensayo de compactación Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia

La fotografía N°19 muestra la compactación con el método “A” en molde de 4 pulgadas de diámetro. Al costado se observa la mezcla de suelo natural con pavimento asfáltico reciclado para su correspondiente compactación.

3.8.6. *Ensayo de CBR*

El procedimiento del ensayo se ejecutó siguiendo lo dispuesto en la norma MTC E-132 del Manual de Ensayos de Materiales, en la cual se describen de manera secuencial las etapas que deben desarrollarse.

- Primero: Se selecciona 16 kg de muestra y que pasa el tamiz de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- Segundo: Determinar el contenido de humedad natural del suelo para añadir la cantidad necesaria de agua que falte para alcanzar la humedad óptima de compactación de la muestra.
- Tercero: Preparar el molde y mezclar las muestras para su compactación efectuando 55, 26 y 12 golpes en 5 capas distribuidas en proporciones similares.
- Cuarto: Enrasar el molde retirando el collarín y el disco espaciador para determinar el peso de la muestra compactada; seguidamente, se obtiene un espécimen, el cual es colocado en capsulas y llevado al horno para el cálculo del contenido de humedad.
- Quinto: Se vuelve a montar la muestra de forma invertida, colocando papel filtro entre el molde y la base. Se obtiene su peso correspondiente antes de sumergir.
- Sexto: Sumergir el molde con la muestra, colocando el vástago y dos pesas durante un periodo de 96 horas, se toma lecturas de los diales para el control de la expansión; para su obtención utilizar la ecuación 10.
- Séptimo: Se retira los moldes de la inmersión dejando escurrir el agua durante 15 minutos; seguidamente, se retira la sobrecarga para obtener su peso después de la inmersión.
- Octavo: Se procede a realizar el ensayo de Penetración.

El CBR se calcula en base a la a la ecuación 9, tomando valores correspondientes a 0.1 pulgadas (2.54mm) y 0.2 pulgadas (5.08mm).

La fotografía N°20 muestra la elaboración de las muestras para el ensayo CBR, el colocado de papel filtro, se deja sumergido en el laboratorio y se realiza la toma de lecturas del dial.

Fotografía N°20 Ensayo de CBR



Fuente: Elaboración propia

❖ Ensayo de Penetración

El procedimiento del ensayo se desarrolló conforme a lo establecido en la norma MTC E 132 dispuesto en el Manual de Ensayo de Materiales. Donde se detalla de manera secuencial las etapas que se llevaron a cabo.

- Primero: Colocar dos sobrecargas sobre la muestra, llevar la muestra a la prensa y colocar en el orificio central.
- Segundo: Montar los diales y situarlas en cero las agujas para el inicio del ensayo.
- Tercero: Aplicar una carga sobre el pistón con una velocidad uniforme de 0.05 pulgadas por minuto.
- Cuarto: Desmontar el molde y tomar una muestra de la parte superior cercana a la zona de penetración para determinar su humedad.

La fotografía N°21 muestra el ensayo de penetración aplicando una carga a una velocidad constante de forma manual.

Fotografía N°21 Ensayo de Penetración



Fuente: Elaboración propia

3.8.7. Ensayo de Compresión no confinada.

El procedimiento del ensayo se desarrolló conforme a lo establecido en la norma MTC E 121 del Manual de Ensayo de Materiales. Donde se detalla de manera secuencial las etapas que se llevaron a cabo.

- Primero: Se elabora especímenes cilíndricos de dimensiones aproximadamente 33.5 mm de diámetro y 71 mm de altura. Aplicando una energía de compactación análogos al del Proctor modificado manteniendo densidad seca máxima y su contenido de humedad óptimo.
- Segundo: Colocar el espécimen en la prensa del anillo de carga accionando el dispositivo hasta ubicar que la muestra toque la placa superior de la prensa de forma centrada.
- Tercero: Ajustar los diales en cero y emplear el ensayo mediante esfuerzo controlado aplicando cargas que produzcan una deformación de 0.5% a 2% por minuto, registrando los esfuerzos y deformaciones cada 30 segundos hasta que las cargas empiecen a disminuir.

- Cuarto: Realizar y registrar el esquema de la forma de rotura. Además, se deberá utilizar las ecuaciones 12, 13 y 14

La fotografía N°22 muestra el resultado de las muestras sometidas a compresión no confinada, donde se aprecia la falla de corte.

Fotografía N°22 Ensayo de Compresión no Confinada



fuelle: Elaboración propia

3.8.8. Ensayo del Módulo de Poisson.

El procedimiento del ensayo se desarrolló conforme a lo establecido en la norma MTC E 121 del Manual de Ensayo de Materiales. Donde se detalla de manera secuencial las etapas que se llevaron a cabo.

- Primero: Para este ensayo se adaptó un dispositivo electrónico al equipo del anillo de carga, para obtener el registro de las deformaciones laterales al aplicar la carga axial.
- Segundo: Los pasos a seguir son de la misma manera que se realizó para el ensayo de compresión no confinada.
- Tercero: Registrar las deformaciones axiales y laterales para determinar el módulo de Poisson mediante la ecuación 11.

Fotografía N°23 Ensayo del módulo de Poisson



Fuente: Elaboración propia

La fotografía N°23 muestra el dispositivo acoplado al equipo del anillo de carga sobre una base imantada y con dirección a la parte lateral del espécimen para poder lograr medir su deformación al aplicarle carga.

3.8.9. Ensayo del Módulo Resiliente.

El procedimiento del ensayo se desarrolló conforme a lo establecido en la norma AASHTO T 307-99. Donde se detalla de manera secuencial las etapas que se llevaron a cabo.

- Primero: Preparación de la muestra de 1 kg aproximadamente, selección del tamaño de molde de 71 mm de diámetro y 142 mm de altura para su compactación.
- Segundo: Mezclar la muestra utilizando el contenido de humedad óptimo, luego compactar hasta alcanzar valores cercanos al de la densidad seca máxima.
- Tercero: Instalar la cámara triaxial y disponer en la parte superior de la base una piedra porosa acompañada de un papel filtro humedecido.
- Cuarto: Colocar la muestra sobre la piedra porosa, seguidamente la membrana con un expansor de membrana y sellar al pedestal inferior con una junta tórica.

- Quinto: colocar el papel filtro humedecido y una piedra porosa sobre la muestra, doblar y sellar la membrana a la placa superior con una junta tórica.
- Sexto: Colocar las líneas de drenaje a la cámara de vacío. Insertar el pistón de carga y asegurar firmemente las tuercas de la cámara.
- Séptimo: Colocar el aparato de montaje debajo del sistema de carga axial y conectar dicho sistema al vástago del pistón de la cámara triaxial.
- Octavo: Abrir las válvulas de drenaje para poner la muestra en contacto con la presión atmosférica.
- Noveno: Conectar la línea de suministro de aire a la cámara triaxial y aplicar la presión de confinamiento de pre acondicionamiento indicada 41.4 kPa, 27.6 kPa y 13.8 kPa sobre la muestra de ensayo.
- Décimo: Comenzar la prueba aplicando 750 repeticiones de una carga equivalente a un esfuerzo axial máxima de 41.4 kPa
- Undécimo: Aplicar 100 repeticiones de la tensión axial cíclica correspondiente, Registrar las deformaciones recuperadas para el LVDT durante los últimos cinco ciclos. Continuar la prueba para las secuencias de presiones restantes.
- Duodécimo: Para el procesamiento de datos se utiliza software: Excel, Python y la plataforma digital en línea Openpave, para determinar los esfuerzos, deformaciones, correlaciones e iteraciones con ello obtener las constantes de la ecuación constitutiva (ecuación 16) para obtener el Módulo resiliente final.

La fotografía N°24 muestra el material preparado y el equipo triaxial para el ensayo con el software para el análisis de datos.

Fotografía N°24 Ensayo del módulo Resiliente



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.Resultado de Granulometría por tamizado

En la tabla N°1 se muestra los resultados obtenidos de los porcentajes acumulados que pasa los tamices indicados desde 1" hasta la malla N°200, donde se aprecia que las cinco calicatas pasan más del 50% la malla N°200. Según las normas NTP 339.134 y NTP 339.135 las muestras analizadas se clasifican como suelos finos.

Tabla N° 1 Resultados del análisis granulométrico de las calicatas de C-01 a C-05

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA (gr)				
		C-01	C-02	C-03	C-04	C-05
1"	25.000	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19.000	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/8"	9.500	98.45%	98.94%	99.54%	98.99%	99.01%
N° 4	4.750	96.53%	97.05%	97.23%	97.59%	97.16%
N° 10	2.000	93.62%	93.73%	94.45%	94.40%	95.06%
N° 20	0.850	90.07%	90.37%	91.05%	90.49%	91.38%
N° 40	0.425	86.38%	86.56%	87.10%	85.47%	86.93%
N° 60	0.250	81.23%	81.77%	83.15%	80.91%	81.69%
N° 100	0.150	74.63%	76.17%	76.33%	74.48%	76.29%
N° 200	0.075	68.10%	70.49%	69.64%	69.80%	71.97%

Nota: Los resultados del análisis granulométrico se detallan en el Anexo B. Fuente: Elaboración propia

La tabla N°2 se muestra los porcentajes obtenidos acumulados que pasa los tamices indicados desde 1" hasta la malla N°200, donde se aprecia que las calicatas C-06, C-07 y C-08 pasan más del 50% la malla N°200 clasificándose como suelos finos, a su vez las calicatas C-09 y C-10 pasan menos del 50% la malla N°200 clasificándose como suelos granulares

Tabla N° 2 Resultados del análisis granulométrico de las calicatas de C-06 a C-10

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA (gr)				
		C-06	C-07	C-08	C-09	C-10
1"	25.000	100.00%	100.00%	100.00%	95.46%	95.47%
3/4"	19.000	100.00%	100.00%	100.00%	87.79%	88.07%
3/8"	9.500	98.45%	99.14%	96.55%	79.05%	81.18%
N° 4	4.750	95.76%	97.60%	94.60%	71.00%	71.66%
N° 10	2.000	92.22%	95.98%	89.54%	60.76%	62.34%
N° 20	0.850	88.08%	92.30%	85.20%	53.27%	53.36%
N° 40	0.425	83.67%	87.46%	80.42%	49.14%	45.07%
N° 60	0.250	77.38%	83.65%	76.20%	44.14%	38.20%
N° 100	0.150	71.92%	78.22%	70.81%	34.40%	28.11%
N° 200	0.075	67.33%	72.88%	64.73%	24.79%	19.74%

Nota: Los resultados del análisis granulométrico se detallan en el Anexo B. Fuente: Elaboración propia.

Figura N°12 Resumen del análisis granulométrico de las calicatas C-01 a la C-05

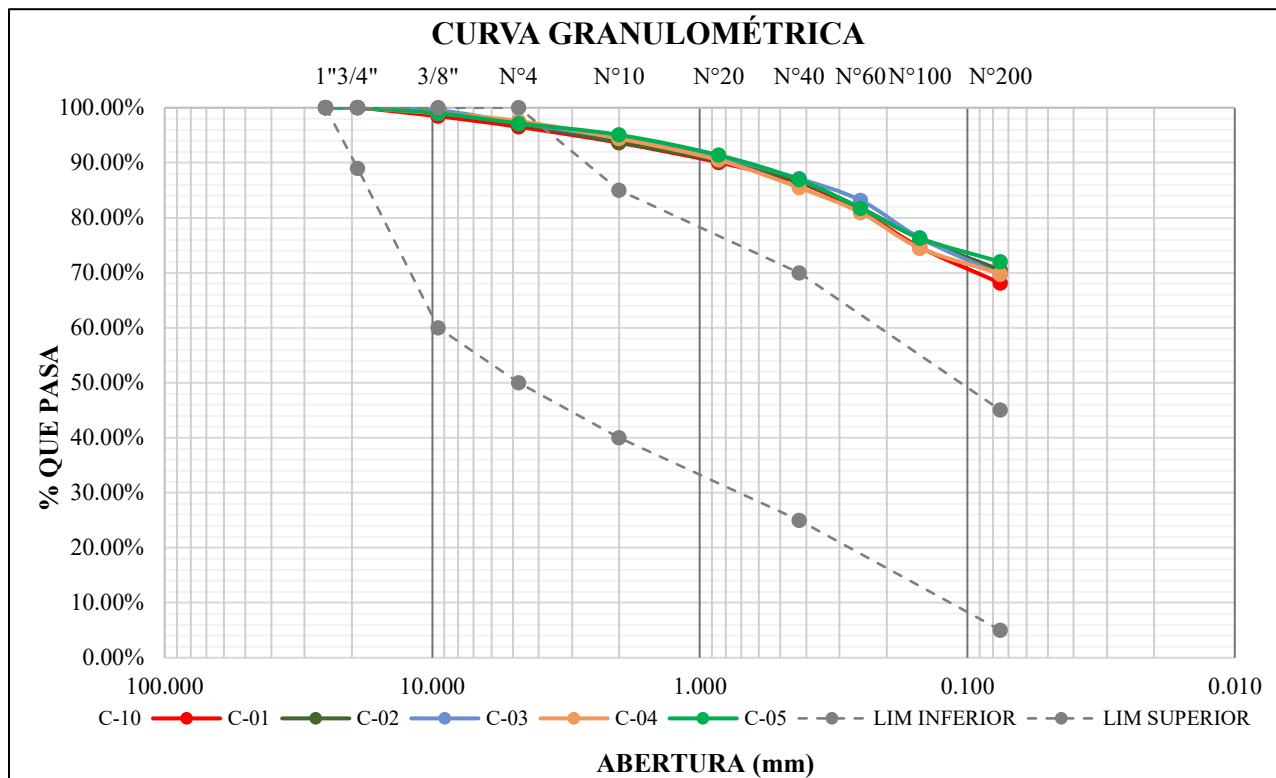
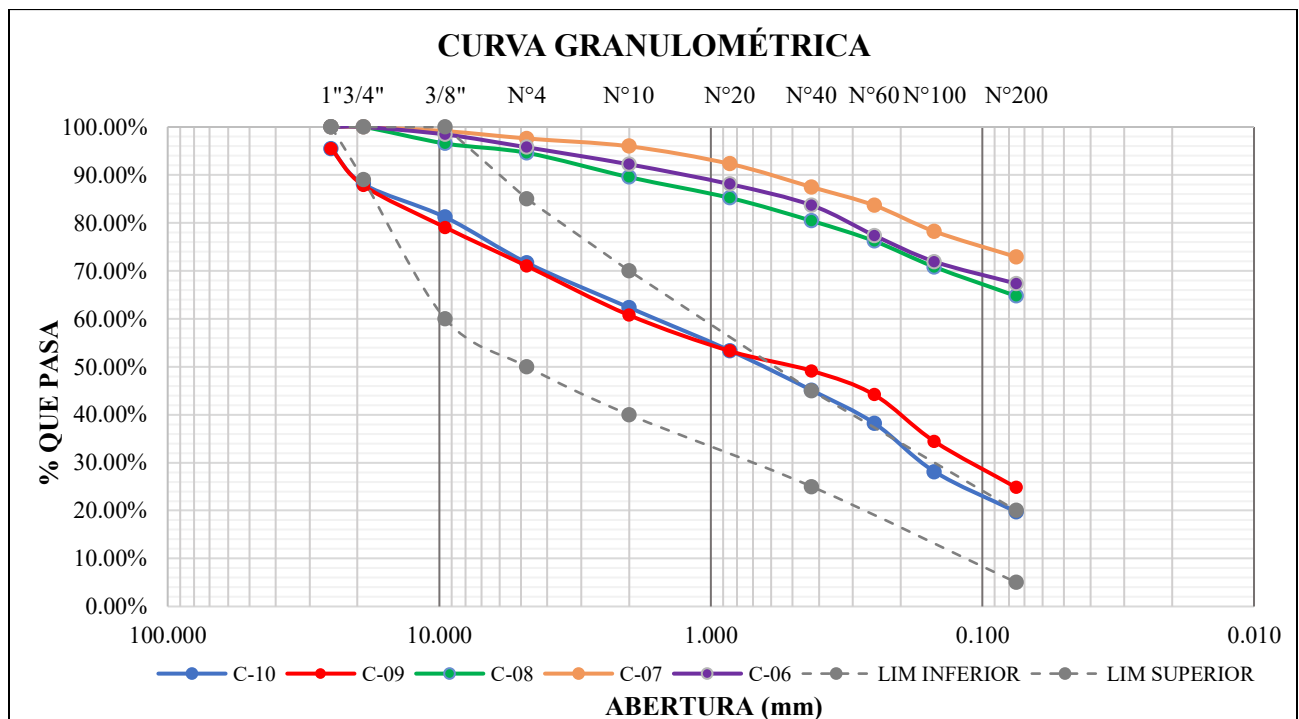


Figura N°13 Resumen del análisis granulométrico de las calicatas C-06 a la C-10



La figura N°12 muestra una similitud entre las calicatas C-01, C-02, C-03, C-04 Y C-05, debido a que estas se encuentran en una misma zona geográfica.

La figura N°13 muestra las calicatas C-06, C-07 y C-08 continúan presentando similitud en su análisis granulométrico; por otra parte, las calicatas C-09 y C-10 representan a las que se ubican en un sector topográficamente elevado de la zona de estudio donde se evidencia un mayor porcentaje granular.

De acuerdo a los objetivos de la presente investigación, para el análisis de las propiedades mecánicas solamente se tomará en cuenta las calicatas que presentan suelos finos.

Por otra parte, en las Figuras N° 12 y N° 13 se adoptan como referencia los valores de los límites inferior y superior establecidos en la norma EG-2013, la cual define rangos granulométricos para tres tipos de capas: afirmado, base y subbase. En el marco de la presente investigación se consideraron únicamente los parámetros correspondientes al nivel de afirmado, dado que dicha normativa no contempla valores específicos para la subrasante.

La tabla N°3 muestra que las calicatas del C-01 hasta la C-08 se encuentra en un rango entre 64.73% a 72.88% correspondiente a suelos finos.

Tabla N° 3 Porcentajes de fracciones granulométricas

CALICATA	PORCENTAJE DE GRAVA (%)	PORCENTAJE DE ARENA (%)	PORCENTAJE DE FINOS (%)
C-01	3.47	28.43	68.10
C-02	2.95	26.56	70.49
C-03	2.77	27.59	69.64
C-04	2.41	27.79	69.80
C-05	2.84	25.19	71.97
C-06	4.24	28.43	67.33
C-07	2.40	24.72	72.88
C-08	5.40	29.87	64.73
C-09	29.01	46.20	24.79
C-10	28.34	51.92	19.74

Nota: Resultados a partir de las granulometrías. Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4 Granulometría del Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP)

TAMIZ	% RETENIDO ACUMULADO
1"	0.00%
3/4"	0.00%
3/8"	4.06%
N° 4	13.45%
N° 10	40.02%
N° 20	61.60%
N° 40	75.10%
N° 60	85.14%
N° 100	94.51%
N° 200	99.34%
Cazuela	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla N°4 se evidencia que el tamaño máximo nominal del Pavimento Asfáltico Reciclado corresponde a la malla N°4 (4.75 mm).

4.2.Resultado de Limite de consistencia

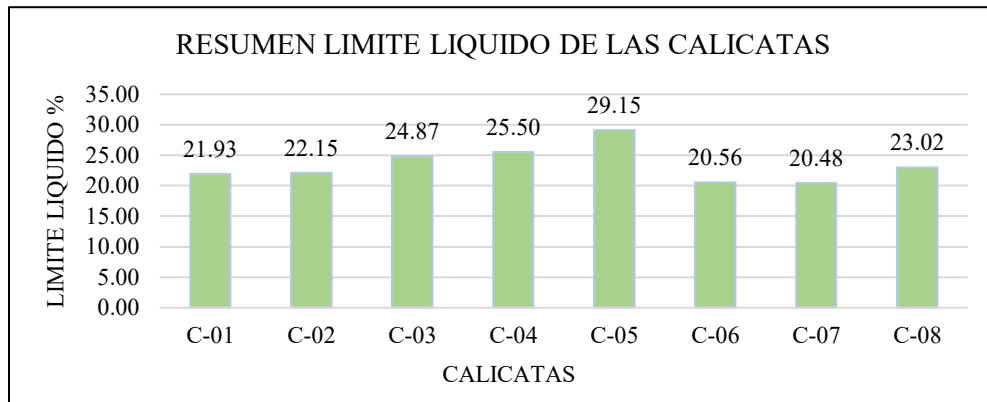
Tabla N° 5 Limites de Atterberg (Límites de Consistencia)

RESUMEN	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07	C-08	C-09	C-10
Límite Líquido	21.93	22.15	24.87	25.5	29.15	20.56	20.48	23.02	N.P.	N.P.
Límite Plástico	15.79	15.9	18.38	20.5	22.42	15.65	14.74	16.3	N.P.	N.P.
Índice de plasticidad	6.14	6.25	6.49	5.00	6.73	4.91	5.74	6.72	N.P.	N.P.

Nota: Los resultados obtenidos están detallados los Anexos E. y F. Fuente: Elaboración propia

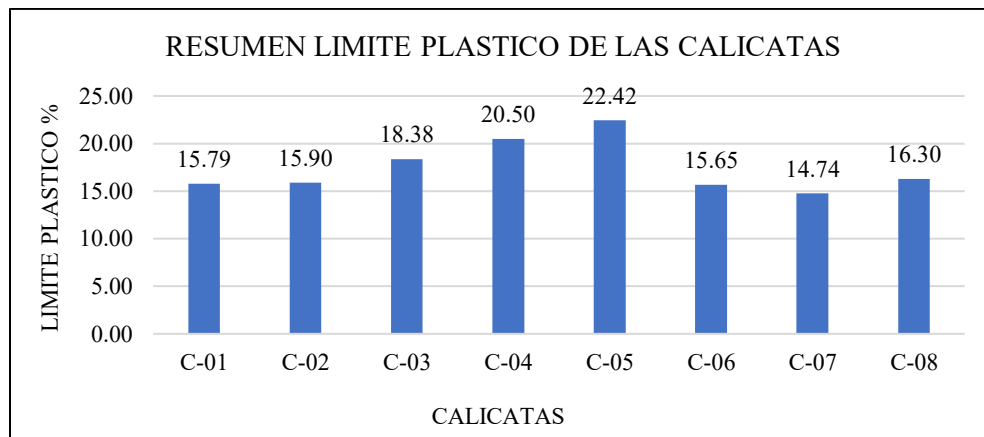
La tabla N°5 muestra que las calicatas del 01 al 08 presentan un Índice de plasticidad comprendido en el rango de $4 < IP < 7$ ver figura N°2 (véase la figura 2). Según la carta de plasticidad indicada en la norma NTP339.134, este tipo de suelo se clasifica como arcillo-limoso (CL-ML). A su vez, las calicatas C-09 y C-10 no presentan plasticidad.

Figura N°14 Límite Líquido de las calicatas



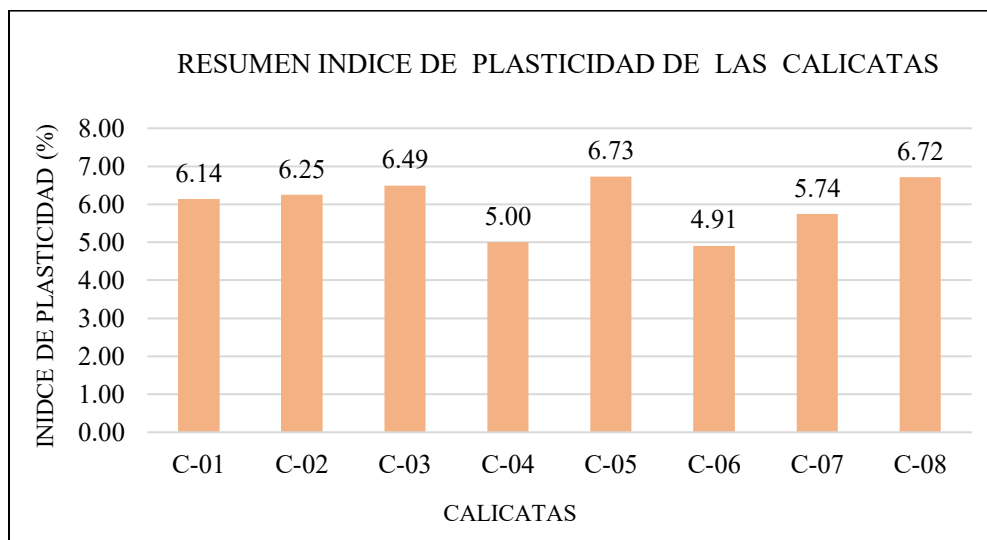
Fuente: Elaboración propia

Figura N°15 Límite Plástico de las calicatas



Nota: Resultados a partir del ensayo de Casagrande. Fuente: Elaboración propia

Figura N°16 Índice de Plasticidad de las calicatas



Fuente: Elaboración propia

4.3. Resultados de clasificación de suelos por calicata

Tabla N° 6 Clasificación SUCS AAHSTO de suelos

CALICATA	CLASIFICACIÓN SEGÚN SUCS	CLASIFICACIÓN SEGÚN ASSHTO
C-01	CL – ML Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	A-4(7) Principalmente partículas finas limosas
C-02	CL – ML Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	A-4(7) Principalmente partículas finas limosas
C-03	CL – ML Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	A-4(7) Principalmente partículas finas limosas
C-04	CL – ML Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	A-4(7) Principalmente partículas finas limosas
C-05	CL – ML Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	A-4(7) Principalmente partículas finas limosas
C-06	CL – ML Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	A-4(6) Principalmente partículas finas limosas
C-07	CL – ML Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	A-4(8) Principalmente partículas finas limosas
C-08	CL – ML Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	A-4(6) Principalmente partículas finas limosas
C-09	SM Arena limosa con grava	A-1-b (0) Arena con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas
C-10	SM Arena limosa con grava	A-1-b (0) Arena con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas

Nota: Resultados obtenidos de los ensayos de granulometría y límites de consistencia. Fuente: Elaboración propia

La Tabla N.º 6 presenta la clasificación de suelos según el sistema SUCS, donde la denominación CL-ML corresponde a un suelo de características transicionales entre arcillas de baja plasticidad y limos de baja plasticidad. La denominación Arcilla limosa de baja plasticidad es debido a que su posición en la carta de plasticidad cae en o sobre la línea “A” (véase figura N°2). Por otra parte, la denominación “con arena” se debe a que el porcentaje retenido, de acuerdo al ensayo granulométrico en la malla N°200 está comprendido entre 15% y el 30%. En cuanto a la denominación SM Arena limoso es debido a que su posición en la carta de plasticidad cae por debajo de la línea “A” y el término “con grava” es añadido porque constituye más del 15% de material grueso al predominante.

Según AASHTO, la denominación corresponde a la clasificación de grupo A-4, debido a que el material según el ensayo de granulometría pasa más del 36% la malla N°200, el Limite liquido es menor a 40% y el Índice de plasticidad es menor al 10%. Por otra parte, la denominación A-1-b se debe a que, en el ensayo granulométrico menos del 50% pasa la malla N°40 y menos del 25% la malla N°200. El índice de grupo se añade entre paréntesis a la denominación el cual se detalla en el marco teórico Ecuación (7).

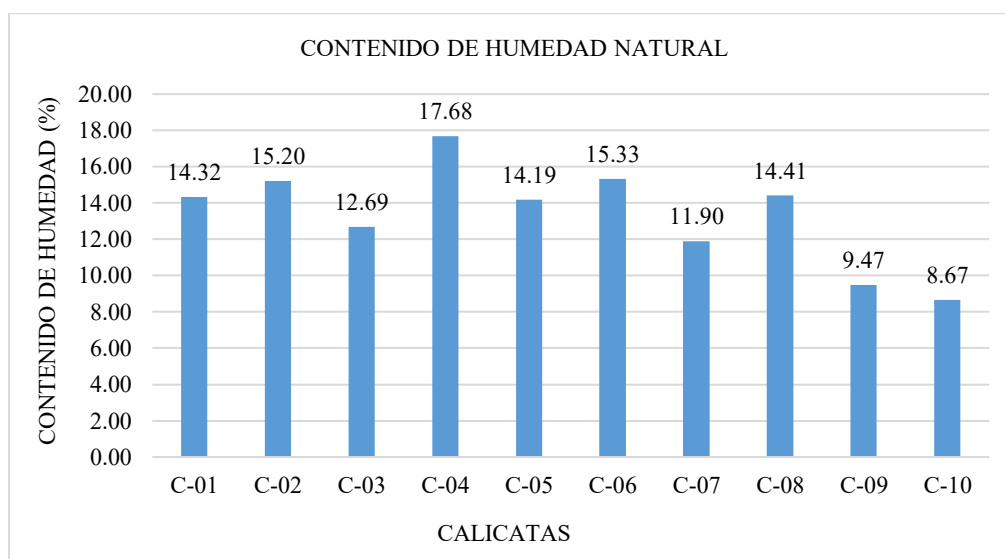
4.4. Resultados de contenido de humedad

Tabla N° 7 Resumen del Contenido de Humedad de las calicatas

CALICATA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
C-01	14.32
C-02	15.20
C-03	12.69
C-04	17.68
C-05	14.19
C-06	15.33
C-07	11.90
C-08	14.41
C-09	9.47
C-10	8.67

Nota: Los resultados están detallados en el Anexo C. Fuente: Elaboración propia.

Figura N°17 Contenido de humedad natural



Fuente: Elaboración propia

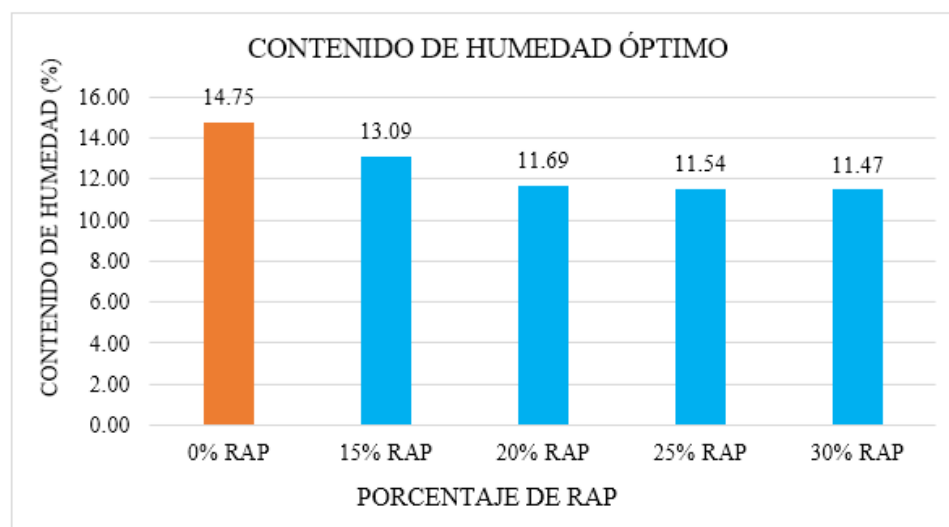
4.5. Resultados del Ensayo de compactación

Tabla N° 8 Resultados del ensayo Proctor Modificado

% RAP INCORPORADO	CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%)	DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³)
0% RAP	14.75	1.84
15% RAP	13.09	1.87
20% RAP	11.69	1.94
25% RAP	11.54	1.91
30% RAP	11.47	1.89

Nota: Los resultados del ensayo de compactación están detallados en el Anexo G. Fuente: Elaboración propia

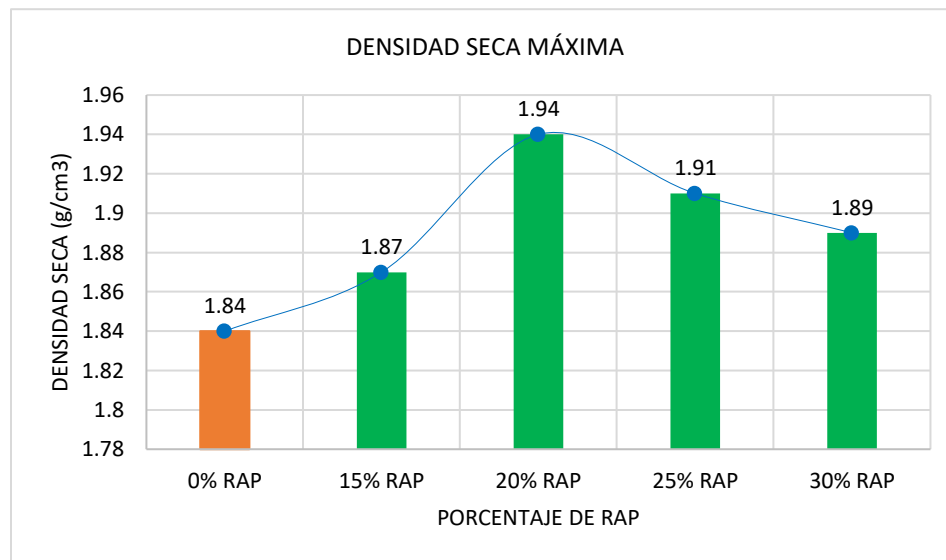
Figura N°18 Resultado del contenido de humedad natural



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°18 se muestra una tendencia decreciente del contenido de humedad óptimo conforme se incrementa la proporción de RAP en la mezcla. Este comportamiento se explica porque el RAP está constituido por partículas bituminosas, las cuales presentan baja afinidad y capacidad de absorción de agua. Asimismo, el incremento del RAP reduce el porcentaje de finos del suelo, generando una mezcla que requiere menor cantidad de humedad para lograr una compactación eficiente y alcanzar la densidad seca máxima correspondiente.

Figura N°19 Densidad seca máxima de suelo + Pavimento Asfáltico Reciclado



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura N°19 se evidencia un incremento en la densidad seca máxima al incorporar 15% y 20% de RAP, lo cual se atribuye a que dichos porcentajes permiten un mejor relleno de los vacíos y favorecen una distribución más eficiente de las partículas dentro de la mezcla.

En contraste, a partir de una adición del 25% y 30% de RAP, se observa una ligera disminución de la densidad seca máxima, efecto asociado al aumento de la rigidez de la mezcla suelo + RAP, que limita la reorientación y el reacomodo de las partículas durante la compactación.

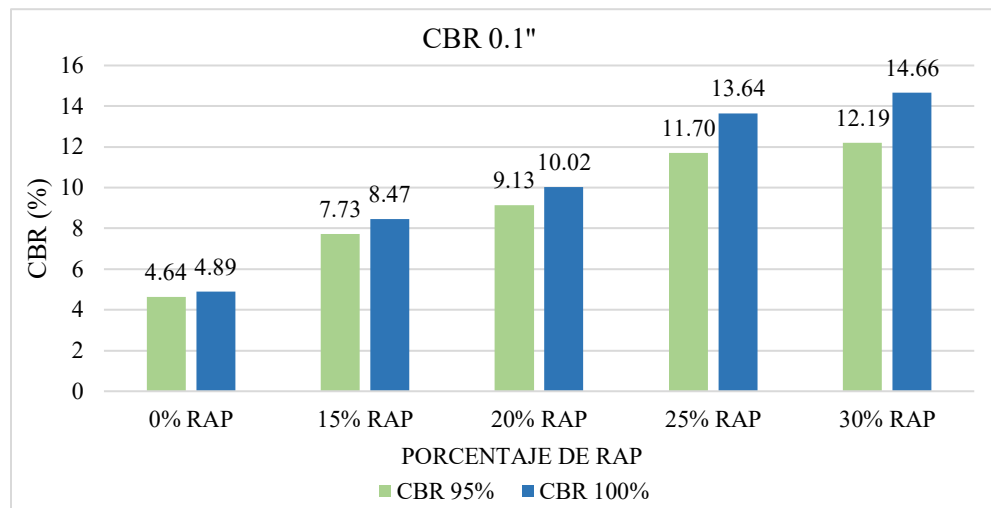
4.6. Resultados del Ensayo de CBR

Tabla N° 9 CBR para 0.1"

% RAP INCORPORADO	CBR 0.1" (%)	
	CBR 95%	CBR 100%
0% RAP	4.64	4.89
15% RAP	7.73	8.47
20% RAP	9.13	10.02
25% RAP	11.70	13.64
30% RAP	12.19	14.66

Nota: Los resultados del ensayo de compactación están detallados en el Anexo H. Fuente: Elaboración propia

Figura N°20 CBR para 0.1"



Fuente: Elaboración propia.

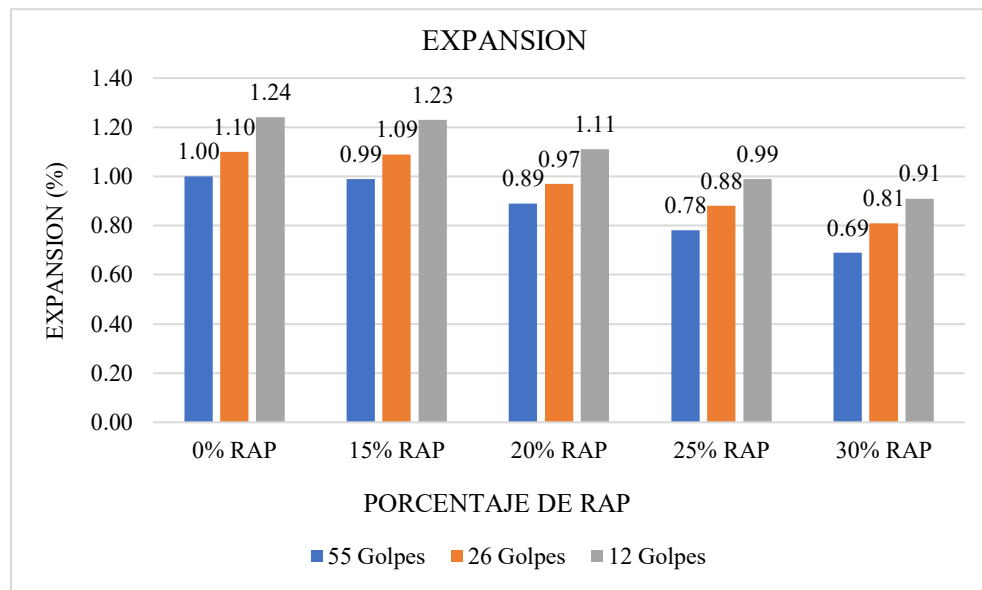
La Tabla N°9 y la Figura N°20 evidencian un incremento progresivo en la capacidad de soporte (CBR) a una penetración de 0.1", conforme aumenta el porcentaje de adición de RAP. Los valores se elevan de 4.64% a 12.19% para una compactación del 95%, y de 4.89% a 14.66% para una compactación del 100%, reflejando una mejora significativa en el comportamiento mecánico del material. Este aumento se atribuye a la incorporación de partículas gruesas del asfalto reciclado y ligante asfáltico, las cuales reducen la plasticidad del suelo y mejoran la fricción interna de la mezcla. Además, las partículas bituminosas presentes en el RAP contribuyen a una mayor cohesión, lo que disminuye la deformación y favorece la estabilidad estructural durante la compactación. Finalmente, el ligante asfáltico envejecido actúa como un agente ligeramente impermeabilizante, reduciendo la absorción de agua.

Tabla N° 10 Porcentaje de Expansión

% RAP INCORPORADO	EXPANSIÓN (%)		
	55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
0% RAP	1.00	1.10	1.24
15% RAP	0.99	1.09	1.23
20% RAP	0.89	0.97	1.11
25% RAP	0.78	0.88	0.99
30% RAP	0.69	0.81	0.91

Fuente: Elaboración propia

Figura N°21 Resultados de la Expansión



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°10 y en la figura N°21 se observa una disminución en la expansión del suelo conforme aumenta el porcentaje de RAP incorporado. Del mismo modo, se observa que una mayor energía de compactación contribuye a una menor expansión, debido a que el material alcanza una mayor densificación, logrando un relleno más eficiente de los vacíos y reduciendo así la posibilidad de deformaciones volumétricas por efecto del agua.

4.7.Resultado de Ensayo de Compresión no Confinada

Tabla N° 11 Resultados del ensayo de Compresión no confinada

MUESTRA	Resistencia a la Compresión no Confinada (qu)								
	M-1			M-2			PROMEDIO		
	kg/cm2	kPa	Deform. (%)	kg/cm2	kPa	Deform. (%)	kg/cm2	kPa	Deform. (%)
Suelo natural	0.32	31.03	4.82	0.28	27.61	4.75	0.30	29.32	4.79
Suelo +15% RAP	0.52	50.77	3.93	0.58	56.56	3.99	0.55	53.67	3.96
Suelo +20% RAP	0.78	76.46	3.45	0.71	69.83	3.39	0.75	73.15	3.42
Suelo +25% RAP	1.17	114.55	2.93	1.06	103.70	2.85	1.12	109.13	2.89
Suelo +30% RAP	1.42	139.17	2.69	1.38	135.49	2.65	1.40	137.33	2.67

Nota: Los resultados del ensayo de compresión no confinada se detallan en el Anexo I. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N°11 presenta los resultados del ensayo de compresión no confinada realizados tanto en el suelo natural como en las mezclas con diferentes porcentajes de incorporación de RAP. Se observa una reducción en la deformación axial, lo que indica una menor susceptibilidad del material a deformaciones plásticas. Asimismo, la resistencia a la compresión muestra un incremento progresivo con el aumento del contenido de RAP. Este comportamiento se atribuye a la presencia de partículas recubiertas con ligante asfáltico, las cuales actúan como un material estabilizante que mejora la cohesión y la fricción interna del suelo.

4.8. Resultado de Ensayo del Módulo de Poisson

Tabla N° 12 Resultados del ensayo del Módulo de Poisson

MUESTRA	Relación entre la deformación Lateral y Axial								
	M-1			M-2			PROMEDIO		
	Deform Axial (%)	Deform Lateral (%)	Módulo de Poisson (v)	Deforma Axial (%)	Deform Lateral (%)	Módulo de Poisson (v)	Deform Axial (%)	Deform Lateral (%)	Módulo de Poisson (v)
Suelo natural	4.85	1.98	0.41	4.63	1.81	0.39	4.74	1.90	0.40
Suelo +15% RAP	3.96	1.49	0.38	3.86	1.39	0.36	3.91	1.44	0.37
Suelo +20% RAP	3.45	1.10	0.32	3.37	1.00	0.30	3.41	1.05	0.31
Suelo +25% RAP	2.89	0.80	0.28	2.85	0.75	0.26	2.87	0.78	0.27
Suelo +30% RAP	2.66	0.73	0.27	2.75	0.70	0.25	2.71	0.72	0.26

Nota: Los resultados del ensayo del Módulo de Poisson se detallan en el Anexo J. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°12 se presentan los resultados obtenidos del Módulo de Poisson, determinados a partir de las deformaciones axial y lateral medidas mediante el equipo del anillo de carga y el equipo electrónico adaptado, respectivamente. Se observa que el Módulo de Poisson disminuye conforme aumenta el porcentaje de RAP en la mezcla. Esta tendencia descendente se debe a que la incorporación de RAP reduce la capacidad del suelo para deformarse lateralmente bajo carga axial, debido a la presencia de partículas bituminosas más rígidas y menos cohesivas que las fracciones finas del suelo natural. En consecuencia, el material adquiere un comportamiento más rígido y de menor plasticidad, lo cual se traduce en una disminución del Módulo de Poisson.

4.9.Resultado de Ensayo del Módulo Resiliente

Ecuación constitutiva para determinar el Módulo de Resiliencia (ecuación 16)

$$MR = k1 \times Pa \times \left[\frac{\theta}{Pa} \right]^{k2} \times \left[\frac{\sigma_d}{Pa} \right]^{k3}$$

Se obtuvo el valor de la presión atmosférica (Pa) figura N° 22 correspondiente al de la región de Cusco, según los datos estadísticos reportados por SENAMHI en la dirección de la INEI sección del Anuario de Estadísticas ambientales 2024 cuyo último valor anual promedio reportado es de 696.0 Milibares, Pa = 69.6 kPa

Figura N°22 Presión atmosférica anual, según departamento.

Departamento	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Arequipa	771,0	769,3	767,4	767,3	773,4	767,0	...	...	...	771,5	771,7	771,7	771,8	771,9	771,8
Cajamarca	742,0	742,4	742,0	742,4	...	744,0	740,6	740,6	739,8	739,8	739,9	739,4	739,3	739,4	740,0
Cusco	693,0	691,9	692,6	692,4	701,2	695,3	694,5	695,0	697,5	695,6	695,3	695,3	696,0	695,4	696,0
Huánuco	806,4	806,1	805,2	804,4	805,3	814,7	805,3	805,5	805,3	805,5	809,7	809,8	809,8	809,6	810,1
Ica	972,1	972,9	972,8	973,7	975,4	975,8	...	973,9	973,3	973,3	973,2	974,1	973,6	970,5	968,2
Junín	688,2	688,0	687,4	687,8	692,8	688,4	688,4	688,3	687,6	687,2	687,6	686,6	686,8	686,1	686,8
Lima	998,2	998,8	998,8	998,3	997,7	998,7	998,2	998,9	999,0	999,0	998,8	a/	985,4	a/	998,2
Moquegua	856,5	857,0	856,6	855,8	855,6	856,0	855,3	856,1	855,9	855,9	855,7	856,3	856,4	856,5	856,2
Piura	1 010,9	1 010,9	1 011,6	1 009,8	1 007,7	1 011,7	1 011,2	1 011,8	...	...	...	a/	a/	a/	1 007,0
Puno	657,2	650,4	649,0	645,3	649,3	654,8	650,1	655,8	649,7	649,6	649,7	a/	646,4	646,1	...
Tacna	952,6	952,8	953,2	951,3	952,4	961,1	952,4	952,2	952,9	952,5	952,6	952,4	951,7	952,5	951,9

a/ No se registró información, debido a restricciones por la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia (COVID-19).

Nota: Reporte anual de la presión atmosférica. Fuente: Servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI)

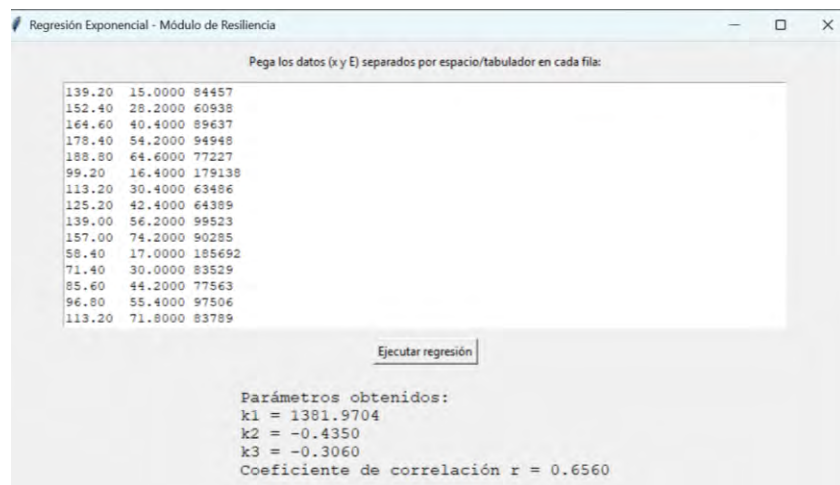
Tabla N° 13 Resumen de los resultados de las constantes de la ecuación constitutiva

Tipo de suelo	CONSTANTES				
	k1	k2	k3	Θ	σ _d
SUELO NATURAL	1381.9704	-0.4350	-0.3060	84.28	77.26
SUELO + 15%RAP	2000.9755	-0.7991	-0.2183	94.38	82.11
SUELO + 20%RAP	2166.5556	-0.3458	-0.1153	113.74	88.48
SUELO + 25%RAP	2624.0636	-0.2925	0.0003	124.60	93.70
SUELO + 30%RAP	2681.9344	-0.1400	0.0074	129.00	97.50

Nota: Resultados obtenidos a partir del Software Python. Fuente: Elaboración propia

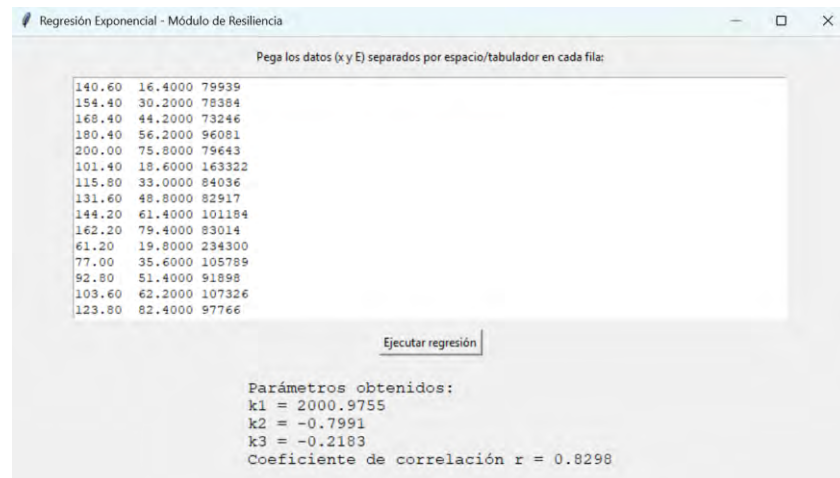
La tabla N°13 muestra los valores de las constantes de regresión elástica no lineales k1, k2 y k3 obtenidas por el Software Python con el siguiente detalle.

Figura N°23 Constantes de regresión para suelo natural



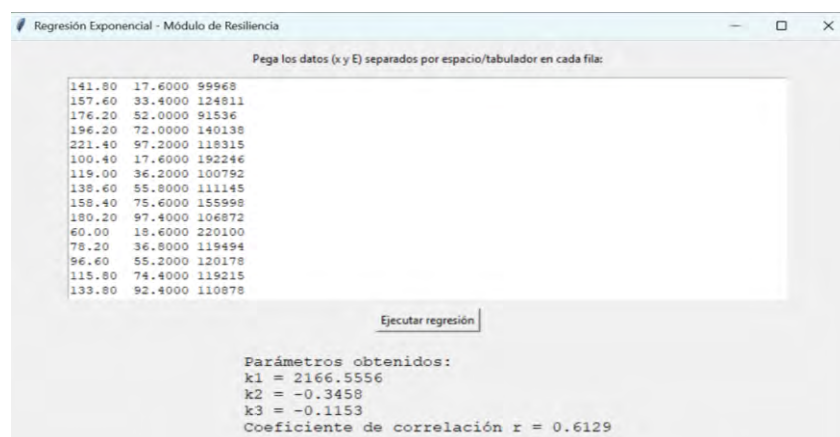
Fuente: Elaborado mediante el Software Python

Figura N°24 Constantes de regresión para suelo + 15% de RAP



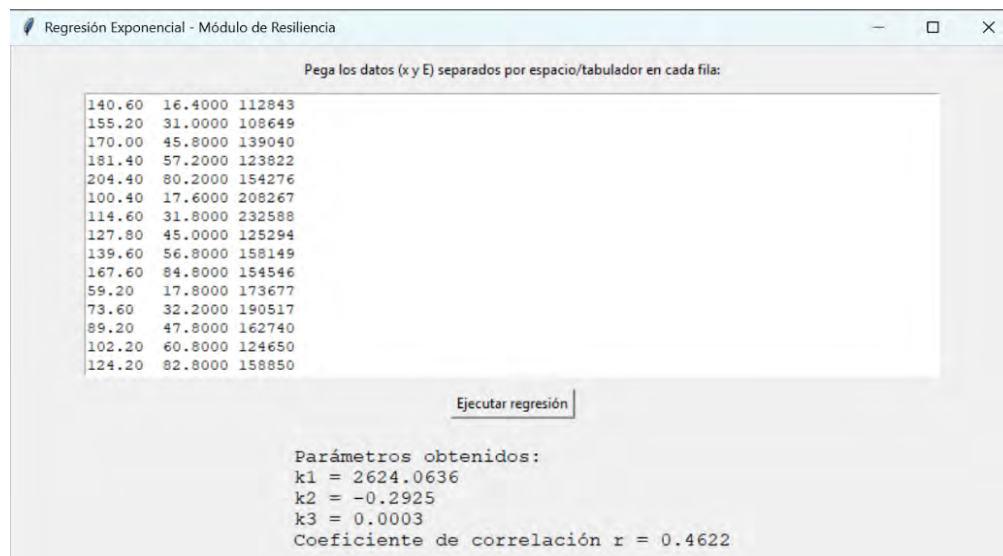
Fuente: Elaborado mediante el Software Python

Figura N°25 Constantes de regresión para suelo + 20% de RAP



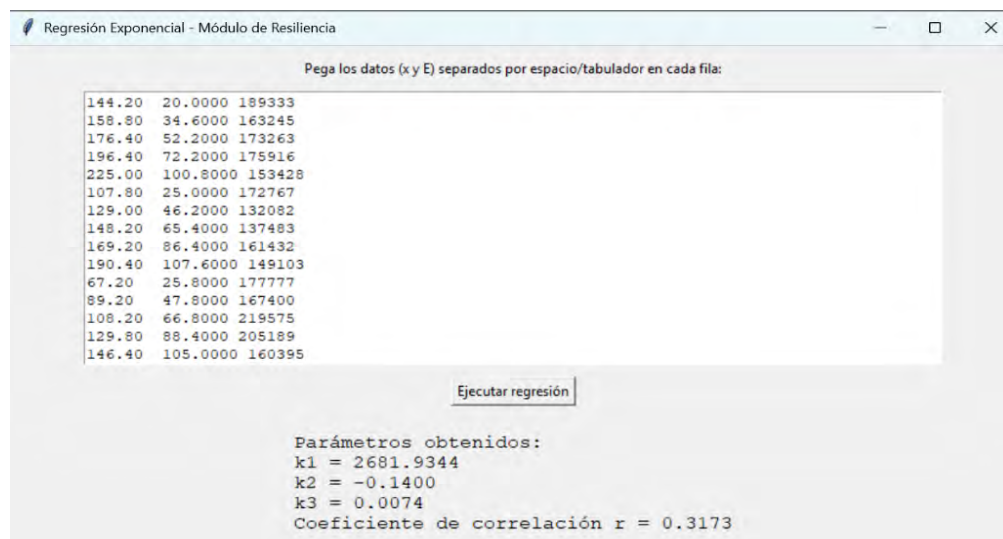
Fuente: Elaborado mediante el Software Python

Figura N°26 Constantes de regresión para suelo + 25% de RAP



Fuente: Elaborado mediante el Software Python

Figura N°27 Constantes de regresión para suelo + 30% de RAP



Fuente: Elaborado mediante el Software Python

El esfuerzo volumétrico θ es el bulbo presiones que se obtiene mediante la sumatoria de los esfuerzos principales $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$, donde el $\sigma_2 = \sigma_3$; debido a que los esfuerzos laterales están sometidas al mismo confinamiento.

El esfuerzo desviador es el esfuerzo cíclico, se calcula mediante la diferencia $\sigma_1 - \sigma_3$

Tabla N° 14 Resumen de los esfuerzos principales

	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)
Suelo natural	79.6	2.34	2.34
Suelo + 15 % RAP	86.2	4.09	4.09
Suelo + 20 % RAP	96.9	8.42	8.42
Suelo + 25 % RAP	104	10.3	10.3
Suelo + 30 % RAP	108	10.5	10.5

Nota: Resultados a partir del programa Openpave. Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 14 Los esfuerzos principales σ_1 , σ_2 , σ_3 ; se obtienen realizando iteraciones mediante el programa en línea Openpave basada en la teoría de multicapas.

Tabla N° 15 Módulo Resiliente mediante la ecuación constitutiva

ECUACIÓN CONSTITUTIVA		Θ (kPa)	σ_d (kPa)
Suelo Natural	$Mr = 1381.9704 \times Pa \times \left[\frac{\theta}{Pa} \right]^{-0.4350} \times \left[\frac{\sigma_d}{Pa} \right]^{-0.3060}$	84.28	77.26
Suelo + 15%RAP	$Mr = 2000.9755 \times Pa \times \left[\frac{\theta}{Pa} \right]^{-0.7991} \times \left[\frac{\sigma_d}{Pa} \right]^{-0.2183}$	94.38	82.11
Suelo + 20%RAP	$Mr = 2166.5556 \times Pa \times \left[\frac{\theta}{Pa} \right]^{-0.3458} \times \left[\frac{\sigma_d}{Pa} \right]^{-0.1153}$	113.74	88.48
Suelo + 25%RAP	$Mr = 2624.0636 \times Pa \times \left[\frac{\theta}{Pa} \right]^{-0.2925} \times \left[\frac{\sigma_d}{Pa} \right]^{0.0003}$	124.60	93.70
Suelo + 30%RAP	$Mr = 2681.9344 \times Pa \times \left[\frac{\theta}{Pa} \right]^{-0.1400} \times \left[\frac{\sigma_d}{Pa} \right]^{0.0074}$	129.00	97.50

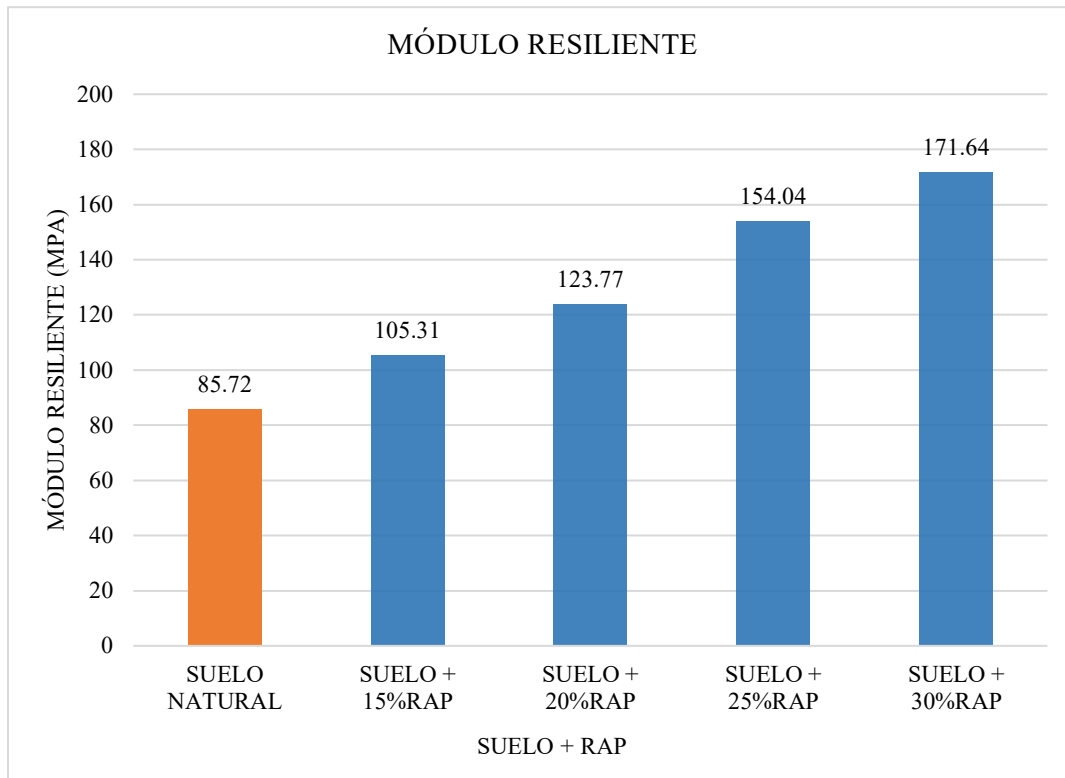
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 16 Resumen de Módulo Resiliente para cada muestra

Tipos de suelo	MR (MPa)
SUELO NATURAL	85.72
SUELO + 15%RAP	105.31
SUELO + 20%RAP	123.77
SUELO + 25%RAP	154.04
SUELO + 30%RAP	171.64

Nota. El desarrollo de los resultados se detalla en el Anexo K. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante la ecuación constitutiva.

Figura N°28 Variación del Módulo Resiliente con incorporación de RAP



Nota: Resultados del MR mediante el ensayo con el equipo triaxial cíclico. Fuente: Elaboración propia

En base a la Figura N.º 28, los valores del módulo resiliente (MR) obtenidos mediante el ensayo triaxial cíclico según AASHTO T-307, se aprecia que el MR aumenta conforme se incrementa el porcentaje de RAP añadido a la mezcla.

Esta mejora es consistente con los valores de CBR obtenidos, lo cual refleja que la incorporación de RAP no solo incrementa la capacidad portante del suelo, sino que también mejora su respuesta elástica bajo cargas repetidas. Esto se debe principalmente a la estructura granular del RAP y a la presencia de ligante asfáltico residual, que contribuye a aumentar la rigidez y a reducir la deformación permanente del suelo.

Tabla N° 17 Correlaciones entre el CBR y el Módulo Resiliente

Tipo de suelo	CBR (95%)	Correlaciones entre el CBR Y MR			
		Referencia	MR (Psi)	MR (Mpa)	MR con ec. Constitutiva
SUELO NATURAL	4.64	Powell et. al. (1984)	6822.80	47.04	85.72
		Heukelom y Klomp (1962)	6960.00	47.99	
		Newcomb y Birgisson (1999)	3447.79	23.77	
SUELO + 15%RAP	7.73	Powell et. al. (1984)	9458.58	65.21	105.31
		Heukelom y Klomp (1962)	11595.00	79.94	
		Newcomb y Birgisson (1999)	5320.50	36.68	
SUELO + 20%RAP	9.13	Powell et. al. (1984)	10521.85	72.55	123.77
		Heukelom y Klomp (1962)	13695.00	94.42	
		Newcomb y Birgisson (1999)	6129.15	42.26	
SUELO + 25%RAP	11.7	Powell et. al. (1984)	12331.90	85.03	154.04
		Heukelom y Klomp (1962)	17550.00	121.00	
		Newcomb y Birgisson (1999)	7567.60	52.18	
SUELO + 30%RAP	12.19	Powell et. al. (1984)	12659.99	87.29	171.64
		Heukelom y Klomp (1962)	18285.00	126.07	
		Newcomb y Birgisson (1999)	7836.16	54.03	

Nota: Resultados a partir de la comparativa de las correlaciones. Fuente: Elaboración propia

La tabla N°17 evidencia que, al comparar los valores del módulo resiliente (MR) obtenidos experimentalmente mediante el ensayo triaxial cíclico. (AASHTO T-307) con los valores estimados a través de las correlaciones empíricas desarrolladas por Powell et al, Heukelom y Klomp y Newcomb y Birgisson, se observa una diferencia significativa en la mayoría de los casos

4.10. Diseño de pavimento flexible

El presente capítulo tiene como finalidad aplicar los valores del módulo resiliente obtenidos a partir del ensayo triaxial cíclico y de las ecuaciones constitutivas desarrolladas en la presente investigación, en el diseño estructural de un pavimento flexible. Dicho diseño constituye una aplicación técnica de los resultados experimentales, orientada a evaluar la incidencia del comportamiento mecánico de la subrasante mejorada con pavimento asfáltico reciclado (RAP) en los parámetros estructurales del pavimento.

4.10.1. Diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93

- ***Periodo de diseño***

Para la presente investigación se considerará un período de diseño de 20 años en una sola etapa, con el fin de garantizar que el pavimento proyectado soporte de manera adecuada las cargas de tráfico previstas durante su vida útil, sin requerir intervenciones estructurales mayores en el mediano plazo de acuerdo al manual de carreteras (2014, p. 121)

- ***Tráfico W18***

Se asume un ESAL's para un Tp4 promedio 875000 EE Para vías de bajo volumen de tránsito considerando el valor más crítico de acuerdo al cuadro N°18

- ***Módulo Resiliente***

Se toman los valores obtenidos en tabla N°16

- ***CBR***

Se toman los valores obtenidos en tabla N° 9 para una compactación del 95%

- ***Confiability***

De acuerdo al cuadro N°19 Para Tp4 corresponde una confiabilidad de 80%

- **Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (ZR)**

De acuerdo al cuadro N°20 el coeficiente ZR tiene un valor de -0.842

- **Desviación estándar So**

Según recomendaciones del manual de carreteras se asume el valor de So = 0.45

- **Índice de serviciabilidad**

Según los cuadros N°21 y N°22 para un Tp4 se obtienen los valores de Pi = 3.80 y Pt = 2.00 donde la variación de serviciabilidad $\Delta PSI = 1.80$

- **Número Estructural Requerido (SNR)**

Se calcula mediante la ecuación 17

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

- **Número Estructural resultado (SN)**

En base al cuadro N°30 se adopta los valores para ai donde a1 = 0.170 /cm, a2 = 0.052 /cm y a3 = 0.047 /cm

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Cuadro N° 30 Coeficientes estructurales de las capas de pavimento

COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE LAS CAPAS		
CAPA SUPERFICIAL	BASE	SUBBASE
a1	a2	a3
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS
Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 5'000,000 EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico ≤ 15'000,000 EE
0.170	0.052	0.047

Fuente: elaboración propia en base al cuadro N°23

- **Coeficiente de drenaje**

El manual de carreteras recomienda el uso de los valores para los coeficientes de drenaje en base y subbase de m2 = 1.00 y m3 = 1.00.

4.10.2. Cálculos y resultados para el diseño de pavimento flexible

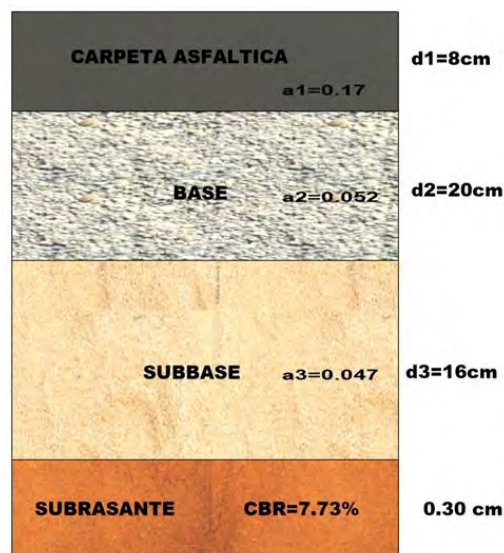
- **Diseño de pavimento flexible para el suelo + 15% de RAP**

Tabla N° 18 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 15% RAP

DATOS DEL DISEÑO		
Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	875 000
Suelo de la subrasante	CBR	7.73 %
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR (psi)	15273.92
Tipo de tráfico	Tipo:	TP4
Número de etapas	Etapas:	1
Nivel de confiabilidad	conf.	80.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0.842
Desviación estándar combinado	So	0.45
Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	3.80
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.00
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	Δ PSI	1.80
CÁLCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL		
Número estructural requerido	SNR	2.863
CÁLCULO DE ESPESORES DE LAS CAPAS		
d1	d2	d3
8 cm	20 cm	16 cm
Carpeta Asfáltica	Base	SubBase
SNR (Requerido)	2.863	Debe cumplir SN (Resultado) > SNR (Requerido)
SN (Resultado)	3.152	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura N°29 Dimensiones estructurales del pavimento flexible suelo + 15% de RAP



Fuente: Elaboración propia a partir del diseño obtenido

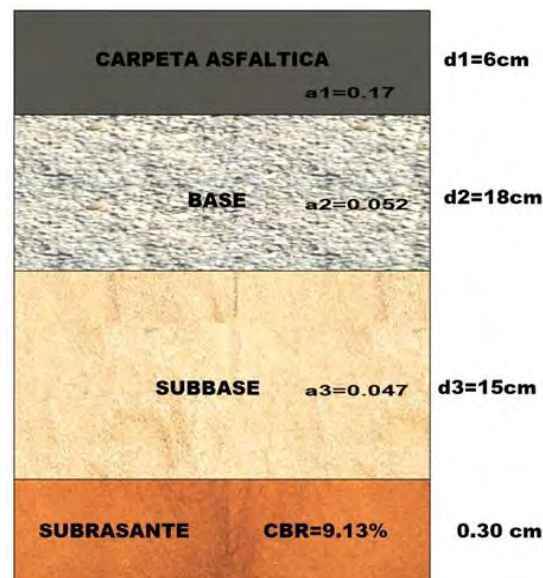
- **Diseño de pavimento flexible para el suelo + 20% de RAP**

Tabla N° 19 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 20% RAP

DATOS DEL DISEÑO		
Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	875 000
Suelo de la subrasante	CBR	9.13 %
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR (psi)	17951.32
Tipo de tráfico	Tipo:	TP4
Número de etapas	Etapas:	1
Nivel de confiabilidad	conf.	80.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0.842
Desviación estándar combinado	So	0.45
Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	3.80
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.00
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	Δ PSI	1.80
CÁLCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL		
Número estructural requerido	SNR	2.244
CÁLCULO DE ESPESORES DE LAS CAPAS		
d1	d2	d3
6 cm	18 cm	15 cm
Carpeta Asfáltica	Base	SubBase
SNR (Requerido)	2.244	Debe cumplir SN (Resultado) > SNR (Requerido)
SN (Resultado)	2.661	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura N°30 Dimensiones estructurales del pavimento flexible suelo + 20% de RAP



Fuente: Elaboración propia a partir del diseño obtenido

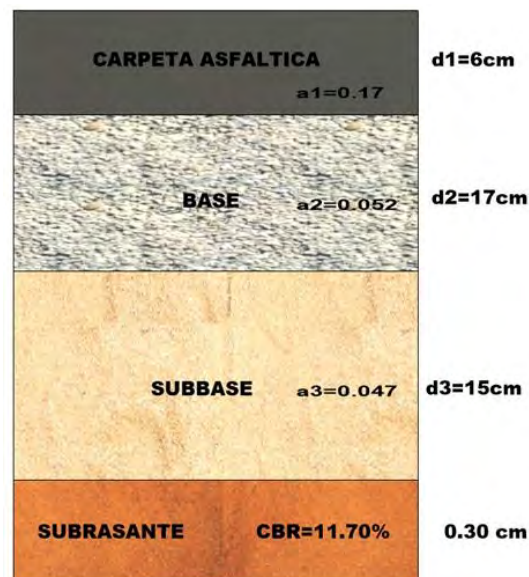
- **Diseño de pavimento flexible para el suelo + 25% de RAP**

Tabla N° 20 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 25% RAP

DATOS DEL DISEÑO		
Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	875 000
Suelo de la subrasante	CBR	11.70 %
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR (psi)	22341.61
Tipo de tráfico	Tipo:	TP4
Número de etapas	Etapas:	1
Nivel de confiabilidad	conf.	80.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0.842
Desviación estándar combinado	So	0.45
Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	3.80
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.00
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	Δ PSI	1.80
CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL		
Número estructural requerido	SNR	2.062
CÁLCULO DE ESPESORES DE LAS CAPAS		
d1	d2	d3
6 cm	17 cm	15 cm
Carpeta Asfáltica	Base	SubBase
SNR (Requerido)	2.062	Debe cumplir SN (Resultado) > SNR (Requerido)
SN (Resultado)	2.609	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura N°31 Dimensiones estructurales del pavimento flexible suelo + 25% de RAP



Fuente: Elaboración propia a partir del diseño obtenido

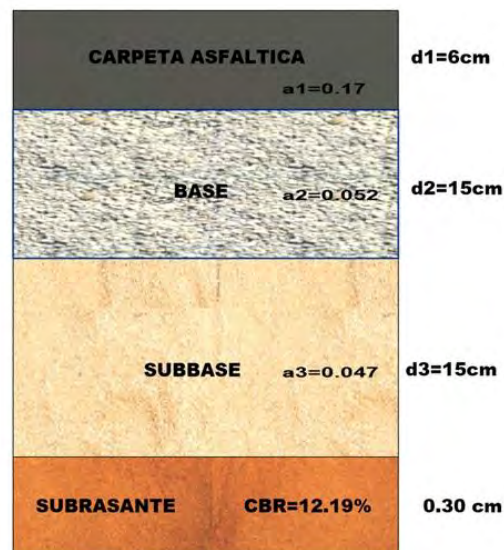
- **Diseño de pavimento flexible para el suelo + 30% de RAP**

Tabla N° 21 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 30% RAP

DATOS DEL DISEÑO		
Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	875 000
Suelo de la subrasante	CBR	12.19 %
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR (psi)	24894.27
Tipo de tráfico	Tipo:	TP4
Número de etapas	Etapas:	1
Nivel de confiabilidad	conf.	80.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0.842
Desviación estándar combinado	So	0.45
Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	3.80
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.00
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	Δ PSI	1.80
CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL		
Número estructural requerido	SNR	1.976
CÁLCULO DE ESPESORES DE LAS CAPAS		
d1	d2	d3
6 cm	15 cm	15 cm
Carpeta Asfáltica	Base	SubBase
SNR (Requerido)	1.976	Debe cumplir SN (Resultado) > SNR (Requerido)
SN (Resultado)	2.505	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura N°32 Dimensiones estructurales del pavimento flexible suelo + 30% de RAP



Fuente: Elaboración propia a partir del diseño obtenido

- *Diseño de pavimento flexible para el suelo + 20% de RAP (Módulo Resiliente mediante ecuación de Powell et. al. $MR(psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$)*

Tabla N° 22 Resultados del diseño de pavimento flexible para suelo + 20% RAP con Módulo Resiliente mediante la ecuación de Powell

DATOS DEL DISEÑO		
Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	875 000
Suelo de la subrasante	CBR	9.13 %
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR (psi)	10521.85
Tipo de tráfico	Tipo:	TP4
Número de etapas	Etapas:	1
Nivel de confiabilidad	conf.	80.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0.842
Desviación estándar combinado	So	0.45
Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	3.80
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.00
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	Δ PSI	1.80
CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL		
Número estructural requerido	SNR	2.749
CÁLCULO DE ESPESORES DE LAS CAPAS		
d1	d2	d3
6 cm	18 cm	18 cm
Carpeta Asfáltica	Base	SubBase
SNR (Requerido)	2.749	Debe cumplir SN (Resultado) > SNR (Requerido)
SN (Resultado)	2.661	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

RESUMEN DE ESPESORES DE DISEÑO DE PAVIMENTO DE SUELO MEJORADO CON RAP

Tabla N° 23 Resumen de los espesores según diseño de pavimentos

SUELO MEJORADO	ESPESORES		
	CARPETA ASFÁLTICA	BASE	SUBBASE
Suelo + 15% RAP	8	20	16
Suelo + 20% RAP	6	18	15
Suelo + 20% RAP Ec. Powell	6	18	18
Suelo + 25% RAP	6	17	15
Suelo + 30% RAP	6	15	15

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según Parra y Merino, (2024) se reporta que la incorporación de RAP genera un incremento notable en la capacidad de soporte (CBR) de los distintos estratos analizados. Así mismo, el suelo Tipo 2 presenta un aumento considerable del CBR cuando se incorpora un 20% de RAP. Los resultados de la presente investigación muestran una tendencia similar; conforme se incrementa la proporción de asfalto reciclado en la subrasante, el valor de CBR tiende a mejorar. A diferencia de lo observado en esta investigación, donde se trabajó con suelos finos, el estudio comparado analizó materiales granulares.

Ahmed Arqam (2019), identifica diversos efectos del RAP sobre el comportamiento mecánico del suelo. Por un lado, el aumento de RAP tiende a elevar la densidad y CBR, lo que se traduce en una mejora general de la estabilidad del material los cuales guardan relación con los hallazgos de la presente investigación. Por otra parte, en su estudio se evidencia que, a medida que aumenta el contenido de RAP, la resistencia al corte disminuye, posiblemente debido al tamaño relativamente grande de las partículas (20 mm), que pueden generar discontinuidades y favorecer la formación de grietas; en esta investigación se utilizó una granulometría del rap con un tamaño máximo nominal 4.750 mm. En conjunto, ambos estudios sugieren que el efecto del RAP es altamente dependiente de la naturaleza del suelo y de su granulometría.

De acuerdo Lara Batista et al. (2023), Los autores concluyen que la adición de RAP puede ser una solución sostenible para mejorar los materiales granulares de las capas del pavimento flexible, y que la proporción de 25% RAP se identifica como óptima en este caso particular de suelo tropical. Los resultados del estudio mostraron coherencia entre el comportamiento del Módulo Resiliente (MR) y la Deformación Permanente (PD). Se observó que, a medida que se incrementa el contenido de RAP en la mezcla, los valores de MR tienden a elevarse, lo que refleja

una mayor rigidez estructural del material. En concordancia con esta tendencia, esta investigación también evidenció que el Módulo Resiliente del suelo fino estabilizado con RAP aumenta progresivamente conforme se incrementa el porcentaje de este material.

Según Campos y Vega (2019) señalan que la incorporación de 10%, 15% y 20% de concreto asfáltico reciclado genera un incremento progresivo en la capacidad de soporte del suelo, obteniéndose valores de CBR de 7.60%, 9.20% y 11.10%, respectivamente; para el suelo natural el CBR inicial fue de 5.35% . Del mismo modo, su evaluación de las propiedades mecánicas indica que la adición de RAP favorece el aumento de la densidad seca máxima. Además, en el diseño de pavimento flexible realizado por los autores, se evidencia que la mejora del suelo con RAP permite reducir los espesores requeridos en la estructura del pavimento. Resultados semejantes se obtuvieron en la presente investigación, donde el uso de RAP también contribuyó a mejorar las características mecánicas del suelo fino y a optimizar el diseño de pavimento flexible.

Para Gonzales Quispe (2017), los residuos provenientes de mezclas asfálticas retiradas de pavimentos flexibles pueden reincorporarse de manera eficiente a las capas granulares del pavimento. En este contexto, se observó que la adición de material reciclado de mezclas asfálticas contribuyó a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo tipo A-2-4. Entre los cambios más relevantes se evidencia una modificación favorable de los parámetros de los límites de consistencia, así como un incremento de la densidad seca obtenida en los ensayos de compactación. La máxima densidad seca se alcanzó con una adición del 5 % de residuo de mezcla asfáltica; en contraste, con una adición del 10 % la densidad seca disminuyó de 2.106 g/cm^3 a 1.80 g/cm^3 . Por otra parte, en la presente investigación se obtuvo la mayor densidad seca con la

incorporación del 20 % de RAP, observándose una ligera reducción de este valor para las adiciones del 25 % y 30 % de RAP.

Aunque la investigación de Zambrano y Figueroa (2022) se orienta al diseño de mezclas asfálticas y no directamente a la estabilización de suelos, sus conclusiones aportan que el desempeño del RAP depende fuertemente de la proporción adecuada de incorporación, ya sea en mezclas asfálticas, en materiales granulares, y suelos fino cohesivos. En nuestro estudio, se observó un comportamiento similar, pues la adición controlada de RAP produjo mejoras en parámetros mecánicos fundamentales. En ambos casos, el análisis demuestra que el RAP no actúa como un simple relleno, sino como un componente estructural que, en proporciones adecuadas, puede mejorar el diseño de mezclas asfálticas como en el mejoramiento de suelos.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- Los resultados experimentales de esta investigación evidencian que la incorporación de pavimento asfáltico reciclado (RAP) produce una mejora significativa en el comportamiento mecánico de los suelos finos, confirmando la hipótesis general propuesta. Se registraron incrementos consistentes en los valores de capacidad de soporte (CBR), módulo resiliente (MR) y resistencia a la compresión no confinada, junto con una reducción del módulo de Poisson y de la expansión volumétrica, indicadores que reflejan un desempeño estructural más favorable y estable. En conjunto, los hallazgos obtenidos permiten concluir que la inclusión de RAP es técnicamente viable para su empleo en capas de subrasante, contribuyendo a mejorar la respuesta mecánica del material y a la reutilización de materiales reciclados en proyectos de pavimentación.
- Se determinó que la capacidad de soporte del suelo (CBR), aumenta progresivamente con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado. En condiciones de compactación al 95% del Proctor modificado, los valores de CBR obtenidos fueron de 4.64% para el suelo natural, 7.73% para un suelo + 15% de RAP, 9.13% para un suelo + 20%, 11.70% para un suelo + 25% de RAP y 12.19% para un suelo + 30% de RAP. Según los criterios establecidos en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014), Se obtuvo una subrasante regular para las incorporaciones de 15% y 20% de RAP y una subrasante buena para las incorporaciones de 25% y 30% de RAP. En este caso particular, el porcentaje óptimo de adición de RAP se establece en 20 %, debido a que este contenido permitió alcanzar la mayor densidad seca en el ensayo de compactación.

- Se evaluó el comportamiento de la resistencia a la compresión no confinada (q_u) de suelos finos con incorporación progresiva de RAP, observándose un incremento sostenido conforme aumentó el porcentaje de RAP en la mezcla. El suelo natural presentó una resistencia promedio de 29.32 kPa, mientras que al incorporar 30% de RAP, la resistencia alcanzó hasta 137.33 kPa. Los resultados obtenidos del suelo natural corresponden a una consistencia del suelo blanda, mientras que los resultados del suelo + 15% de RAP y suelo + 20 de RAP están dentro de la consistencia de suelo mediana y por otra parte los resultados para un suelo + 25% de RAP y para un suelo + 30% de RAP corresponden a una consistencia de suelo firme.
- A partir del análisis de las deformaciones axiales y laterales registradas durante los ensayos, se observó que el módulo de Poisson de los suelos finos disminuye progresivamente con la incorporación de RAP. El suelo natural presentó un valor promedio de $\nu = 0.40$, mientras que al añadir 30% de RAP, el módulo descendió hasta $\nu = 0.26$. Esta tendencia decreciente indica que el suelo tratado con RAP presenta menor deformación lateral en relación con la deformación axial, lo cual es característico de un comportamiento más rígido y menos plástico. Por lo cual, el módulo de Poisson respalda que la adición de RAP no solo incrementa la rigidez axial del suelo, sino que también modifica su respuesta lateral, consolidando su potencial como material mejorado para capas de soporte en estructuras de pavimento.
- Los resultados obtenidos mediante el ensayo triaxial cíclico, permitieron determinar que el módulo resiliente (MR) de los suelos finos aumenta con la incorporación de RAP. El suelo natural presentó un MR de 85.72 MPa, incorporando 15% de RAP se obtuvo 105.31 MPa, con 20% de RAP se obtuvo 123.77 MPa, con 25% de RAP se obtuvo 154.04 MPa y con 30% de RAP se obtuvo 171.64 MPa. Este aumento se atribuye a la presencia de partículas angulosas

de RAP que mejoran la fricción interna del suelo y a la acción del ligante asfáltico residual, el cual refuerza la estructura del material, reduce la deformación permanente y mejora la capacidad de recuperación elástica ante cargas repetidas.

- La utilización de RAP en suelos finos es una opción técnica para el diseño de pavimentos flexibles. Al mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante, utilizando los resultados del Módulo resiliente obtenidos mediante el ensayo triaxial cíclico, se logró disminuir los espesores estructurales requeridos. Esta reducción de capas permite una estructura más eficiente y un menor consumo de materiales convencionales en la subbase, base y carpeta asfáltica.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se recomienda fomentar el uso técnico del pavimento asfáltico reciclado (RAP) como componente estabilizante en suelos finos destinados a capas de subrasante, especialmente en la región de Cusco, donde los suelos presentan baja capacidad de soporte. Los resultados obtenidos en esta investigación han demostrado que, mediante ensayos de laboratorio estandarizados, la incorporación de RAP mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo, tales como el CBR, el módulo de resiliencia, la resistencia a compresión no confinada y la respuesta elástica (módulo de Poisson).
- Se sugiere que las entidades responsables del diseño y ejecución de infraestructura vial en zonas similares consideren al RAP no solo como un material reciclado, sino como una alternativa técnicamente válida, estructuralmente funcional y ambientalmente sostenible para el mejoramiento de subrasantes. Además, se recomienda incluir este tipo de investigaciones como base para futuras actualizaciones normativas y políticas de pavimentación más ecológicas y eficientes.
- Se recomienda considerar el uso de mezclas suelo–RAP con 15% a 30% de RAP como alternativa viable y técnica para la conformación de subrasantes en proyectos de pavimentación vial, estas proporciones cumplen con los requisitos del Manual de Carreteras del MTC (2014) para una subrasante de regular a buena calidad, al superar el umbral de $\text{CBR} \geq 6\%$.

- Para garantizar el adecuado desempeño mecánico de las mezclas suelo–RAP, se recomienda controlar estrictamente la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo durante la compactación en laboratorio y/o campo, ya que estos parámetros influyen directamente en el valor del CBR y el módulo resiliente.
- Para las futuras investigaciones concerniente a la estabilización y diseño de carreteras, dada la variabilidad y subestimación observada al aplicar correlaciones empíricas tradicionales para estimar el módulo resiliente (MR), se recomienda priorizar ensayos triaxiales cíclicos directos (AASHTO T-307) en la caracterización de materiales tratados con RAP o con otros aditivos estabilizantes, esta práctica permitirá obtener valores reales y confiables para su incorporación en métodos de diseño estructural.
- Se recomienda ampliar la investigación a otras zonas geográficas de la región, incorporando porcentajes de RAP superiores al 30% y considerando distintos tipos de suelos, con el objetivo de evaluar su comportamiento mecánico bajo diversas condiciones. Esta ampliación permitirá comparar el desempeño estructural de diferentes mezclas suelo–RAP y, en consecuencia, seleccionar la alternativa más adecuada para su aplicación en subrasantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO M 323-13. (2013). *Superpave Volumetric Mix Design*.
- AASHTO T 307-99. (2012). *Standard Method of Test for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials*.
- Ahmed Arqam Ruknuddin, Nischitha C S, Chethan L, & Manoj P. (2019). *Stabilization of Subgrade Soil using Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. <https://www.ijeat.org/portfolio-item/e7875068519/>
- Alarcón, J., & Jiménez, M. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Revista ingeniería de construcción*, 35(1), 5-20. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000100005>
- Alfonso Montejo Fonseca, Alejandro Montejo Piratova, & Alberto Montejo Piratova. (2018). *Estabilización de suelos* (1.^a ed.). Ediciones de la U.
- Braja M. Das. (2007). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4.^a ed.). Cengage Learning.
- Braja M. Das. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering. CL Engineering*. (7.^a ed.). CL Engineering.
- Braja M. Das. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (7.^a ed.). Cengage Learning Editores S.A.
- Burt G. Look. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*.
- Campos Rodríguez, J. L. (2019). *Estabilización de suelos con concreto asfáltico reciclado en el P.J. Dos de Mayo—Chimbote*.
- FHWA. (2016). *Reclaimed Asphalt Pavement*. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/97148/046.cfm>
- FHWA-RD-97-083. (1997). *Design Pamphlet for the Determination of Design Subgrade in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures*.

- Gonzales Quispe, A. M. (2017). *Análisis del comportamiento mecánico de pavimentos con la reutilización de materiales reciclados en vías del Distrito de San Miguel, San Román, Puno—2017*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/2754>
- Gonzalez, A., Cubrinovski, M., Pidwerbesky, B., & Alabaster, D. (2012). Desempeño de pavimentos estabilizado con asfalto espumado en una prueba de pavimentos a escala real y carga acelerada. *Revista ingeniería de construcción*, 27(2), 05-17. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732012000200001>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Lara Batista Ferreira de Lima, João Paulo Souza Silva, & Lilian Ribeiro de Rezende. (2023). *Investigation of Resilient Modulus and Permanent Deformation of Tropical Soil with Reclaimed Asphalt Pavement*. <https://papers.ssrn.com>
- Manual de carreteras MTC. (2014). *Suelos, Geología y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos (Versión Libro)*. Google Docs. https://drive.google.com/file/d/1p9kERBPq09HX-a5nb_EbY_sMKq_paKDM/view?usp=drive_link&usp=embed_facebook
- Mario Tamayo y Tamayo. (2003). *El proceso de la investigación científica* (4.^a ed.). Limusa.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*.
- Norma Técnica Peruana. (2019). *NTP 339.134—Clasificación de Suelos para Ingeniería (1999)*. <https://www.studocu.com/pe/document/servicio-nacional-de-capacitacion-para-la-industria-de-la-construccion/laboratorio-suelos-asfalto-y-concreto/ntp-339134-1999/87239976>

- Ojeda-Farías, O., Mendoza-Rangel, J. M., & Baltazar-Zamora, M. A. (2018). Influencia de la inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la compactación, CBR y Resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante. *Revista ALCONPAT*, 8(2), 194-208. <https://doi.org/10.21041/ra.v8i2.282>
- Parra Merino, C. J. (2024). *Estabilización del suelo empleando el reciclaje de pavimento en la vía de tercer orden Alao—Pungalá* [bachelorThesis, Riobamba]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14383>
- Perez Canahuire Adderly & Castro Canahuire Elmer. (2025). *Variación del Módulo de resiliencia bajo la influencia de los factores climáticos en la subrasante del pavimento en la carretera San Jerónimo a Paruro tramo 0+000 – 10+500 km.*
- Terzaghi Karl, Ralph B. Peck, & Gholamreza Mesri. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3.^a ed.).
- XIV Congreso Nacional De Ingeniería Civil - Iquitos. Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú. (2003). *Ensayo del Módulo Resiliente*. <https://www.academia.edu/12282177/>
- Yang H. Huang. (2004). *Pavement Analysis and Design* (2.^a ed.). Pearson Prentice Hall.
- Zambrano Rodriguez Jose Antonio & Figueroa Gibaja Ray Antony. (2022). *Análisis de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica por el método de diseño Marshall con elementos reciclados de la carpeta asfáltica de la av. Cusco tramo circunvalación cusco intersección con la av. Tuyro Tupac, distrito San Sebastián, provincia del cusco – Cusco – 2019.*

ANEXOS

Anexo A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Análisis de las propiedades mecánicas en suelos finos incorporando pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante, Cusco - 2025”

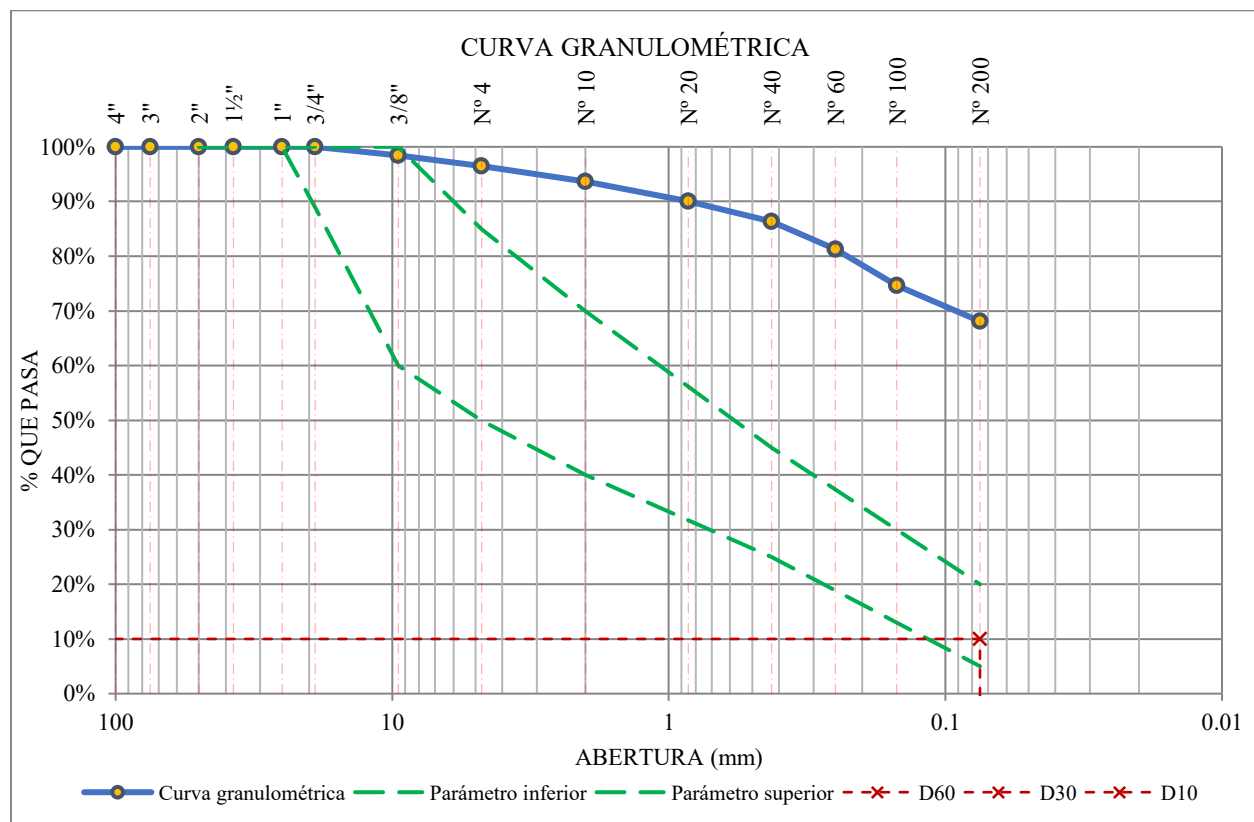
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES Y DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
			Independiente		
PG: ¿Cómo varía las propiedades mecánicas de los suelos finos con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado (RAP) a nivel de subrasante, Cusco - 2025?	OG: Analizar las propiedades mecánicas de suelos finos incorporando pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante, Cusco - 2025	HG: Las propiedades mecánicas de suelos finos mejora significativamente con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante.	X1: Pavimento asfáltico reciclado Dimensiones: Contenido de pavimento asfáltico reciclado	Porcentaje de pavimento asfáltico reciclado	Diseño: Experimental Enfoque: cuantitativo Tipo: Transversal Nivel: Aplicativo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	Dependiente		
PE1: ¿Qué influencia tiene la incorporación de Pavimento Asfáltico Reciclado en la capacidad de soporte de suelos finos a nivel de subrasante, Cusco - 2025?	OE1: Determinar la influencia de la incorporación de pavimento asfáltico reciclado en la capacidad de soporte (CBR) en suelos finos a nivel de subrasante, Cusco - 2025.	HE1: la capacidad de soporte (CBR) en suelos finos mejora significativamente con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante.	Y1: Capacidad de soporte	Índice CBR (%)	
PE2: ¿Qué cambios presenta la resistencia a la compresión no confinada de suelos finos incorporando diferentes porcentajes de Pavimento Asfáltico Reciclado a nivel de subrasante, Cusco - 2025?	OE2: Evaluar la resistencia a la compresión no confinada del suelo con diferentes porcentajes de RAP a nivel de subrasante, Cusco - 2025.	HE2: La resistencia a la compresión no confinada mejora significativamente con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante.	Y2: Compresión no confinada	Valor (kPa)	
PE3: ¿Cómo se comporta el Módulo de Poisson en suelos finos incorporando Pavimento Asfáltico Reciclado a nivel de subrasante, Cusco - 2025?	OE3: Analizar el módulo de Poisson en suelos finos incorporando pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante, Cusco - 2025.	HE3: El módulo de Poisson en suelos finos mejora significativamente con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante.	Y3: Módulo de Poisson	Relación de deformación: lateral/axial	
PE4: ¿Cómo varía el Módulo Resiliente en suelos finos con la incorporación de Pavimento Asfáltico Reciclado a nivel de subrasante y cómo influye dicha variación en el diseño de un pavimento flexible, Cusco - 2025?	OE4: Evaluar el módulo resiliente en suelos finos incorporando RAP a nivel de subrasante y aplicar sus resultados influencia en el diseño de un pavimento flexible, Cusco - 2025.	HE4: El módulo resiliente en suelos finos se incrementa con la incorporación de pavimento asfáltico reciclado a nivel de subrasante lo cual influye favorablemente en el diseño de un pavimento flexible.	Y4: Módulo resiliente Dimensiones: Capacidad de Soporte Resistencia mecánica axial Resistencia elástica Relación deformacional	Valor (MPa) para el diseño de un pavimento flexible.	

Anexo B: Análisis granulométrico

Anexo B.1 Análisis granulométrico Calicata C-01

Peso de la fracción antes del lavado =	1256.00
Peso de la fracción después de lavar =	405.20
%Error = 0.89% Ok!	

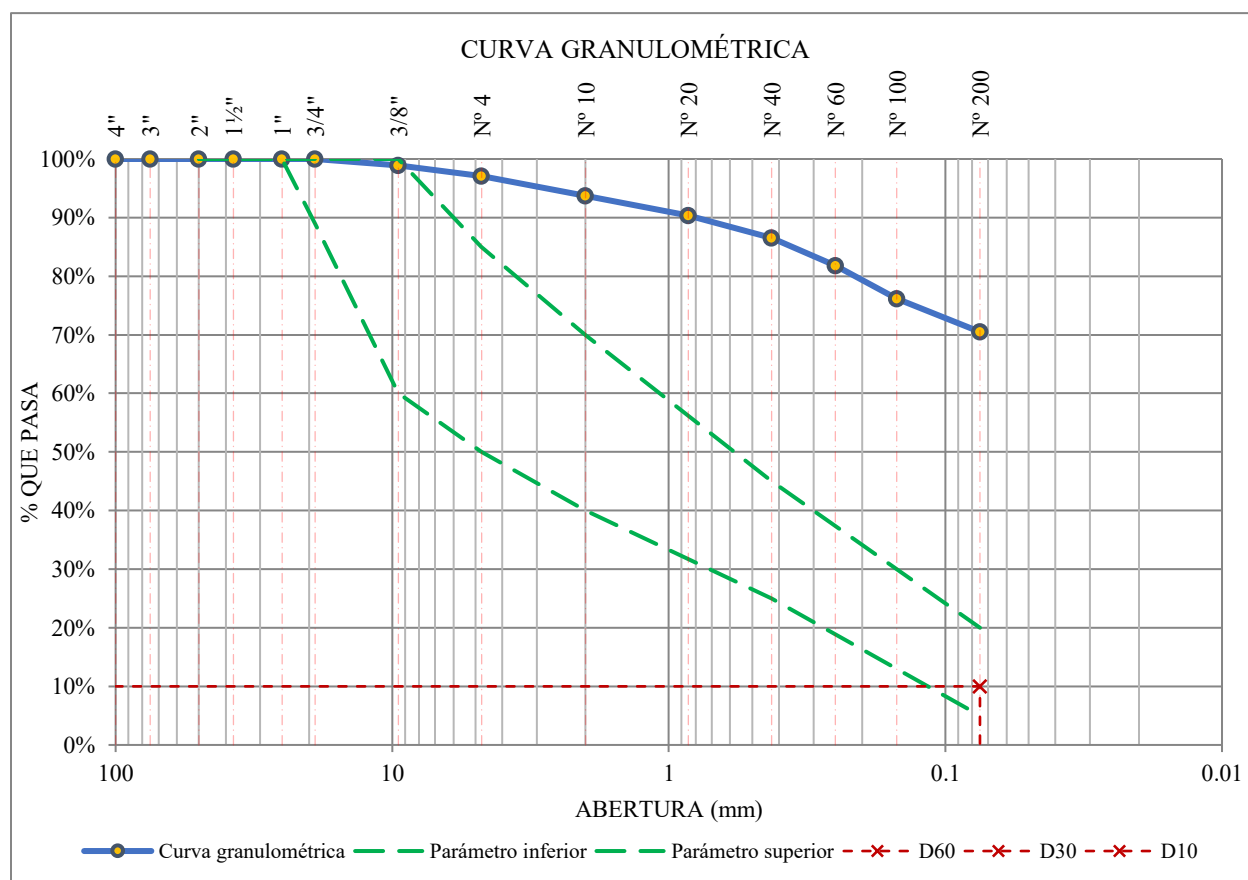
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	19.28	4.76%	1.55%	1.55%	98.45%
Nº 4	4.75	23.91	5.90%	1.92%	3.47%	96.53%
Nº 10	2	36.17	8.93%	2.91%	6.38%	93.62%
Nº 20	0.85	44.23	10.92%	3.55%	9.93%	90.07%
Nº 40	0.425	45.98	11.35%	3.69%	13.62%	86.38%
Nº 60	0.25	64.09	15.82%	5.15%	18.77%	81.23%
Nº 100	0.15	82.18	20.28%	6.60%	25.37%	74.63%
Nº 200	0.075	81.23	20.05%	6.53%	31.90%	68.10%
Cazuela		4.52	1.12%	0.36%	32.26%	
Lavado		850.8		67.74%	100.00%	
Fracción retenida lavado		401.59	99.11%	32.26%		
Total		1252.39		100.00%		



Anexo B.2 Análisis granulométrico Calicata C-02

Peso de la fracción antes del lavado = 1192.20
 Peso de la fracción después de lavar = 356.24
 %Error = 0.99% Ok!

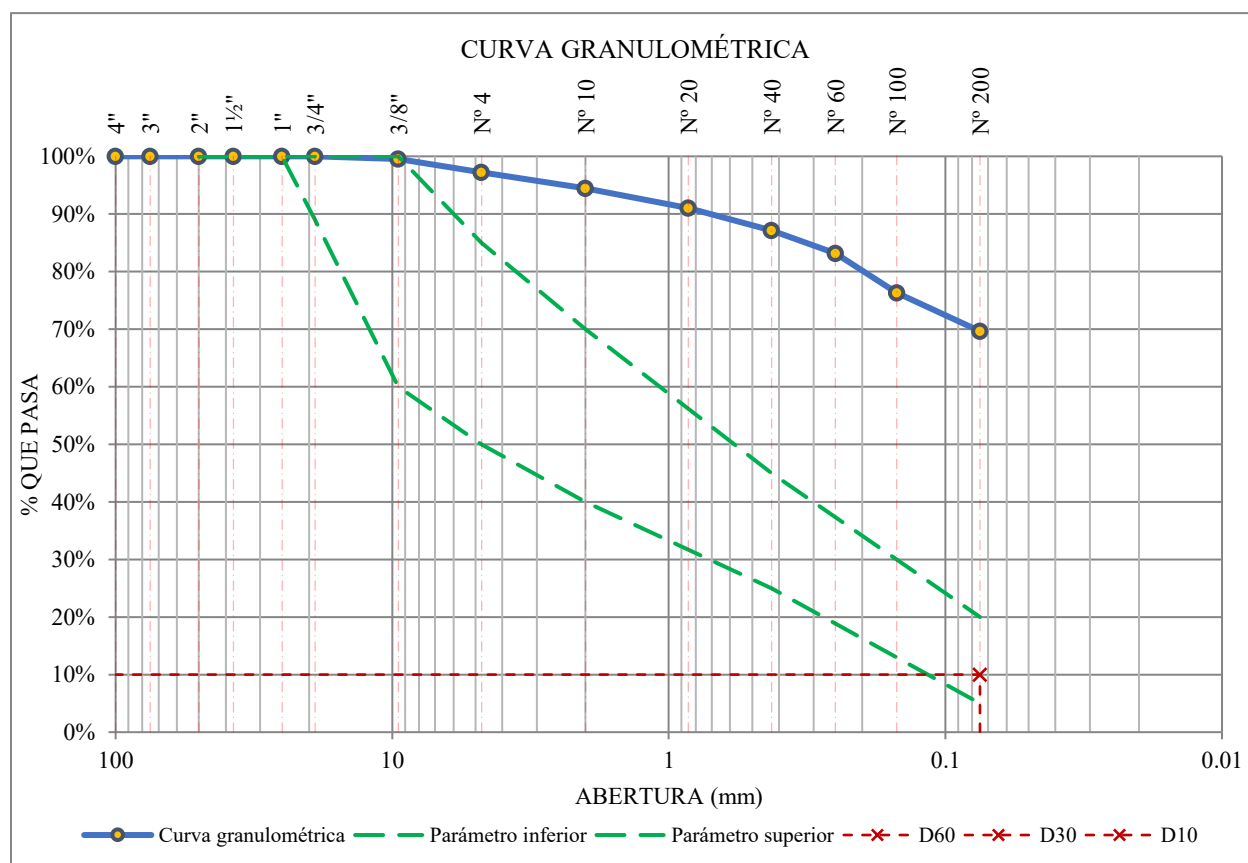
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCION LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	12.52	3.51%	1.06%	1.06%	98.94%
Nº 4	4.75	22.32	6.27%	1.89%	2.95%	97.05%
Nº 10	2	39.11	10.98%	3.31%	6.27%	93.73%
Nº 20	0.85	39.73	11.15%	3.37%	9.63%	90.37%
Nº 40	0.425	44.98	12.63%	3.81%	13.44%	86.56%
Nº 60	0.25	56.55	15.87%	4.79%	18.23%	81.77%
Nº 100	0.15	66.01	18.53%	5.59%	23.83%	76.17%
Nº 200	0.075	67.1	18.84%	5.68%	29.51%	70.49%
Cazuela		4.38	1.23%	0.37%	29.88%	
Lavado		835.96		70.12%	100.00%	
Fracción retenida lavado		352.7	99.01%	29.88%		
Total		1188.66		100.00%		



Anexo B.3 Análisis granulométrico Calicata C-03

Peso de la fracción antes del lavado = 1296.58
 Peso de la fracción después de lavar = 396.36
 %Error = 0.93% Ok!

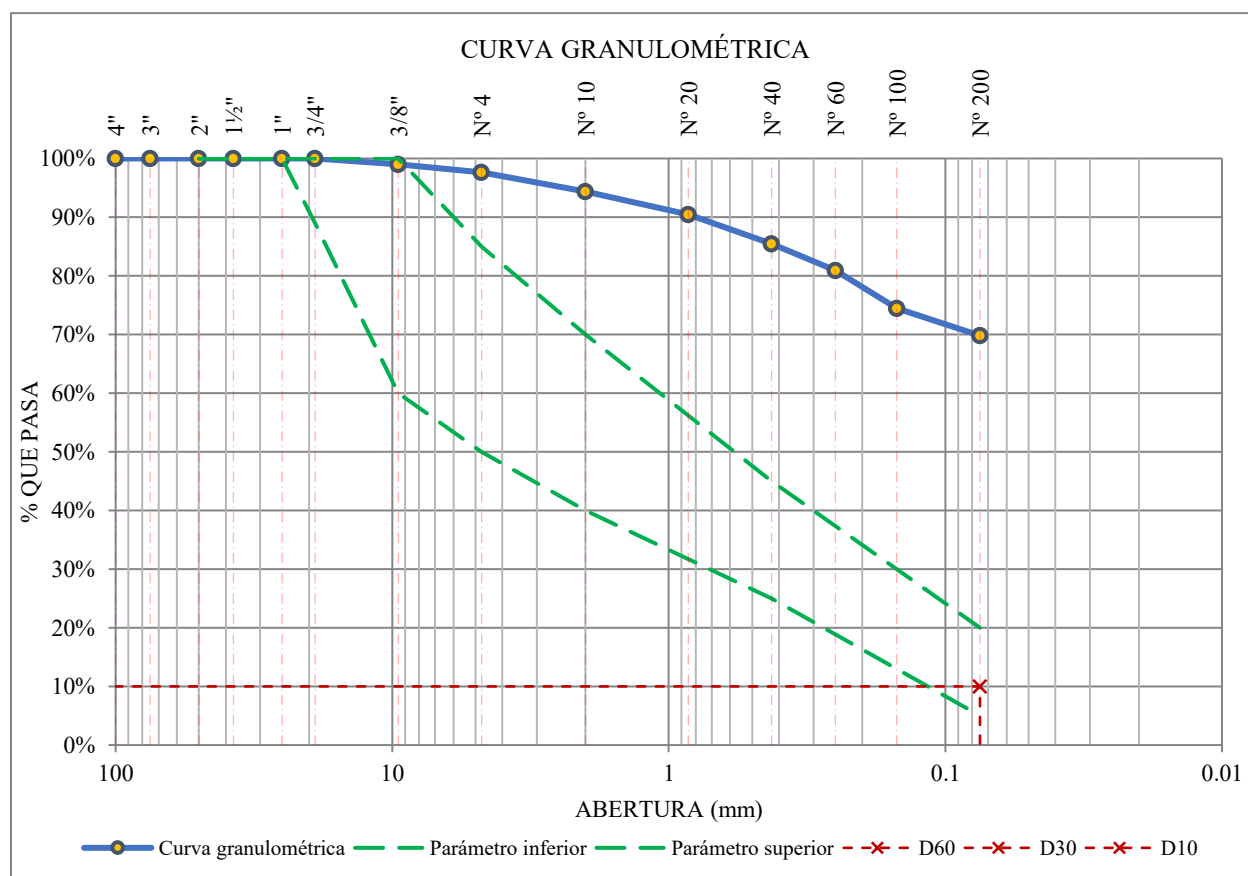
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCION LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	5.94	1.50%	0.46%	0.46%	99.54%
Nº 4	4.75	29.65	7.48%	2.31%	2.77%	97.23%
Nº 10	2	35.68	9.00%	2.78%	5.55%	94.45%
Nº 20	0.85	43.68	11.02%	3.40%	8.95%	91.05%
Nº 40	0.425	50.73	12.80%	3.95%	12.90%	87.10%
Nº 60	0.25	50.83	12.82%	3.96%	16.85%	83.15%
Nº 100	0.15	87.52	22.08%	6.81%	23.67%	76.33%
Nº 200	0.075	86.03	21.71%	6.70%	30.36%	69.64%
Cazuela		2.63	0.66%	0.20%	30.57%	
Lavado		900.22		69.43%	100.00%	
Fracción retenida lavado		392.69	99.07%	30.57%		
Total		1292.91		100.00%		



Anexo B.4 Análisis granulométrico Calicata C-04

Peso de la fracción antes del lavado = 1124.26
 Peso de la fracción después de lavar = 345.34
 %Error = 0.83% Ok!

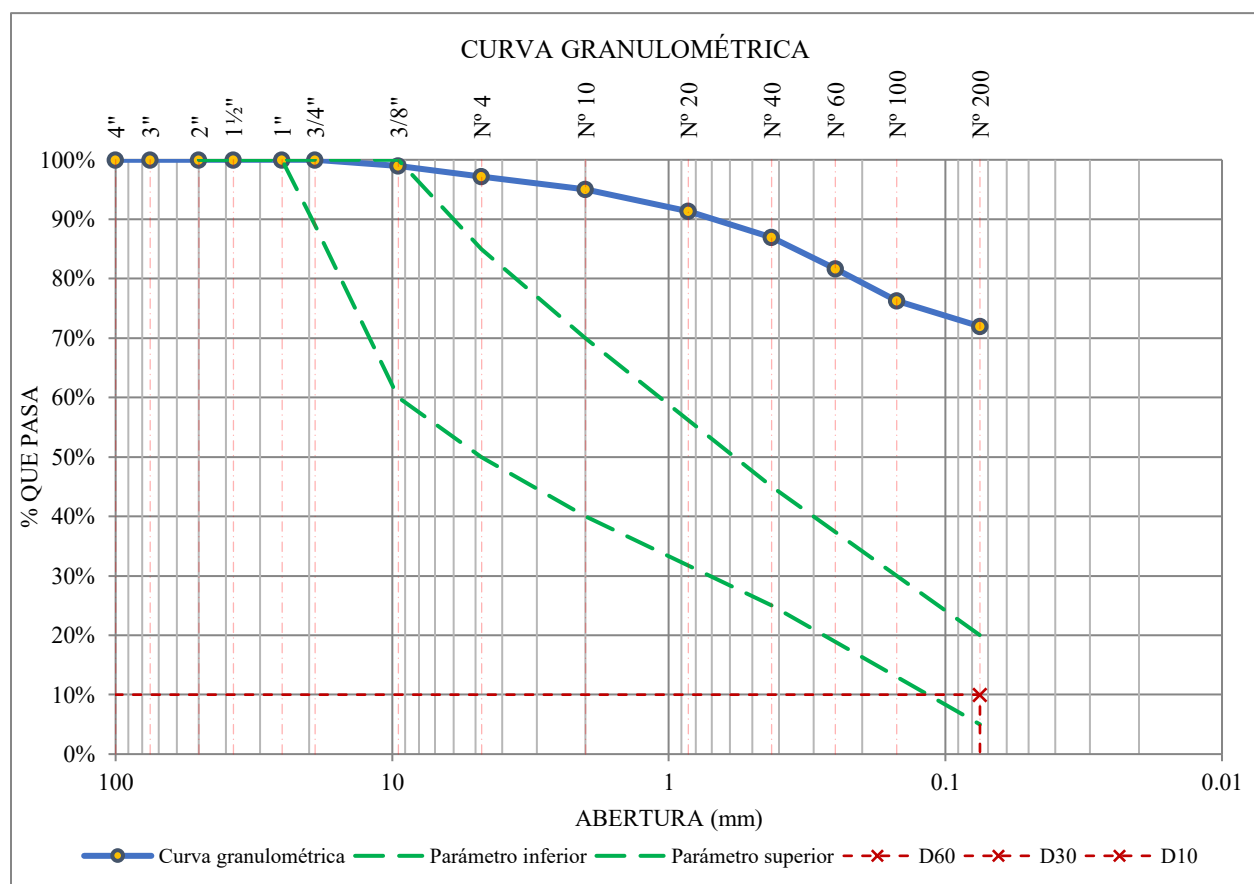
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	11.23	3.25%	1.01%	1.01%	98.99%
Nº 4	4.75	15.61	4.52%	1.40%	2.41%	97.59%
Nº 10	2	35.54	10.29%	3.19%	5.60%	94.40%
Nº 20	0.85	43.68	12.65%	3.92%	9.51%	90.49%
Nº 40	0.425	55.91	16.19%	5.01%	14.53%	85.47%
Nº 60	0.25	50.83	14.72%	4.56%	19.09%	80.91%
Nº 100	0.15	71.74	20.77%	6.43%	25.52%	74.48%
Nº 200	0.075	52.18	15.11%	4.68%	30.20%	69.80%
Cazuela		5.75	1.67%	0.52%	30.72%	
Lavado		778.92		69.28%	100.00%	
Fracción retenida lavado		342.47	99.17%	30.72%		
Total		1121.39		100.00%		



Anexo B.5 Análisis granulométrico Calicata C-05

Peso de la fracción antes del lavado = 1623.64
 Peso de la fracción después de lavar = 459.35
 %Error = 0.88% Ok!

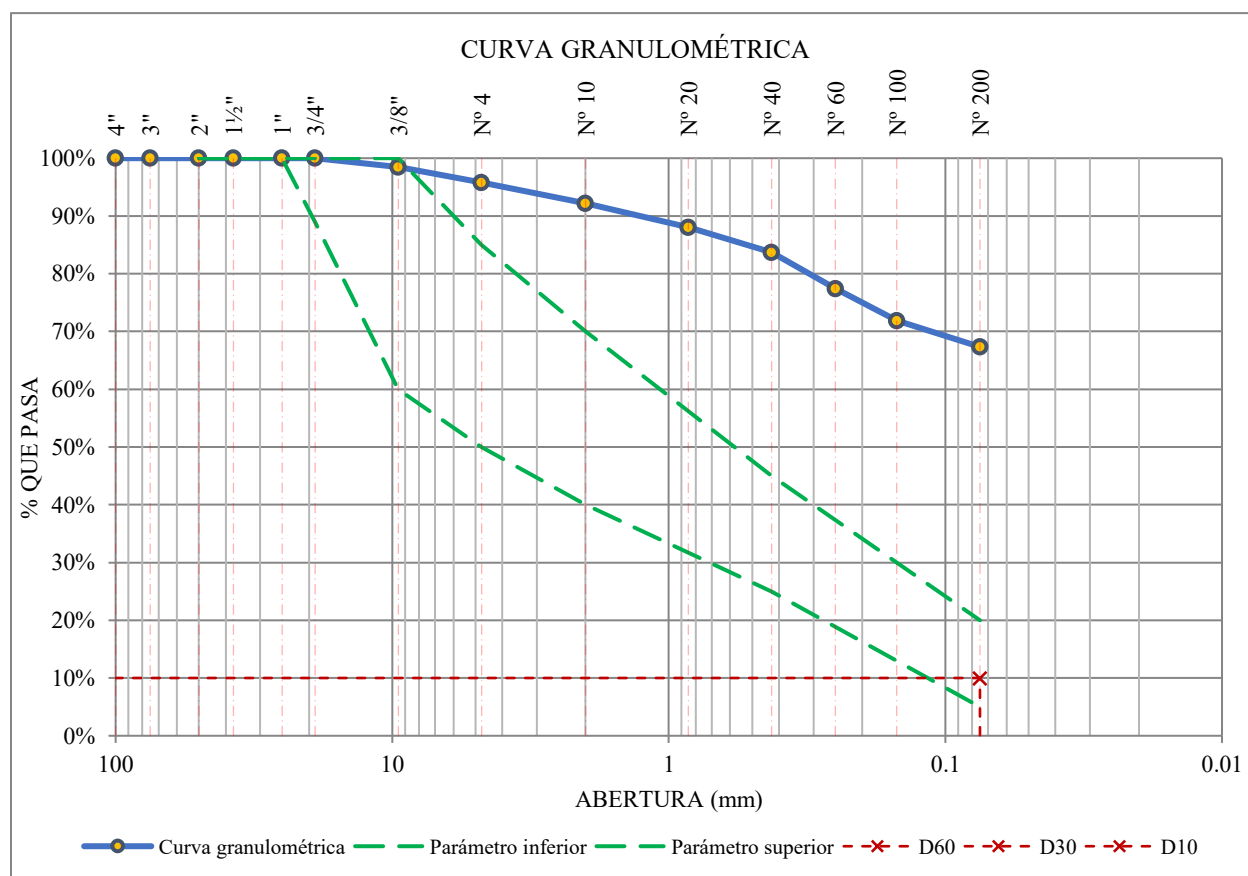
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCION LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	15.89	3.46%	0.99%	0.99%	99.01%
Nº 4	4.75	29.75	6.48%	1.85%	2.84%	97.16%
Nº 10	2	33.89	7.38%	2.11%	4.94%	95.06%
Nº 20	0.85	59.17	12.88%	3.68%	8.62%	91.38%
Nº 40	0.425	71.63	15.59%	4.45%	13.07%	86.93%
Nº 60	0.25	84.32	18.36%	5.24%	18.31%	81.69%
Nº 100	0.15	87.02	18.94%	5.41%	23.71%	76.29%
Nº 200	0.075	69.45	15.12%	4.32%	28.03%	71.97%
Cazuela		4.21	0.92%	0.26%	28.29%	
Lavado		1164.29		71.71%	100.00%	
Fracción retenida lavado		455.33	99.12%	28.29%		
Total		1619.62		100.00%		



Anexo B.6 Análisis granulométrico Calicata C-06

Peso de la fracción antes del lavado = 1702.28
 Peso de la fracción después de lavar = 563.05
 %Error = 0.81% Ok!

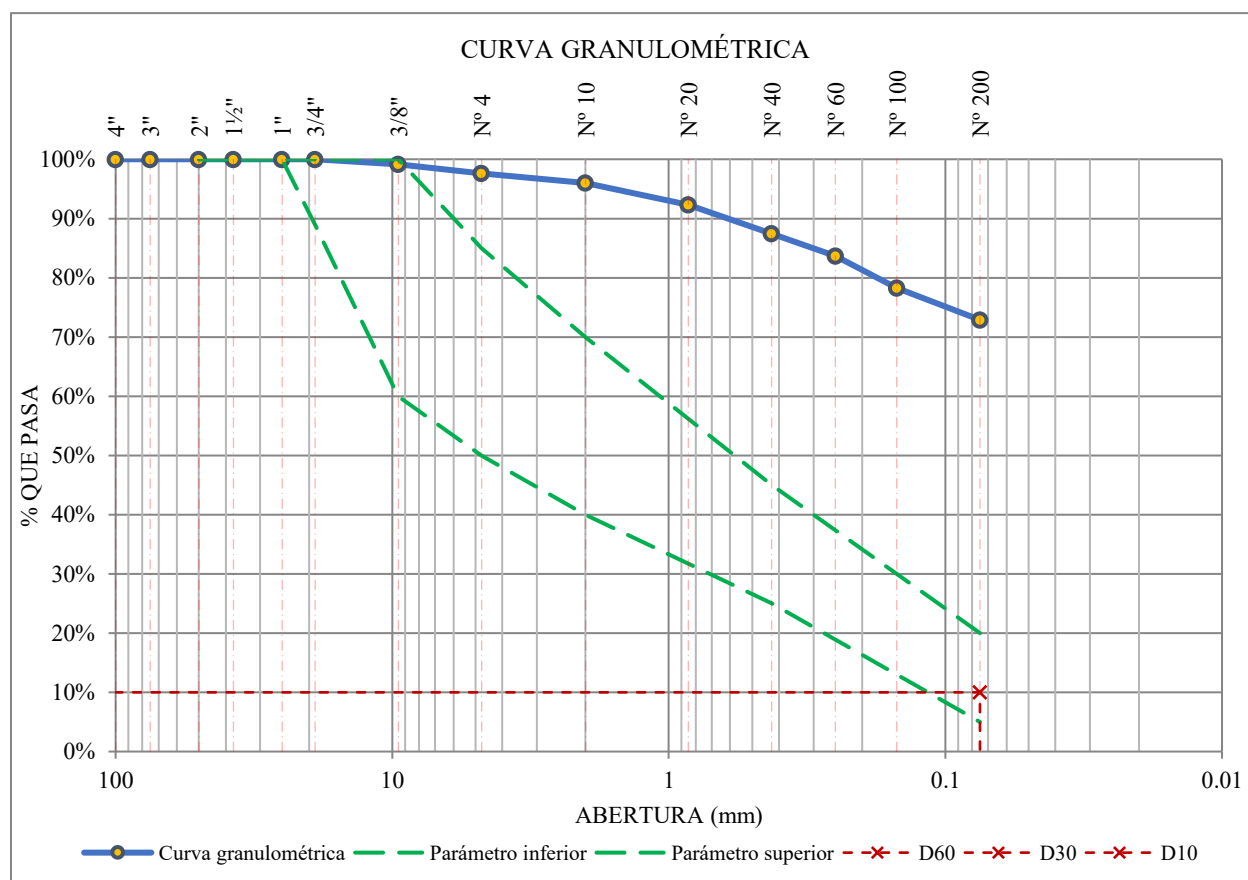
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCION LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	26.25	4.66%	1.55%	1.55%	98.45%
Nº 4	4.75	45.37	8.06%	2.69%	4.24%	95.76%
Nº 10	2	59.81	10.62%	3.54%	7.78%	92.22%
Nº 20	0.85	69.93	12.42%	4.14%	11.92%	88.08%
Nº 40	0.425	74.46	13.22%	4.41%	16.33%	83.67%
Nº 60	0.25	106.17	18.86%	6.29%	22.62%	77.38%
Nº 100	0.15	92.14	16.36%	5.46%	28.08%	71.92%
Nº 200	0.075	77.52	13.77%	4.59%	32.67%	67.33%
Cazuela		6.86	1.22%	0.41%	33.08%	
Lavado		1139.23		66.92%	100.00%	
Fracción retenida lavado		558.51	99.19%	33.08%		
Total		1697.74		100.00%		



Anexo B.7 Análisis granulométrico Calicata C-07

Peso de la fracción antes del lavado = 1285.53
 Peso de la fracción después de lavar = 352.37
 %Error = 0.86% Ok!

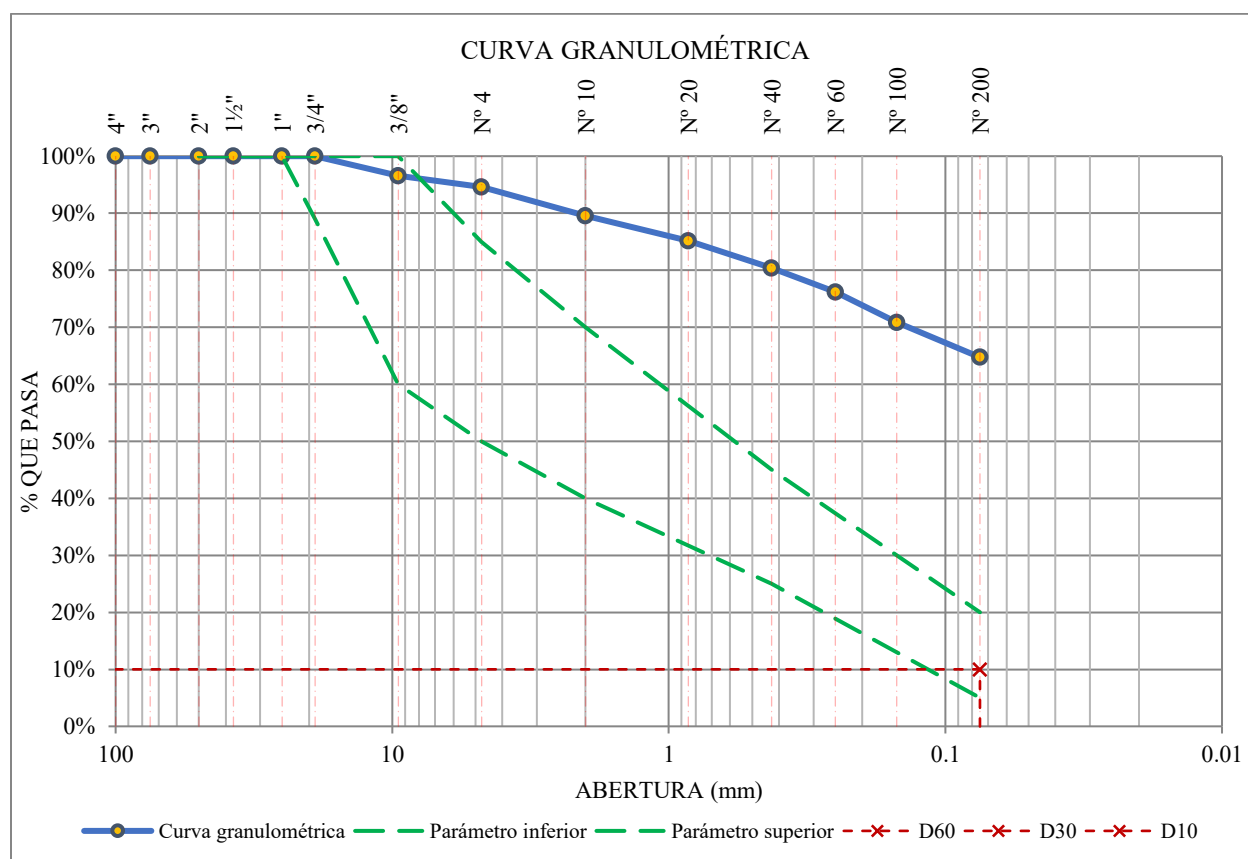
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCION LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	10.94	3.10%	0.86%	0.86%	99.14%
Nº 4	4.75	19.65	5.58%	1.54%	2.40%	97.60%
Nº 10	2	20.68	5.87%	1.62%	4.02%	95.98%
Nº 20	0.85	46.81	13.28%	3.67%	7.70%	92.30%
Nº 40	0.425	61.7	17.51%	4.84%	12.54%	87.46%
Nº 60	0.25	48.56	13.78%	3.81%	16.35%	83.65%
Nº 100	0.15	69.28	19.66%	5.44%	21.78%	78.22%
Nº 200	0.075	67.99	19.30%	5.33%	27.12%	72.88%
Cazuela		3.73	1.06%	0.29%	27.41%	
Lavado		933.16		72.59%	100.00%	
Fracción retenida lavado		349.34	99.14%	27.41%		
Total		1282.5		100.00%		



Anexo B.8 Análisis granulométrico Calicata C-08

Peso de la fracción antes del lavado = 1160.20
 Peso de la fracción después de lavar = 411.46
 %Error = 0.94% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	39.65	9.64%	3.45%	3.45%	96.55%
Nº 4	4.750	22.42	5.45%	1.95%	5.40%	94.60%
Nº 10	2.000	58.17	14.14%	5.06%	10.46%	89.54%
Nº 20	0.850	49.81	12.11%	4.33%	14.80%	85.20%
Nº 40	0.425	54.98	13.36%	4.78%	19.58%	80.42%
Nº 60	0.250	48.56	11.80%	4.23%	23.80%	76.20%
Nº 100	0.150	61.95	15.06%	5.39%	29.19%	70.81%
Nº 200	0.075	69.84	16.97%	6.08%	35.27%	64.73%
Cazuela		2.23	0.54%	0.19%	35.46%	
Lavado		748.74		64.54%	100.00%	
Fracción retenida lavado		407.61	99.06%	35.46%		
Total		1156.35		100.00%		



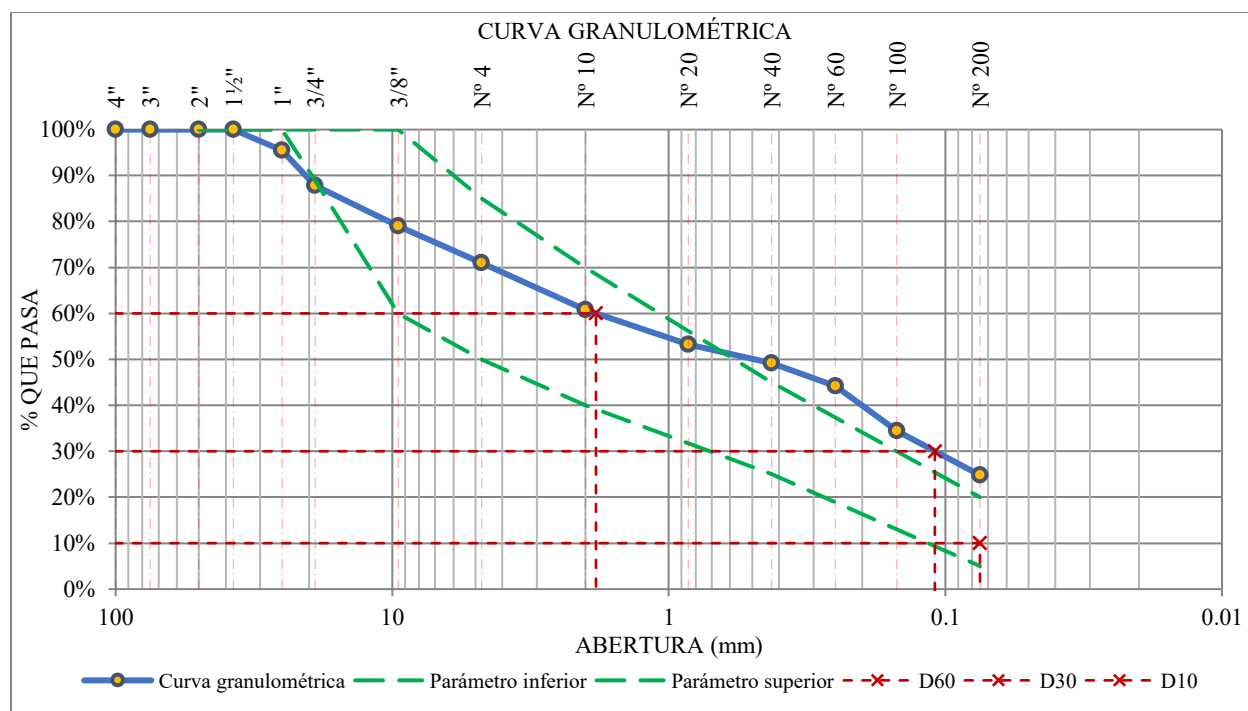
Anexo B.9 Análisis granulométrico Calicata C-09

Peso de la fracción antes del lavado = 1983.98

Peso de la fracción después de lavar = 1494.17

%Error = 0.94% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.000	89.32	5.98%	4.54%	4.54%	95.46%
3/4"	19.000	150.67	10.08%	7.67%	12.21%	87.79%
3/8"	9.500	171.68	11.49%	8.74%	20.95%	79.05%
Nº 4	4.750	158.34	10.60%	8.06%	29.00%	71.00%
Nº 10	2.000	201.21	13.47%	10.24%	39.24%	60.76%
Nº 20	0.850	147.16	9.85%	7.49%	46.73%	53.27%
Nº 40	0.425	81.23	5.44%	4.13%	50.86%	49.14%
Nº 60	0.250	98.23	6.57%	5.00%	55.86%	44.14%
Nº 100	0.150	191.29	12.80%	9.73%	65.60%	34.40%
Nº 200	0.075	188.87	12.64%	9.61%	75.21%	24.79%
Cazuela		2.06	0.14%	0.10%	75.31%	
Lavado		489.81		24.69%	100.00%	
Fracción retenida lavado		1480.06	99.06%	75.31%		
Total		1969.87		100.00%		

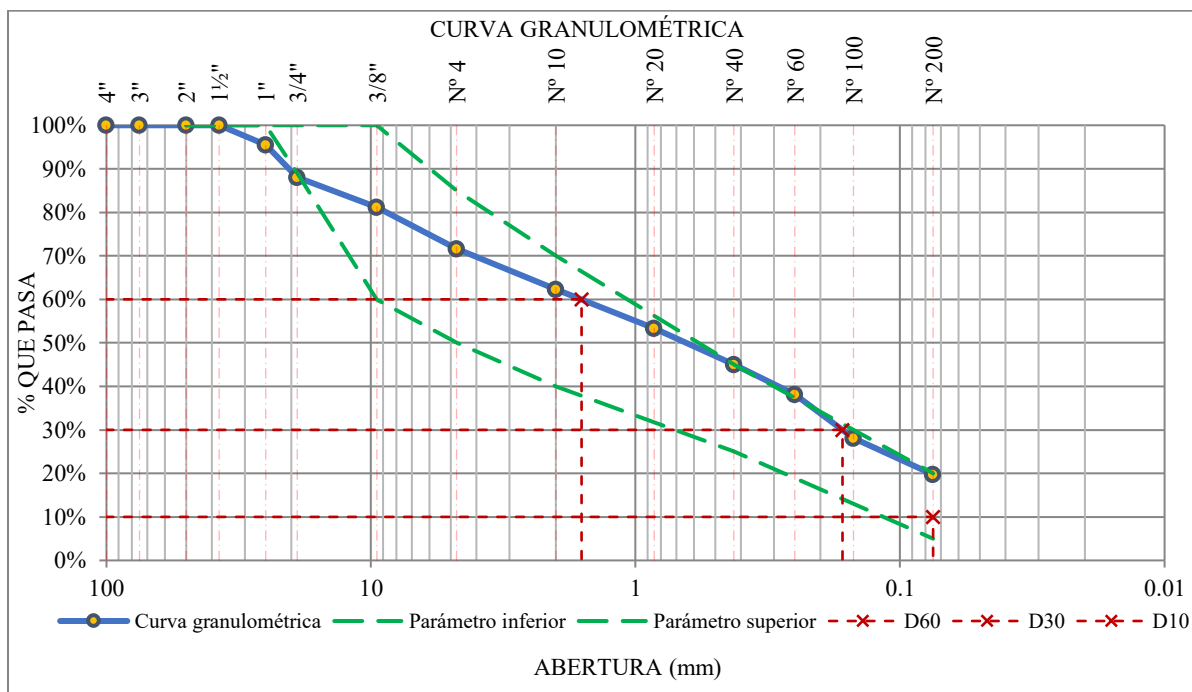


D60 = 1.83 mm	Cu = 24.46
D30 = 0.11 mm	Cc = 0.087
D10 = 0.075 mm	

Anexo B.10 Análisis granulométrico Calicata C-10

Peso de la fracción antes del lavado =	2236.14
Peso de la fracción después de lavar =	1798.32
%Error = 0.71% Ok!	

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.000	100.53	5.59%	4.53%	4.53%	95.47%
3/4"	19.000	164.26	9.13%	7.40%	11.93%	88.07%
3/8"	9.500	153.13	8.52%	6.90%	18.82%	81.18%
Nº 4	4.750	211.38	11.75%	9.52%	28.34%	71.66%
Nº 10	2.000	206.74	11.50%	9.31%	37.66%	62.34%
Nº 20	0.850	199.36	11.09%	8.98%	46.64%	53.36%
Nº 40	0.425	184.16	10.24%	8.29%	54.93%	45.07%
Nº 60	0.250	152.48	8.48%	6.87%	61.80%	38.20%
Nº 100	0.150	224.02	12.46%	10.09%	71.89%	28.11%
Nº 200	0.075	185.98	10.34%	8.38%	80.26%	19.74%
Cazuela		3.47	0.19%	0.16%	80.42%	
Lavado		437.82		19.58%	100.00%	
Fracción retenida lavado		1785.51	99.29%	80.42%		
Total		2223.33		100.00%		



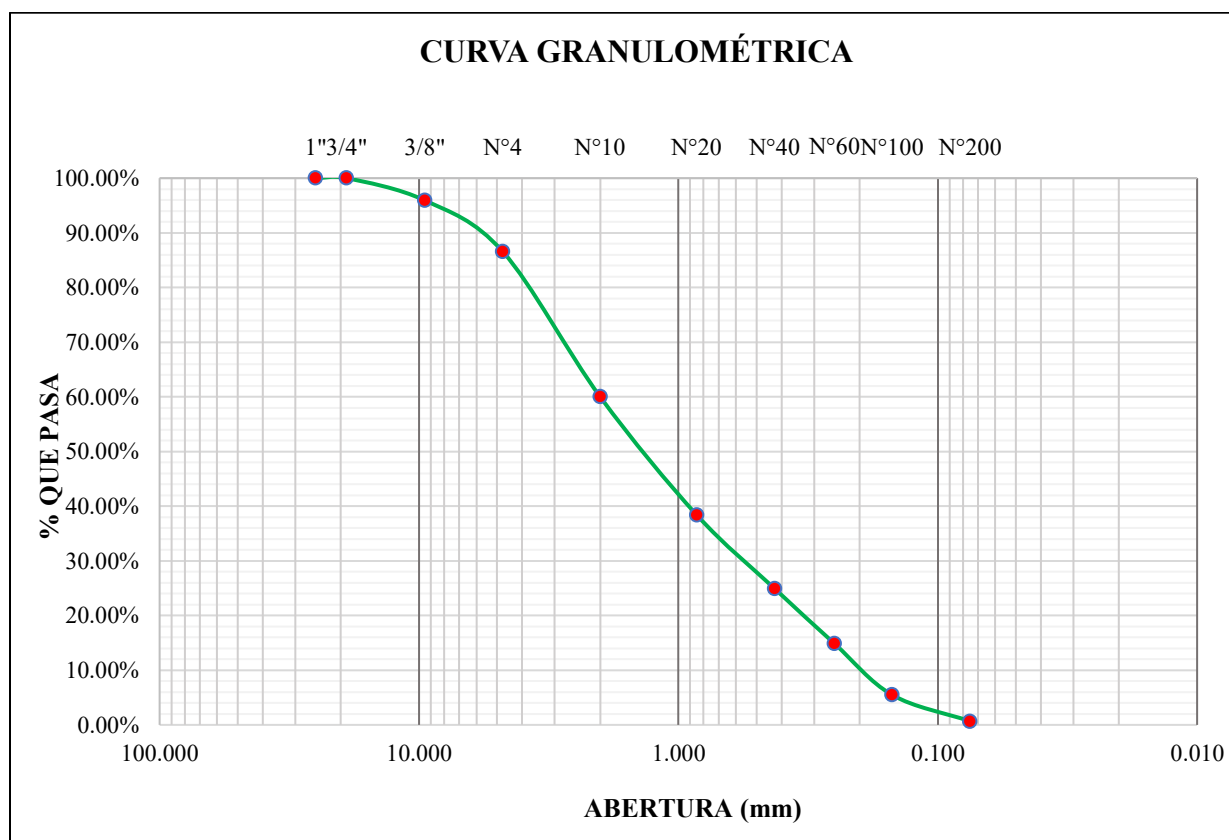
D60 = 1.60 mm	Cu = 21.33
D30 = 0.17 mm	Cc = 0.227
D10 = 0.075 mm	

Anexo B.11 Análisis granulométrico del RAP

Peso de la fracción = 742.52

%Error = 0.98% Ok!

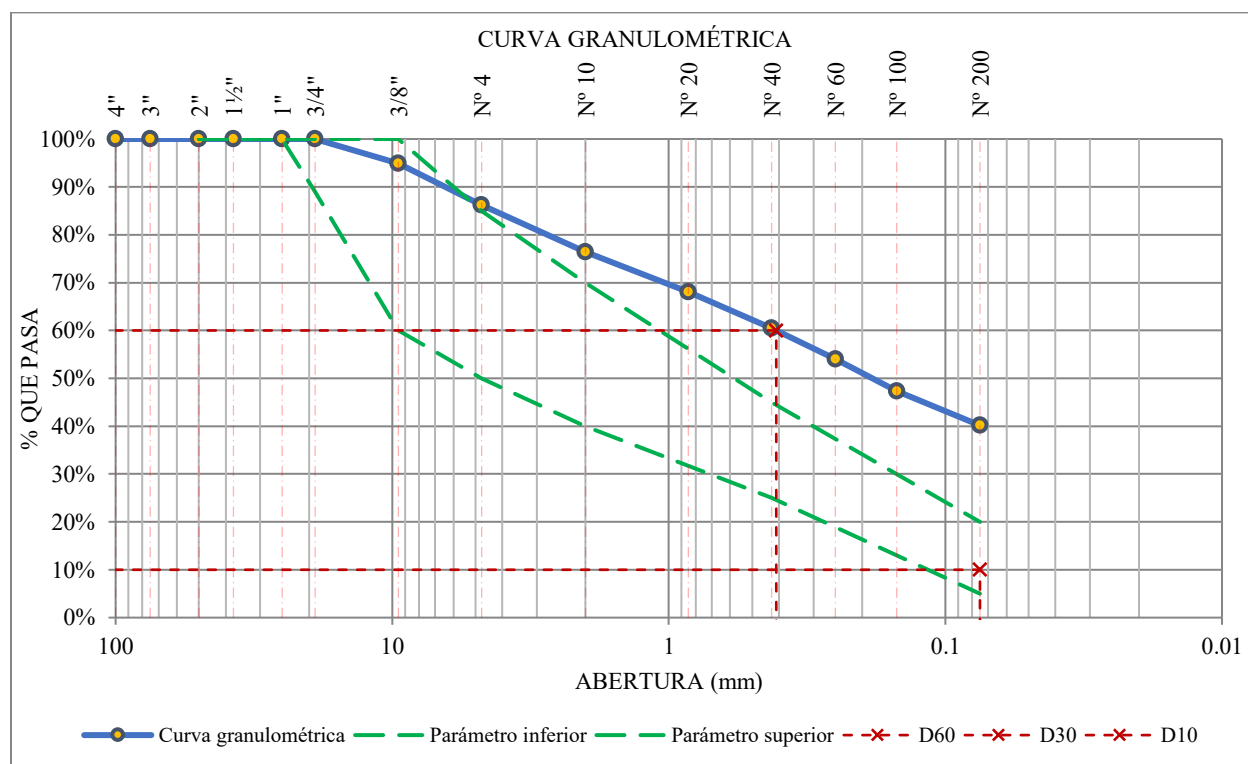
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	29.84	4.02%	4.06%	4.06%	95.94%
Nº 4	4.750	69.07	9.30%	9.39%	13.45%	86.55%
Nº 10	2.000	195.36	26.31%	26.57%	40.02%	59.98%
Nº 20	0.850	158.63	21.36%	21.57%	61.60%	38.40%
Nº 40	0.425	99.26	13.37%	13.50%	75.10%	24.90%
Nº 60	0.250	73.87	9.95%	10.05%	85.14%	14.86%
Nº 100	0.150	68.89	9.28%	9.37%	94.51%	5.49%
Nº 200	0.075	35.51	4.78%	4.83%	99.34%	0.66%
Cazuela		4.85	0.65%	0.66%	100.00%	
Fracción retenida		735.28	99.02%	100.00%		
Total		735.28		100.00%		



Anexo B.12 Análisis granulométrico del Suelo + 15%RAP

Peso de la fracción antes del lavado =	1000
Peso de la fracción después de lavar =	601.69
%Error = 0.98% Ok!	

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	49.86	8.29%	5.04%	5.04%	94.96%
Nº 4	4.750	86.15	14.32%	8.70%	13.74%	86.26%
Nº 10	2.000	98.02	16.29%	9.90%	23.63%	76.37%
Nº 20	0.850	82.17	13.66%	8.30%	31.93%	68.07%
Nº 40	0.425	75.23	12.50%	7.60%	39.53%	60.47%
Nº 60	0.250	63.63	10.58%	6.43%	45.96%	54.04%
Nº 100	0.150	66.00	10.97%	6.67%	52.62%	47.38%
Nº 200	0.075	71.53	11.89%	7.22%	59.84%	40.16%
Cazuela		3.22	0.54%	0.33%	60.17%	
Lavado		398.31		39.83%	100.00%	
Fracción retenida lavado		595.81	99.02%	60.17%		
Total		994.12		100.00%		

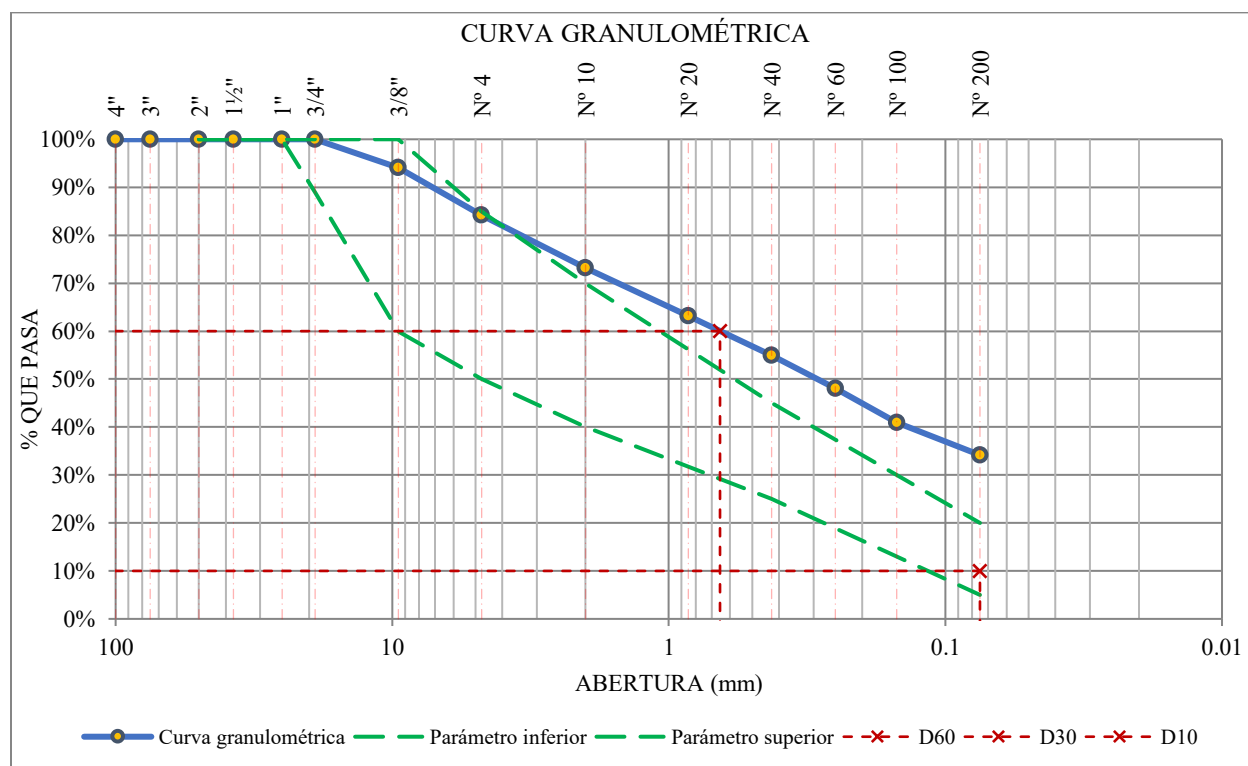


D60 = 0.41 mm	Cu = 5.45
D30 = -	Cc = NP
D10 = 0.075 mm	

Anexo B.13 Análisis granulométrico Suelo + 20%RAP

Peso de la fracción antes del lavado = 1000
Peso de la fracción después de lavar = 662.56
%Error = 0.59% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	58.27	8.79%	5.86%	5.86%	94.14%
Nº 4	4.750	98.38	14.85%	9.90%	15.76%	84.24%
Nº 10	2.000	109.82	16.58%	11.05%	26.81%	73.19%
Nº 20	0.850	100.16	15.12%	10.08%	36.88%	63.12%
Nº 40	0.425	81.55	12.31%	8.20%	45.08%	54.92%
Nº 60	0.250	68.19	10.29%	6.86%	51.94%	48.06%
Nº 100	0.150	70.82	10.69%	7.12%	59.07%	40.93%
Nº 200	0.075	67.29	10.16%	6.77%	65.84%	34.16%
Cazuela		4.17	0.63%	0.42%	66.26%	
Lavado		337.44		33.74%	100.00%	
Fracción retenida lavado		658.65	99.41%	66.26%		
Total		996.09		100.00%		

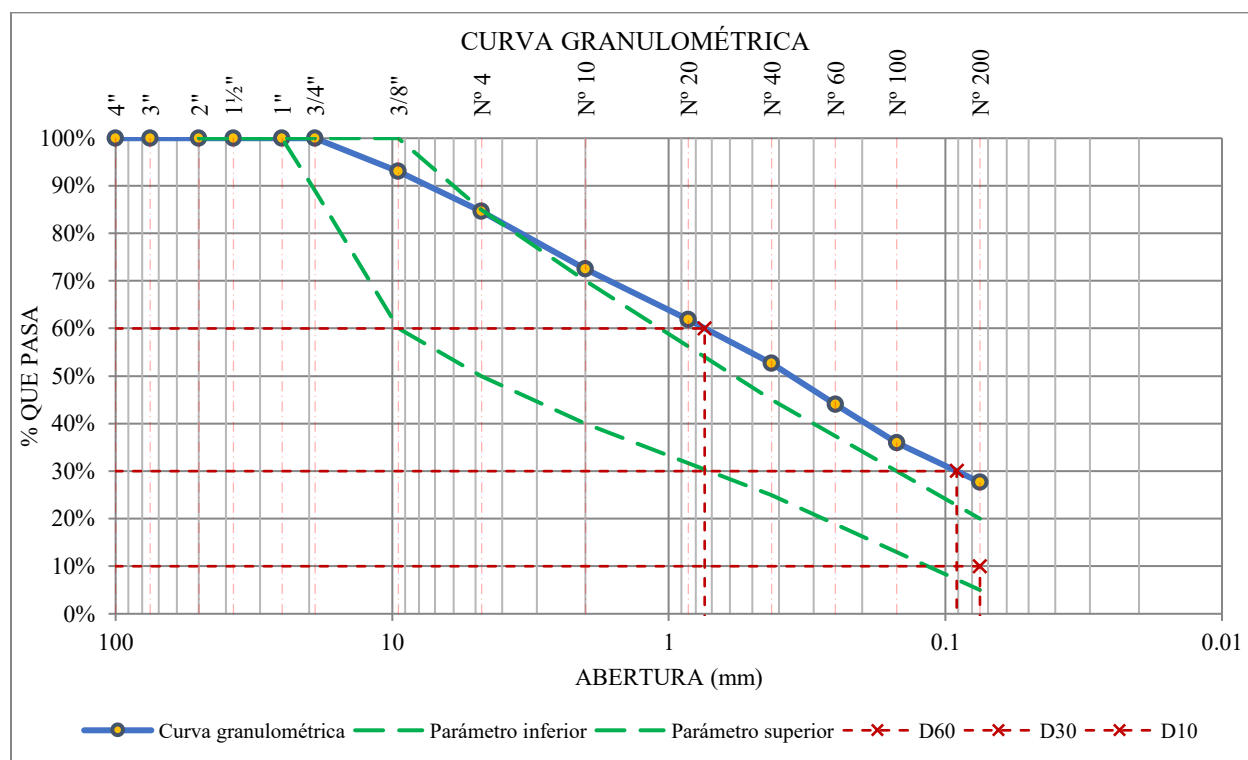


D60 = 0.65 mm	Cu = 8.71
D30 = -	Cc = NP
D10 = 0.075 mm	

Anexo B.14 Análisis granulométrico Suelo + 25%RAP

Peso de la fracción antes del lavado = 1000
 Peso de la fracción después de lavar = 728.40
 %Error = 0.87% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	69.34	9.52%	6.99%	6.99%	93.01%
Nº 4	4.750	83.73	11.50%	8.45%	15.44%	84.56%
Nº 10	2.000	119.07	16.35%	12.01%	27.45%	72.55%
Nº 20	0.850	106.49	14.62%	10.74%	38.19%	61.81%
Nº 40	0.425	91.28	12.53%	9.21%	47.40%	52.60%
Nº 60	0.250	85.26	11.71%	8.60%	56.00%	44.00%
Nº 100	0.150	79.35	10.89%	8.00%	64.01%	35.99%
Nº 200	0.075	82.43	11.32%	8.32%	72.32%	27.68%
Cazuela		5.13	0.70%	0.52%	72.84%	
Lavado		271.60		27.16%	100.00%	
Fracción retenida lavado		722.08	99.13%	72.84%		
Total		993.68		100.00%		



D60 = 0.74 mm

D30 = 0.09 mm

D10 = 0.075 mm

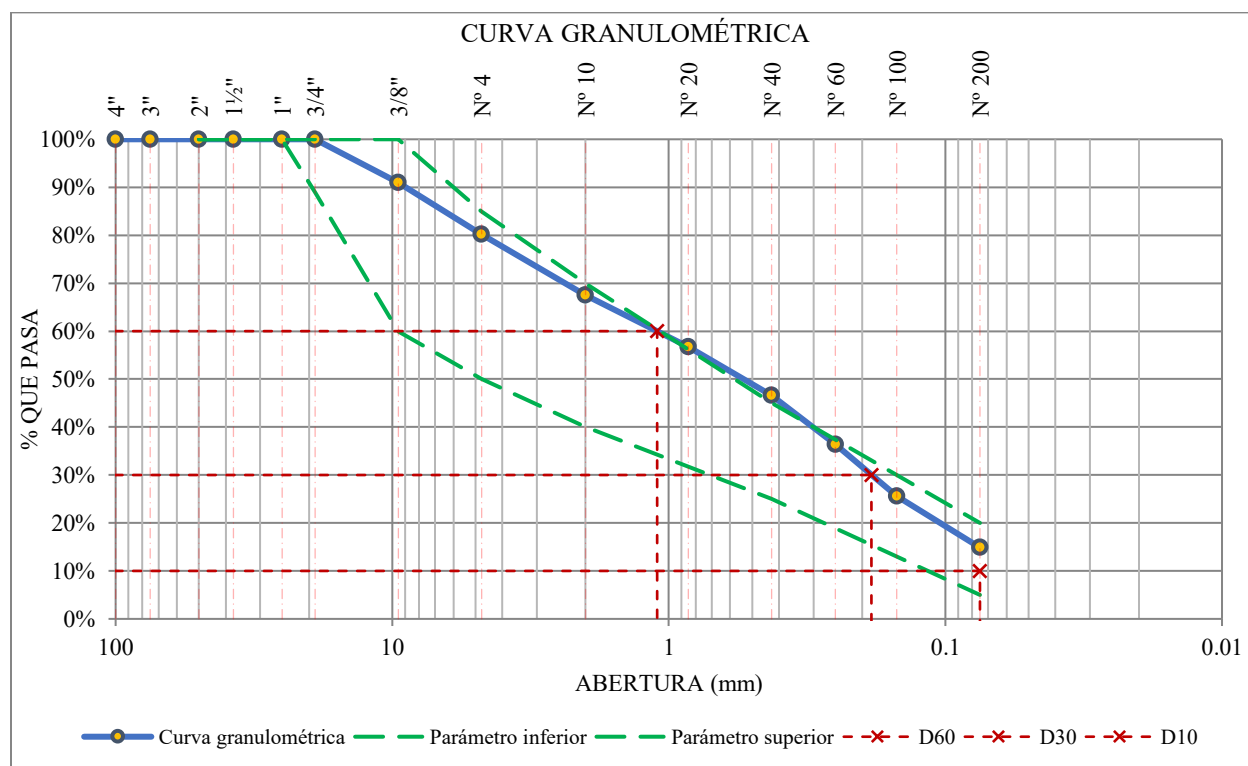
Cu = 9.89

Cc = 0.149

Anexo B.15 Suelo + 30%RAP Análisis granulométrico

Peso de la fracción antes del lavado =	1000
Peso de la fracción después de lavar =	784.12
%Error = 0.5% Ok!	

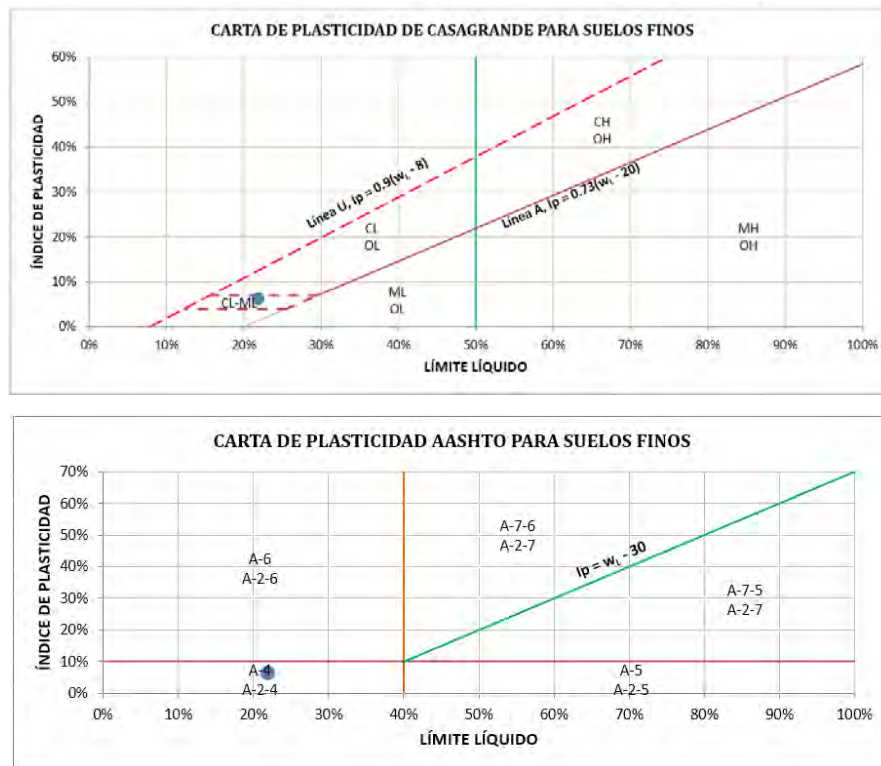
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	82.15	10.48%	8.26%	8.26%	91.74%
Nº 4	4.750	98.26	12.53%	9.88%	18.13%	81.87%
Nº 10	2.000	115.42	14.72%	11.60%	29.73%	70.27%
Nº 20	0.850	98.37	12.55%	9.89%	39.62%	60.38%
Nº 40	0.425	92.23	11.76%	9.27%	48.89%	51.11%
Nº 60	0.250	93.18	11.88%	9.36%	58.25%	41.75%
Nº 100	0.150	98.65	12.58%	9.91%	68.17%	31.83%
Nº 200	0.075	97.12	12.39%	9.76%	77.93%	22.07%
Cazuela		4.81	0.61%	0.48%	78.41%	
Lavado		215.88		21.59%	100.00%	
Fracción retenida lavado		780.19	99.50%	78.41%		
Total		996.07		100.00%		



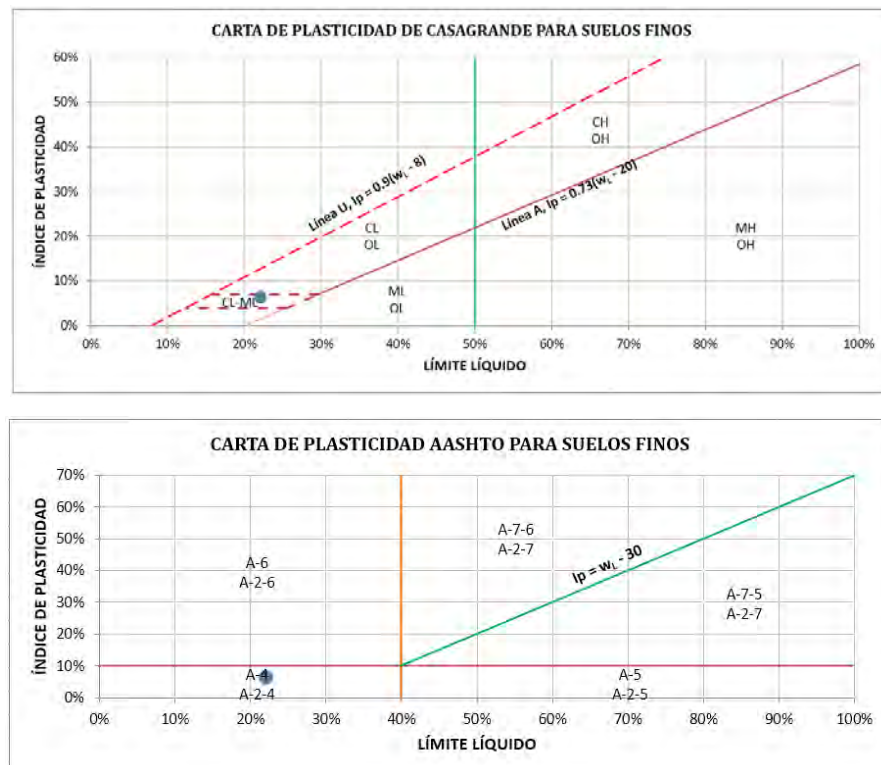
D60 = 1.10 mm	Cu = 14.69
D30 = 0.19 mm	Cc = 0.415
D10 = 0.075 mm	

Anexo C: Carta de Plasticidad para determinar la clasificación de suelos según SUCS

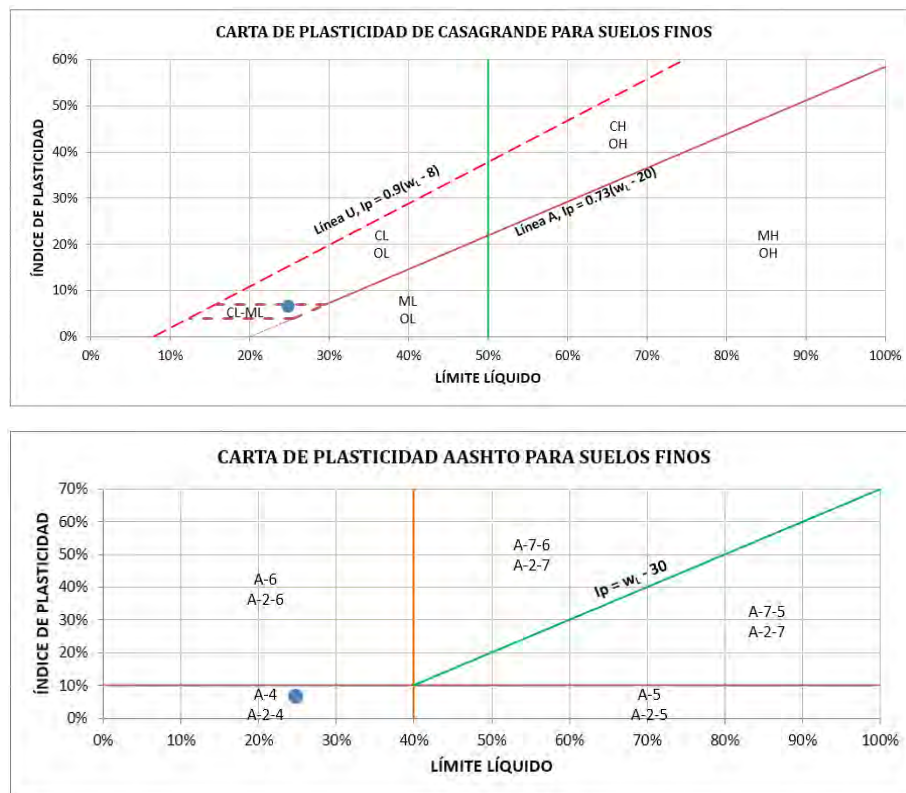
Anexo C.1: Resultado de la carta de plasticidad para la calicata C-01



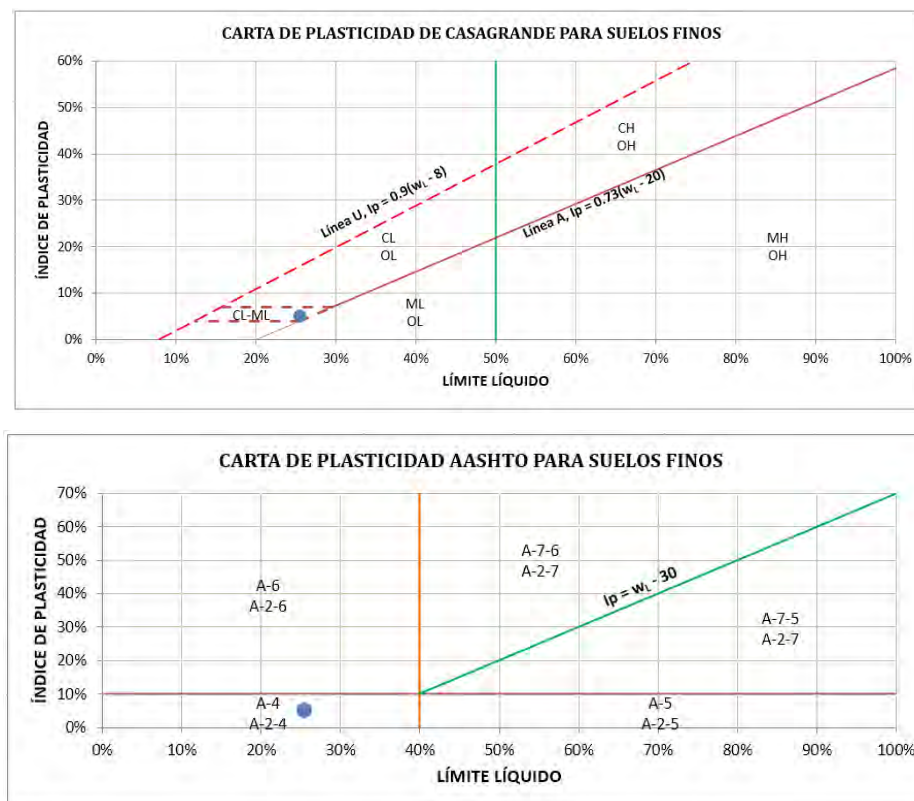
Anexo C.2: Resultado de la carta de plasticidad para la calicata C-02



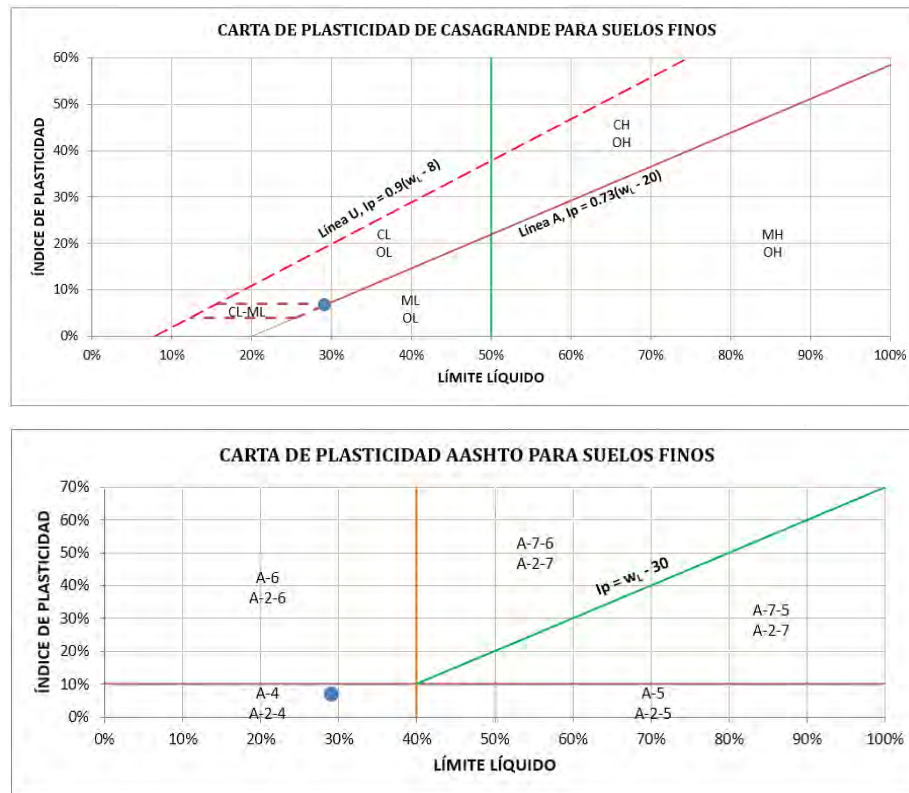
Anexo C.3: Resultado de la carta de plasticidad para la calicata C-03



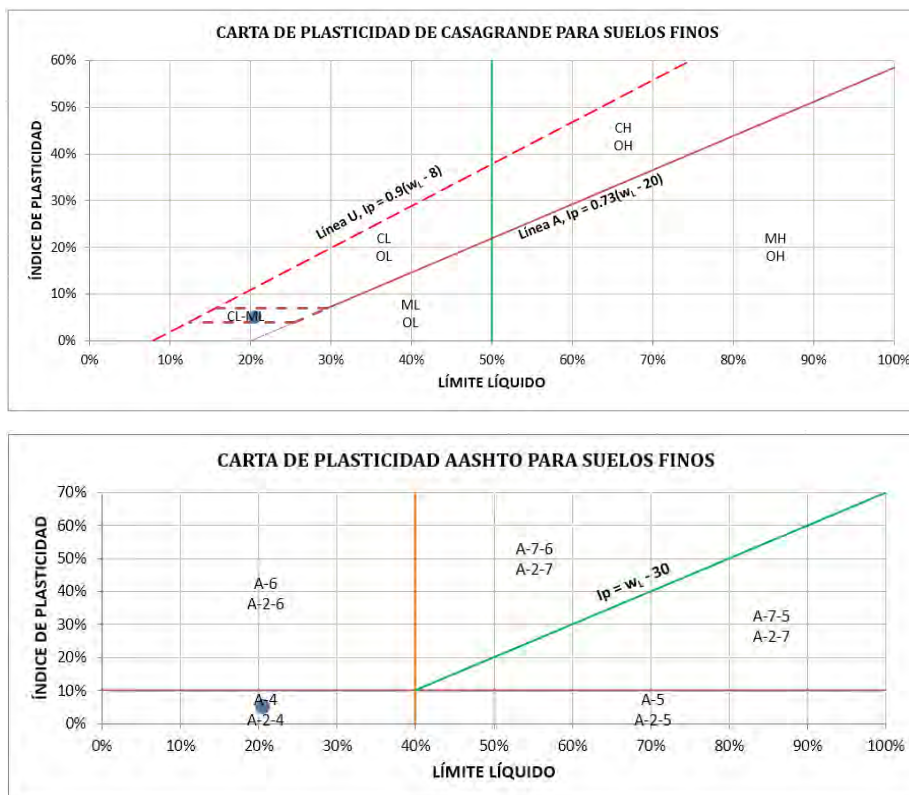
Anexo C.4: Resultado de la carta de plasticidad para la calicata C-04



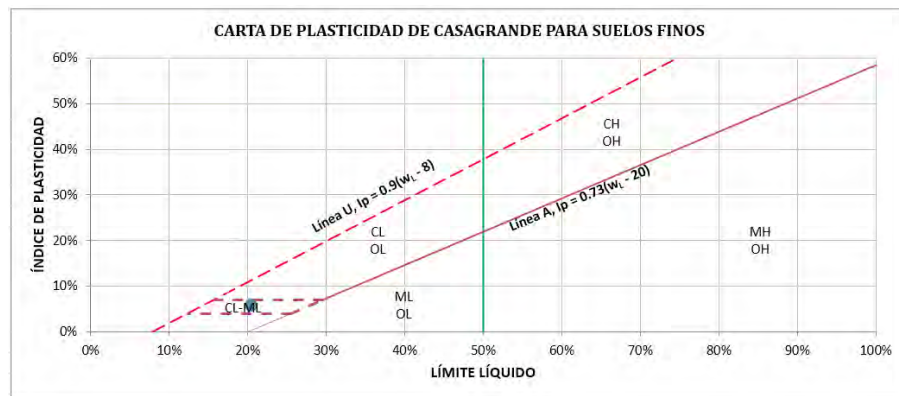
Anexo C.5: Resultado de la carta de plasticidad para la calicata C-05



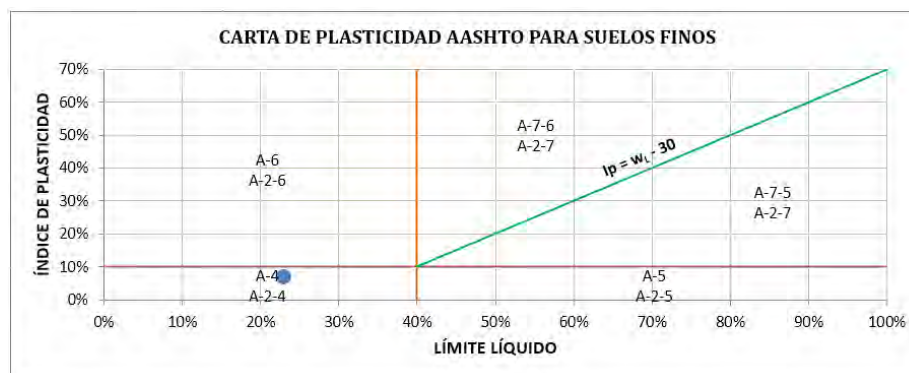
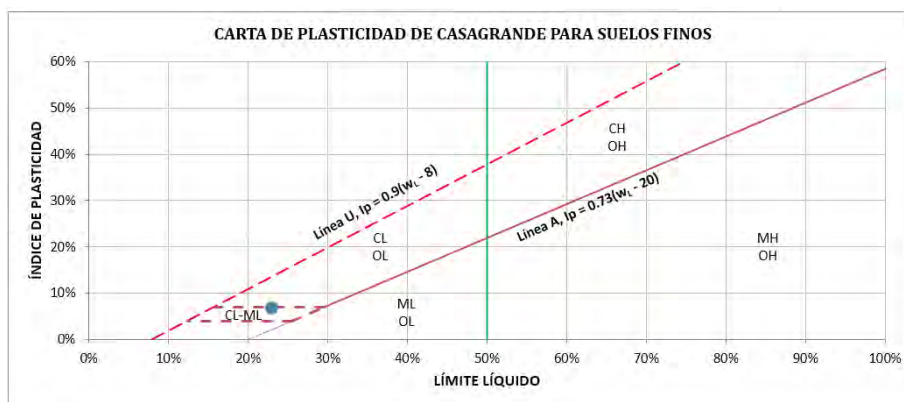
Anexo C.6: Resultado de la carta de plasticidad para la calicata C-06



Anexo C.7: Resultado de la carta de plasticidad para la calicata C-07



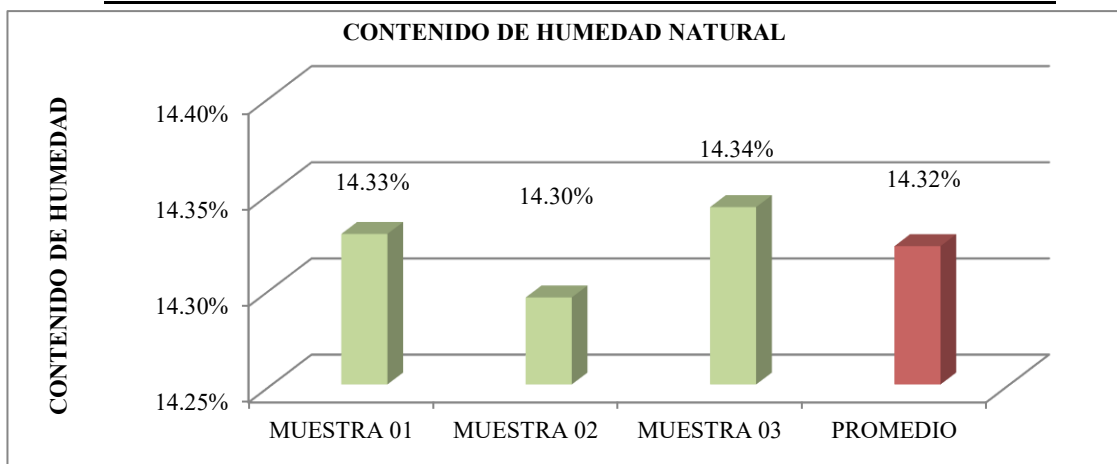
Anexo C.8: Resultado de la carta de plasticidad para la calicata C-08



Anexo D: Contenido de humedad natural de las calicatas

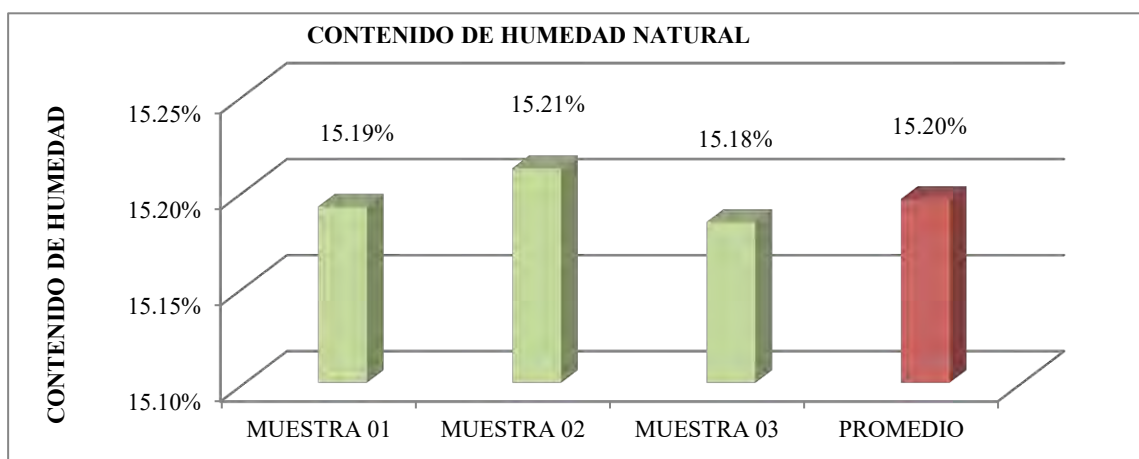
Anexo D.1: Contenido de humedad calicata C-01

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	32.27	59.75	51.44
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	181.88	213.9	201.72
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	163.13	194.62	182.87
Peso del Agua (gr)	18.75	19.28	18.85
Peso de la Muestra Seca (gr)	130.86	134.87	131.43
Contenido de Humedad	14.33%	14.30%	14.34%
Promedio	14.32%		



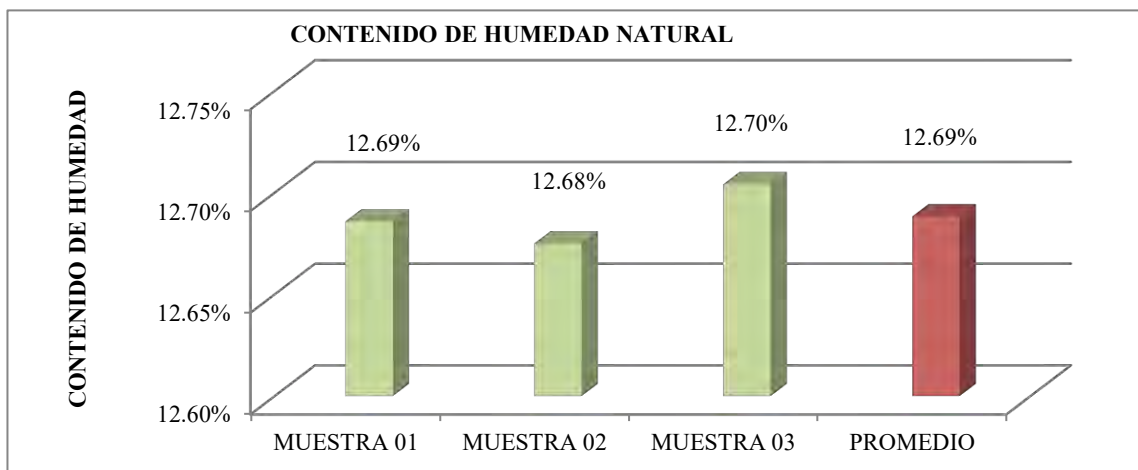
Anexo D.2: Contenido de humedad calicata C-02

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	58.58	57.63	59.51
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	173.38	162.68	158.28
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	158.24	148.81	145.26
Peso del Agua (gr)	15.14	13.87	13.02
Peso de la Muestra Seca (gr)	99.66	91.18	85.75
Contenido de Humedad	15.19%	15.21%	15.18%
Promedio	15.20%		



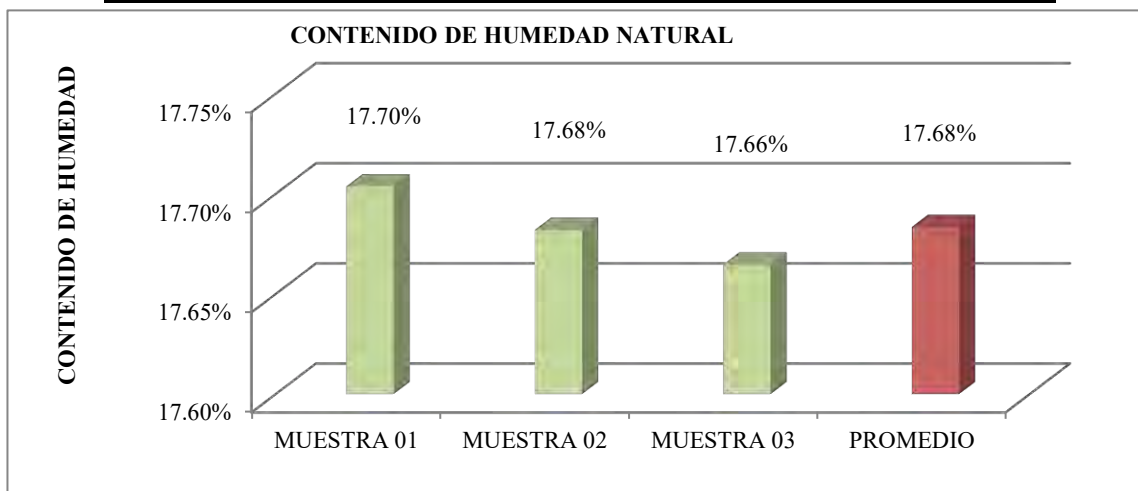
Anexo D.3: Contenido de humedad calicata C-03

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	57.96	60.81	57.89
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	193.6	181.53	169.05
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	178.33	167.95	156.52
Peso del Agua (gr)	15.27	13.58	12.53
Peso de la Muestra Seca (gr)	120.37	107.14	98.63
Contenido de Humedad	12.69%	12.68%	12.70%
Promedio	12.69%		



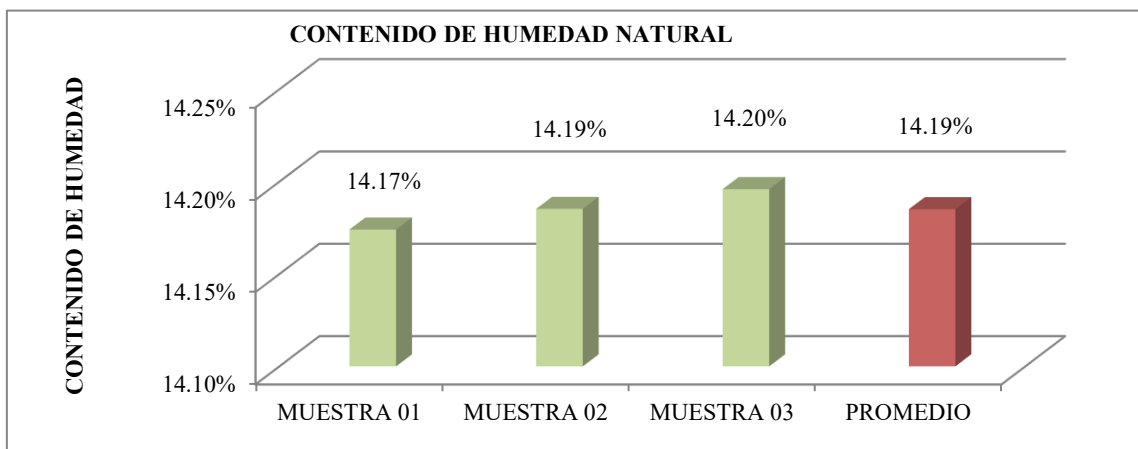
Anexo D.4: Contenido de humedad calicata C-04

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	58.45	60.81	56.65
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	183.11	177.68	178.28
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	164.36	160.12	160.02
Peso del Agua (gr)	18.75	17.56	18.26
Peso de la Muestra Seca (gr)	105.91	99.31	103.37
Contenido de Humedad	17.70%	17.68%	17.66%
Promedio	17.68%		



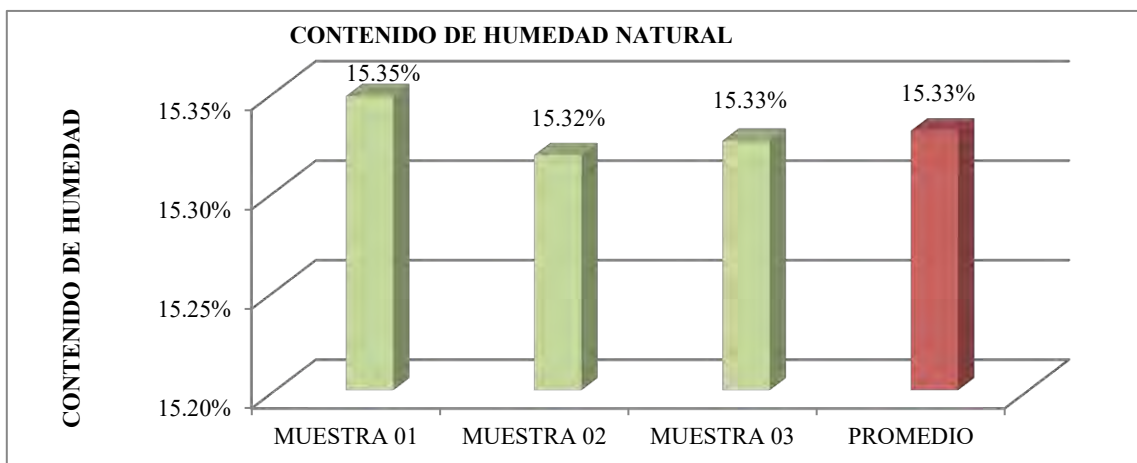
Anexo D.5: Contenido de humedad calicata C-05

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	57.49	58.76	56.52
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	177.27	162.68	158.28
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	162.4	149.77	145.63
Peso del Agua (gr)	14.87	12.91	12.65
Peso de la Muestra Seca (gr)	104.91	91.01	89.11
Contenido de Humedad	14.17%	14.19%	14.20%
Promedio	14.19%		



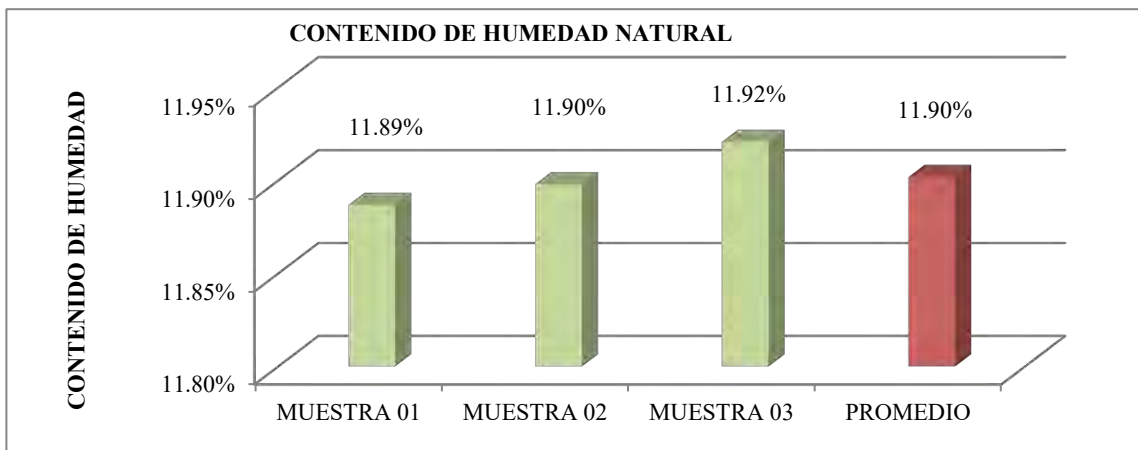
Anexo D.6: Contenido de humedad calicata C-06

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	60.7	56.62	64.9
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	205.3	152.68	145.72
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	186.06	139.92	134.98
Peso del Agua (gr)	19.24	12.76	10.74
Peso de la Muestra Seca (gr)	125.36	83.3	70.08
Contenido de Humedad	15.35%	15.32%	15.33%
Promedio	15.33%		



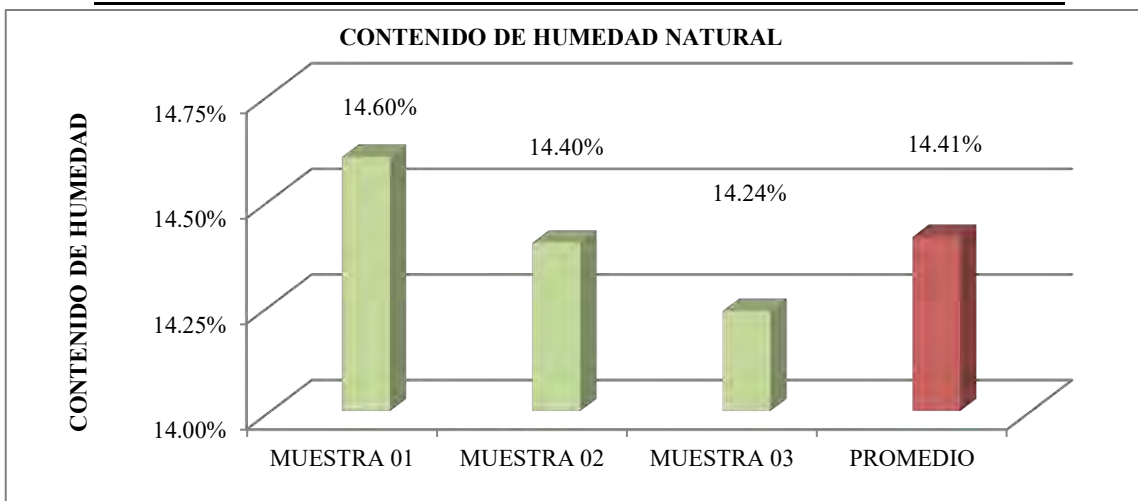
Anexo D.7: Contenido de humedad calicata C-07

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	56.52	58.58	58.25
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	194.04	175.67	163.78
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	179.43	163.22	152.54
Peso del Agua (gr)	14.61	12.45	11.24
Peso de la Muestra Seca (gr)	122.91	104.64	94.29
Contenido de Humedad	11.89%	11.90%	11.92%
Promedio	11.90%		



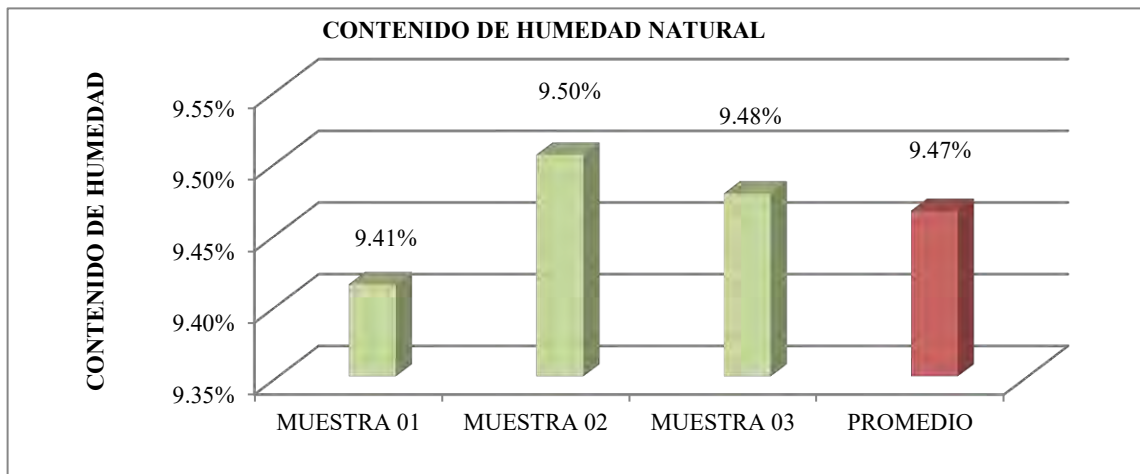
Anexo D.8: Contenido de humedad calicata C-08

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	64.95	57.49	58.08
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	210.23	185.65	173.71
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	191.72	169.52	159.3
Peso del Agua (gr)	18.51	16.13	14.41
Peso de la Muestra Seca (gr)	126.77	112.03	101.22
Contenido de Humedad	14.60%	14.40%	14.24%
Promedio	14.41%		



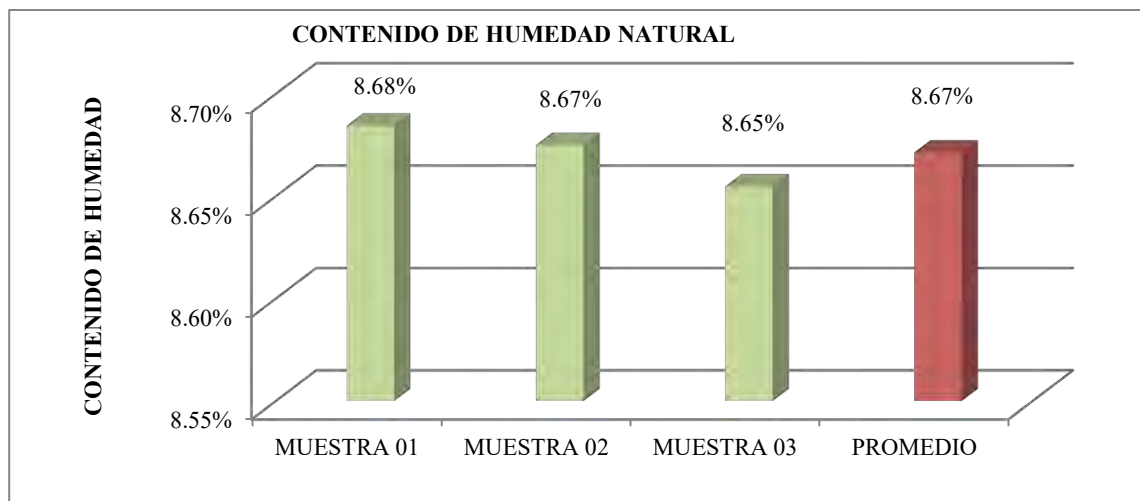
Anexo D.9: Contenido de humedad calicata C-9

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	45.87	51.24	49.75
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	172.32	145.83	131.88
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	161.44	137.62	124.77
Peso del Agua (gr)	10.88	8.21	7.11
Peso de la Muestra Seca (gr)	115.57	86.38	75.02
Contenido de Humedad	9.41%	9.50%	9.48%
Promedio	9.47%		



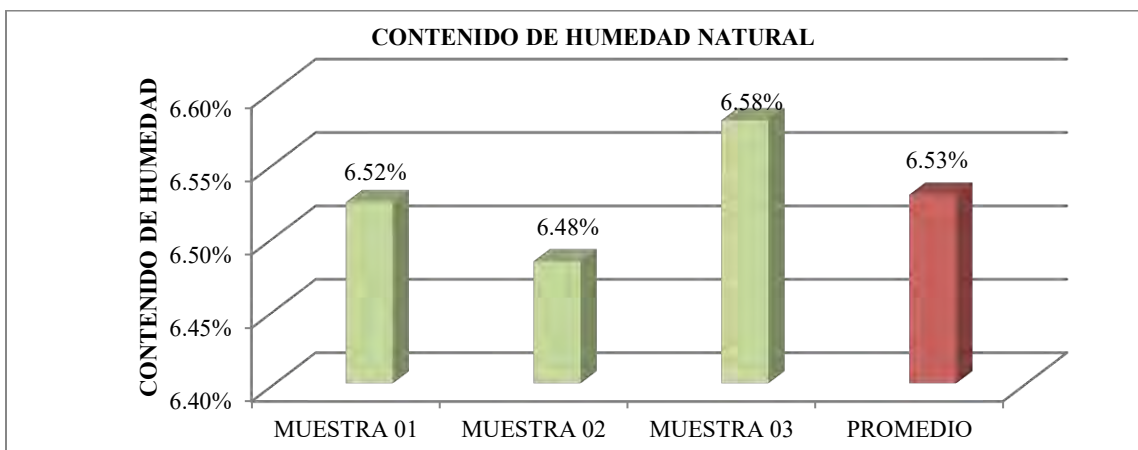
Anexo D.10: Contenido de humedad calicata C-10

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	52.43	55.46	57.21
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	200.23	178.98	172.71
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	188.42	169.12	163.51
Peso del Agua (gr)	11.81	9.86	9.20
Peso de la Muestra Seca (gr)	135.99	113.66	106.30
Contenido de Humedad	8.68%	8.67%	8.65%
Promedio	8.67%		



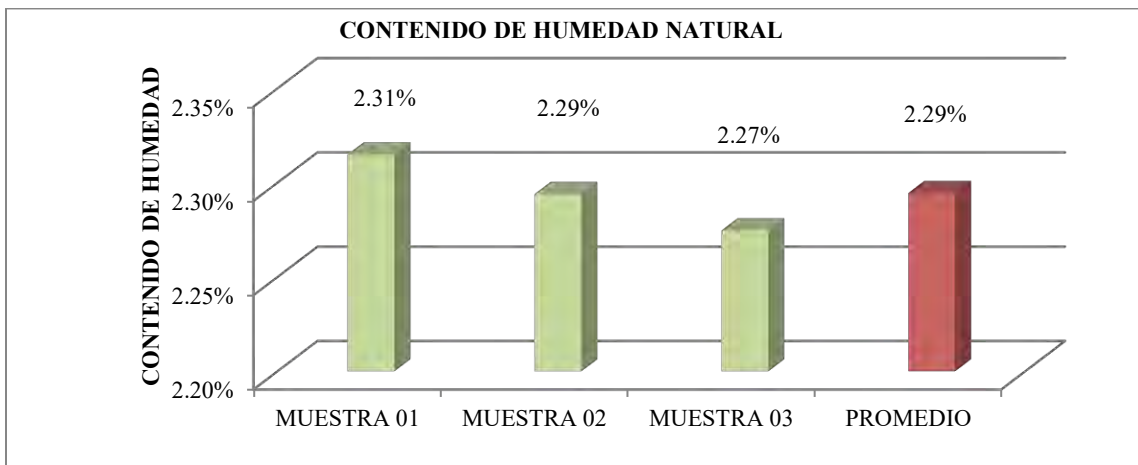
Anexo D.11: Contenido de humedad del suelo después del secado al aire libre

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	52.31	49.82	52.58
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	98.36	111.25	105.23
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	95.54	107.51	101.98
Peso del Agua (gr)	2.82	3.74	3.25
Peso de la Muestra Seca (gr)	43.23	57.69	49.4
Contenido de Humedad	6.52%	6.48%	6.58%
Promedio	6.53%		



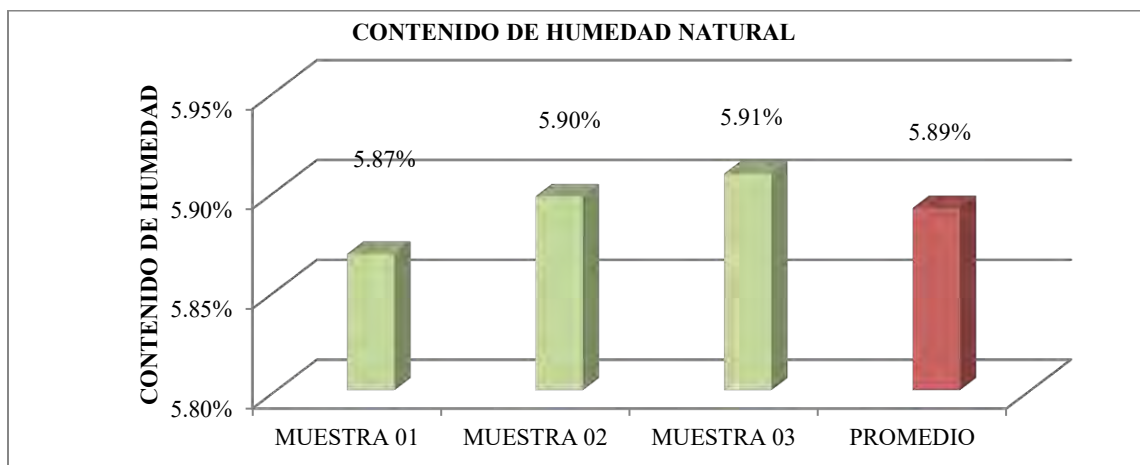
Anexo D.12: Contenido de humedad del RAP

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	32.56	36.12	28.56
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	72.78	82.05	76.22
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	71.87	81.02	75.16
Peso del Agua (gr)	0.91	1.03	1.06
Peso de la Muestra Seca (gr)	39.31	44.9	46.6
Contenido de Humedad	2.31%	2.29%	2.27%
Promedio	2.29%		



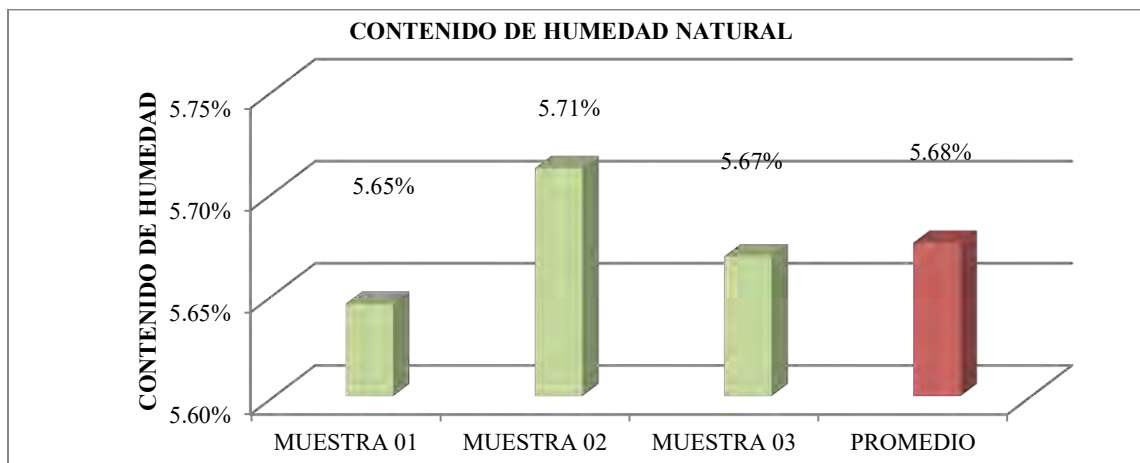
Anexo D.13: Contenido de humedad de la Mezcla suelo + 15%RAP

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	46.26	48.22	52.62
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	68.45	65.1	74.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	67.22	64.16	72.93
Peso del Agua (gr)	1.23	0.94	1.2
Peso de la Muestra Seca (gr)	20.96	15.94	20.31
Contenido de Humedad	5.87%	5.90%	5.91%
Promedio	5.89%		



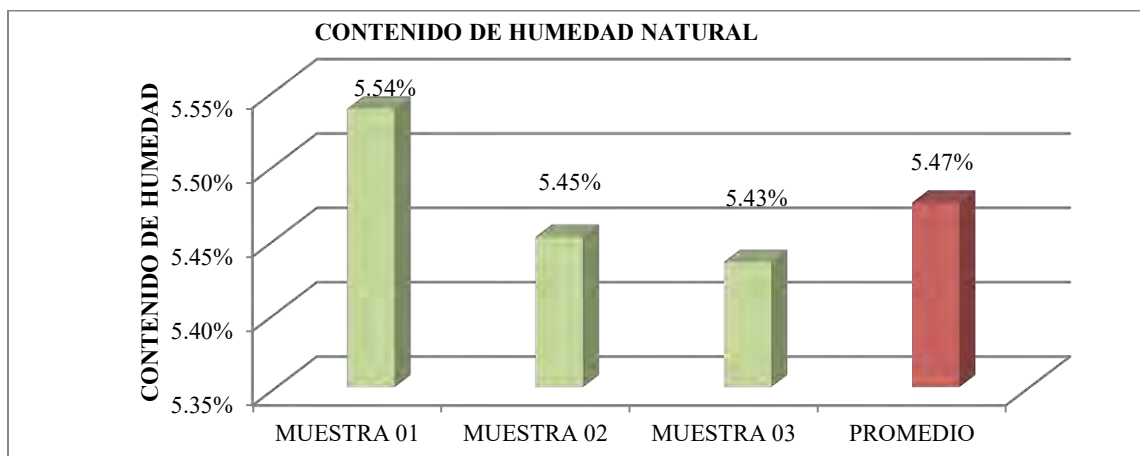
Anexo D.14: Contenido de humedad de la Mezcla suelo + 20%RAP

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	64.25	58.68	66.14
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	86.52	92.55	91.12
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	85.33	90.72	89.78
Peso del Agua (gr)	1.19	1.83	1.34
Peso de la Muestra Seca (gr)	21.08	32.04	23.64
Contenido de Humedad	5.65%	5.71%	5.67%
Promedio	5.68%		



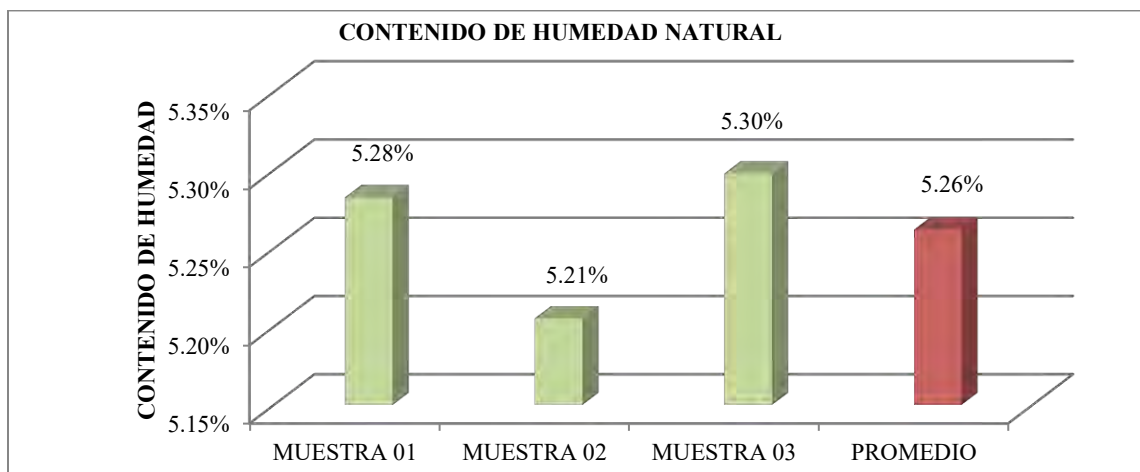
Anexo D.15: Contenido de humedad de la Mezcla suelo + 25%RAP

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	51.42	47.35	59.88
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	89.73	85.46	92.67
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	87.72	83.49	90.98
Peso del Agua (gr)	2.01	1.97	1.69
Peso de la Muestra Seca (gr)	36.3	36.14	31.1
Contenido de Humedad	5.54%	5.45%	5.43%
Promedio	5.47%		



Anexo D.16: Contenido de humedad de la Mezcla suelo + 30%RAP

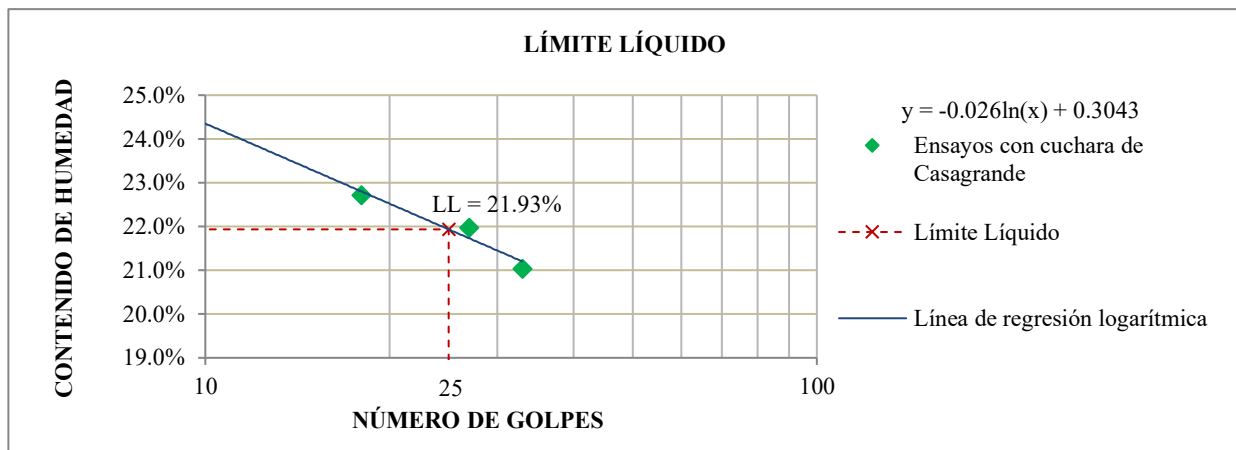
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	61.36	52.78	51.39
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	95.44	114.02	102.47
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	93.73	110.99	99.9
Peso del Agua (gr)	1.71	3.03	2.57
Peso de la Muestra Seca (gr)	32.37	58.21	48.51
Contenido de Humedad	5.28%	5.21%	5.30%
Promedio	5.26%		



Anexo E: Limite liquido

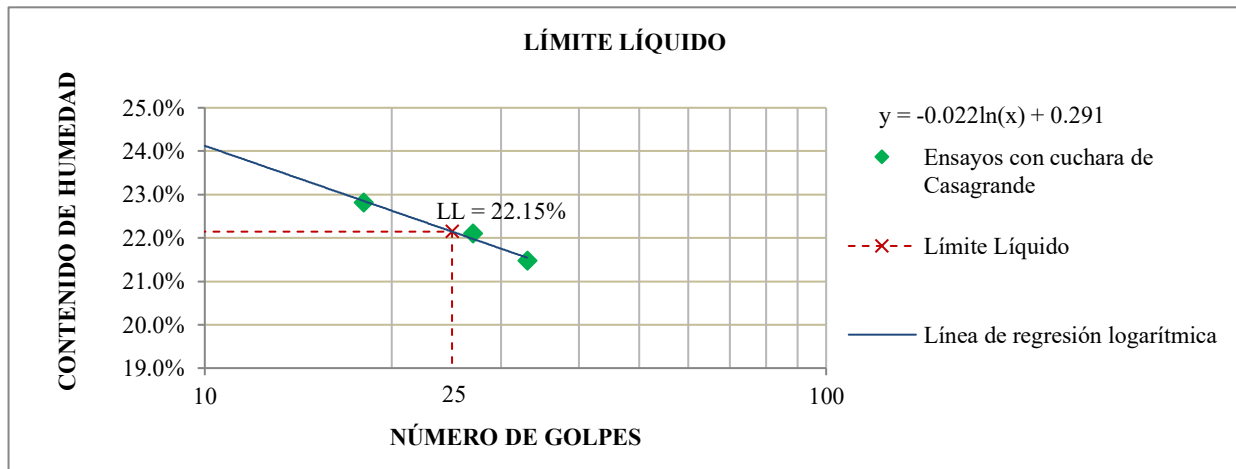
Anexo E.1 Limite liquido C-01

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	33	27	18
Peso de Capsula (gr)	52.18	62.48	55.34
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	60.12	69.14	62.47
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	58.74	67.94	61.15
Peso del Agua (gr)	1.38	1.2	1.32
Peso de la Muestra Seca (gr)	6.56	5.46	5.81
Contenido de Humedad	21.04%	21.98%	22.72%



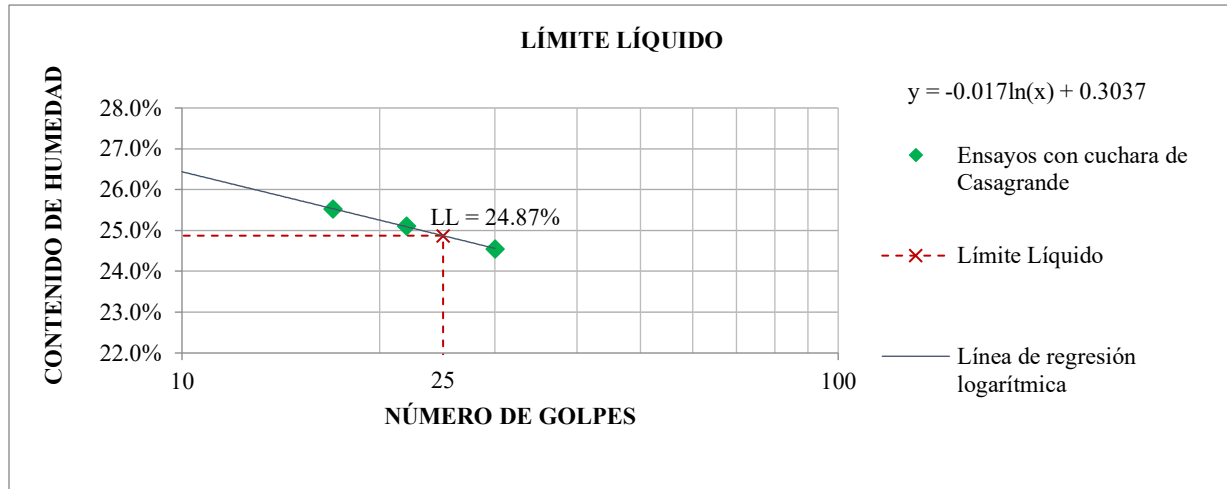
Anexo E.2 Limite liquido C-02

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	33	27	18
Peso de Capsula (gr)	52.18	62.48	55.34
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	60.12	69.14	62.47
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	58.74	67.94	61.15
Peso del Agua (gr)	1.38	1.2	1.32
Peso de la Muestra Seca (gr)	6.56	5.46	5.81
Contenido de Humedad	21.04%	21.98%	22.72%



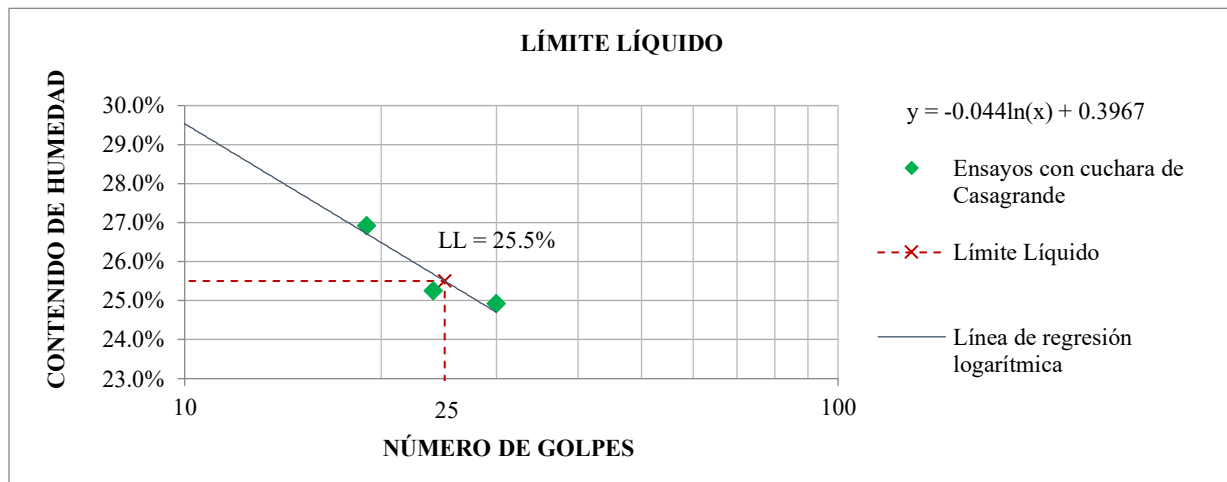
Anexo E.3 Limite liquido C-03

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	30	22	17
Peso de Capsula (gr)	53.88	42.17	47.71
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	62.25	50.84	56.12
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	60.6	49.1	54.41
Peso del Agua (gr)	1.65	1.74	1.71
Peso de la Muestra Seca (gr)	6.72	6.93	6.7
Contenido de Humedad	24.55%	25.11%	25.52%



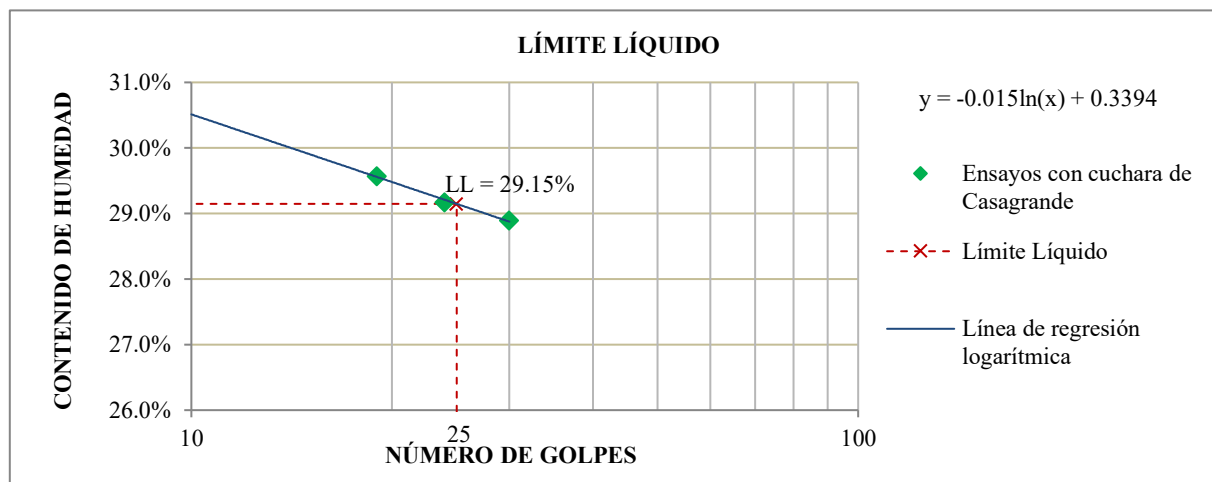
Anexo E.4 Limite liquido C-04

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	30	24	19
Peso de Capsula (gr)	48.71	77.03	58.21
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	56.88	84.52	65.47
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	55.25	83.01	63.93
Peso del Agua (gr)	1.63	1.51	1.54
Peso de la Muestra Seca (gr)	6.54	5.98	5.72
Contenido de Humedad	24.92%	25.25%	26.92%



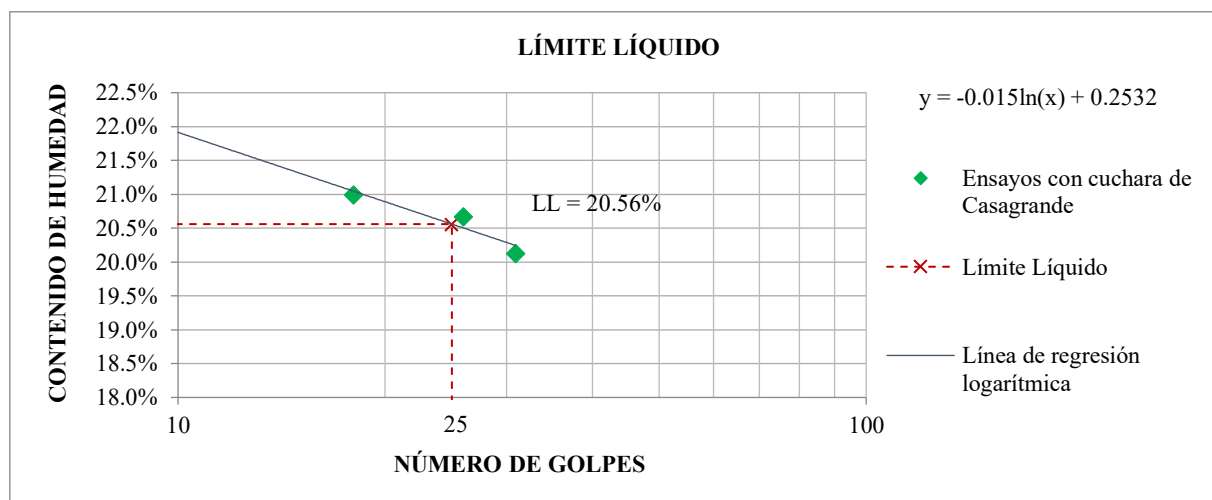
Anexo E.5 Limite liquido C-05

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	30	24	19
Peso de Capsula (gr)	55.36	68.98	61.47
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	62.81	76.33	69.05
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	61.14	74.67	67.32
Peso del Agua (gr)	1.67	1.66	1.73
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.78	5.69	5.85
Contenido de Humedad	28.89%	29.17%	29.57%



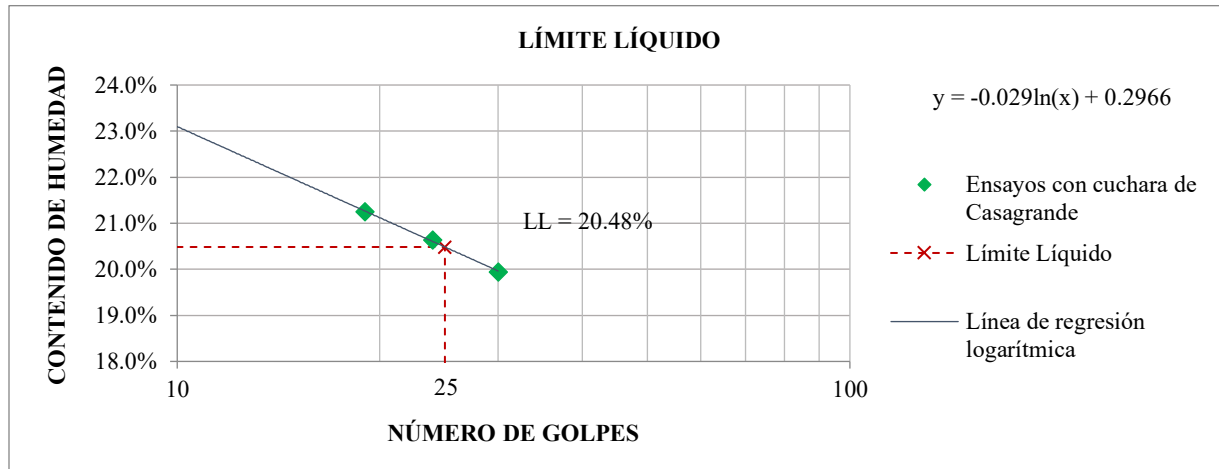
Anexo E.6 Limite liquido C-06

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	31	26	18
Peso de Capsula (gr)	49.25	51.87	55.14
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	56.89	59.05	62.23
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	55.61	57.82	61
Peso del Agua (gr)	1.28	1.23	1.23
Peso de la Muestra Seca (gr)	6.36	5.95	5.86
Contenido de Humedad	20.13%	20.67%	20.99%



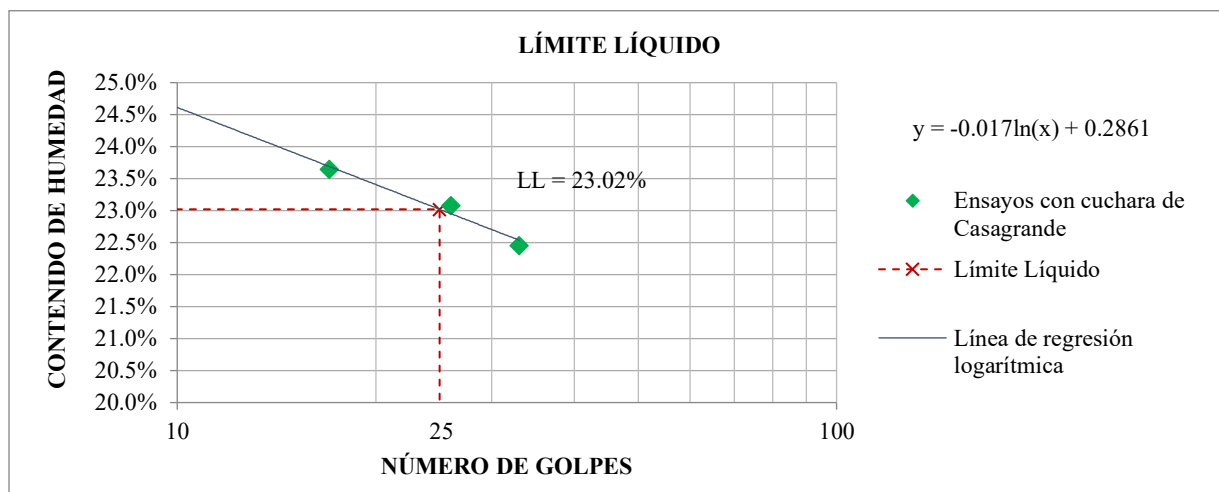
Anexo E.7 Limite liquido C-07

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	30	24	19
Peso de Capsula (gr)	61.19	58.83	52.13
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	69.85	66.02	60.29
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	68.41	64.79	58.86
Peso del Agua (gr)	1.44	1.23	1.43
Peso de la Muestra Seca (gr)	7.22	5.96	6.73
Contenido de Humedad	19.94%	20.64%	21.25%



Anexo E.8 Limite liquido C-08

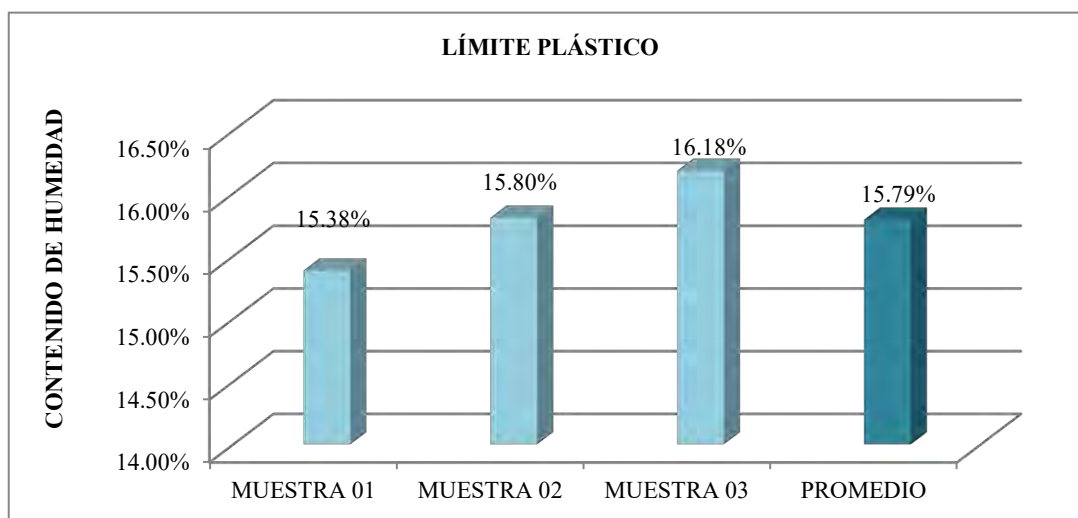
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Golpes	33	26	17
Peso de Capsula (gr)	49.23	62.13	48.87
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	55.01	67.25	53.89
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	53.95	66.29	52.93
Peso del Agua (gr)	1.06	0.96	0.96
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.72	4.16	4.06
Contenido de Humedad	22.46%	23.08%	23.65%



Anexo F: Limite plástico

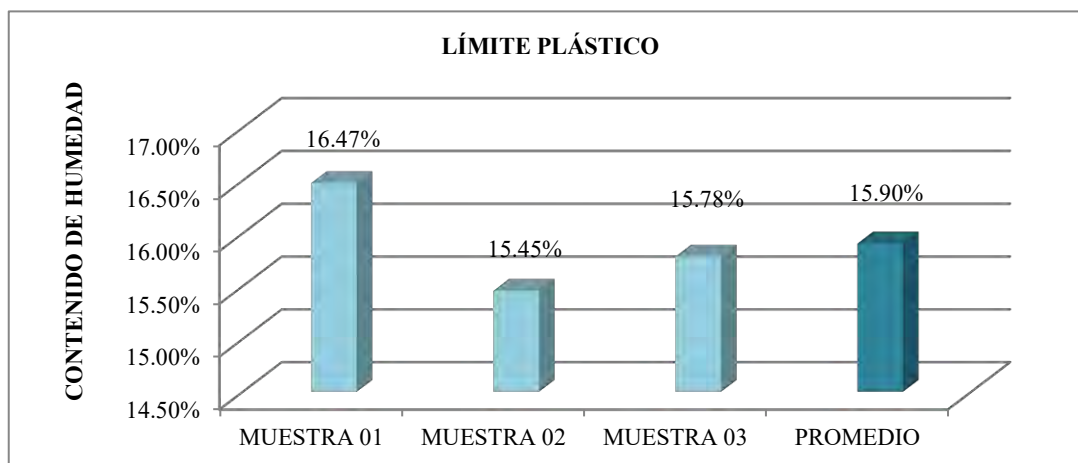
Anexo F.1 Limite plástico C-01

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	42.35	52.89	51.64
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	47.15	56.92	56.81
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	46.51	56.37	56.09
Peso del Agua (gr)	0.64	0.55	0.72
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.16	3.48	4.45
Contenido de Humedad	15.38%	15.80%	16.18%



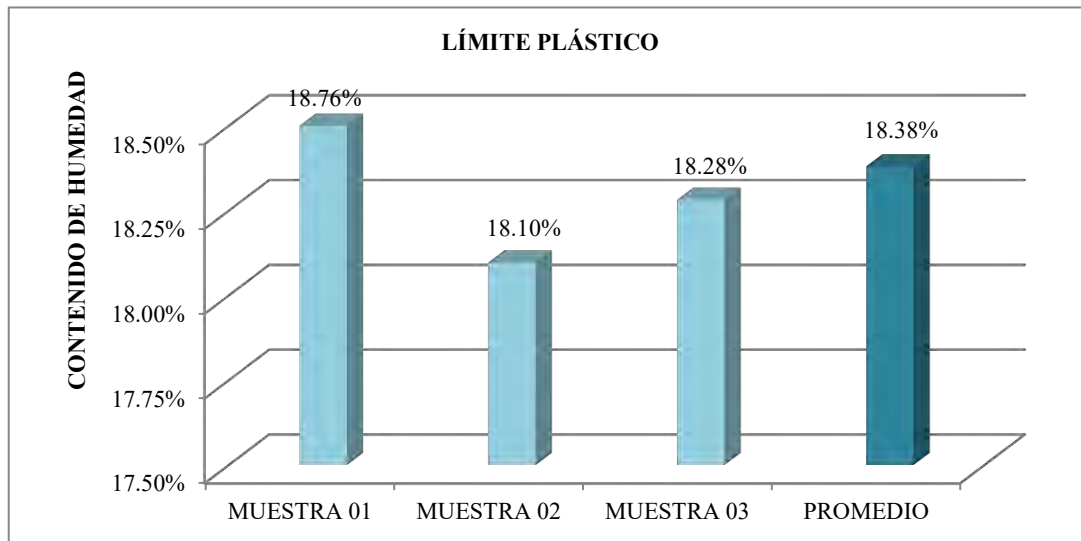
Anexo F.2 Limite plástico C-02

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	62.18	42.19	55.17
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	66.21	47.27	60.82
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.64	46.59	60.05
Peso del Agua (gr)	0.57	0.68	0.77
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.46	4.4	4.88
Contenido de Humedad	16.47%	15.45%	15.78%



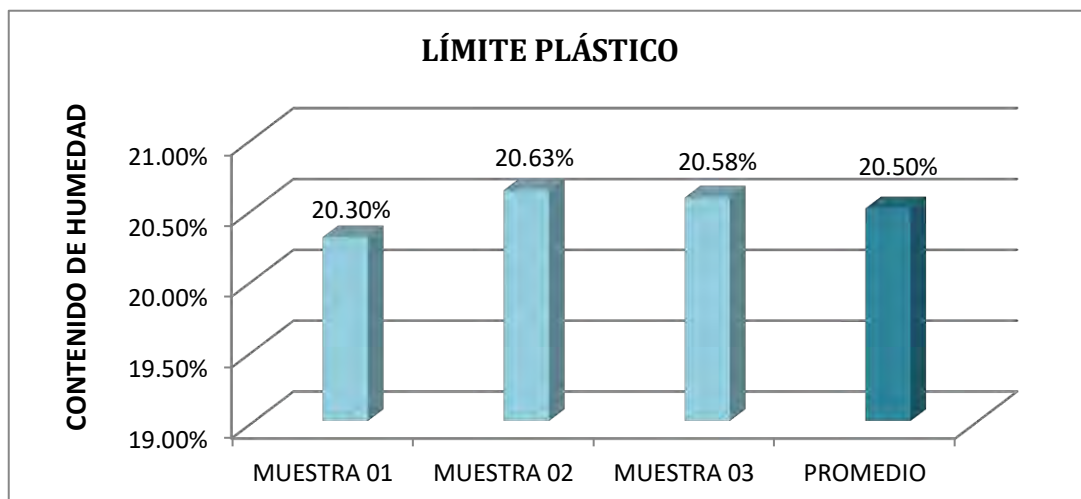
Anexo F.3 Limite plástico C-03

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	51.18	49.78	54.28
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	56.94	56.11	59.65
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	56.03	55.14	58.82
Peso del Agua (gr)	0.91	0.97	0.83
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.85	5.36	4.54
Contenido de Humedad	18.76%	18.10%	18.28%



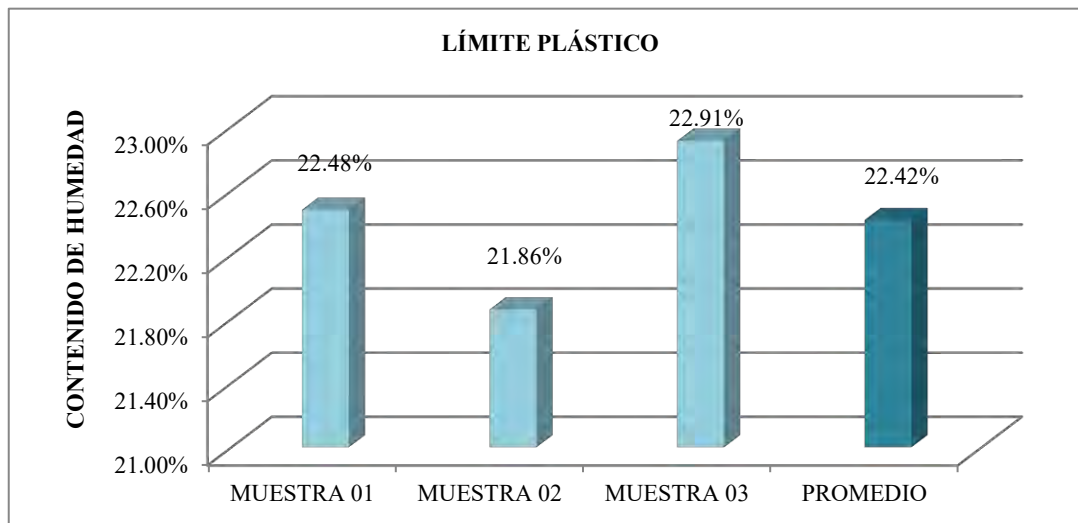
Anexo F.4 Limite plástico C-04

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	57.33	52.49	62.84
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	63.85	57.11	68.29
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	62.75	56.32	67.36
Peso del Agua (gr)	1.1	0.79	0.93
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.42	3.83	4.52
Contenido de Humedad	20.30%	20.63%	20.58%



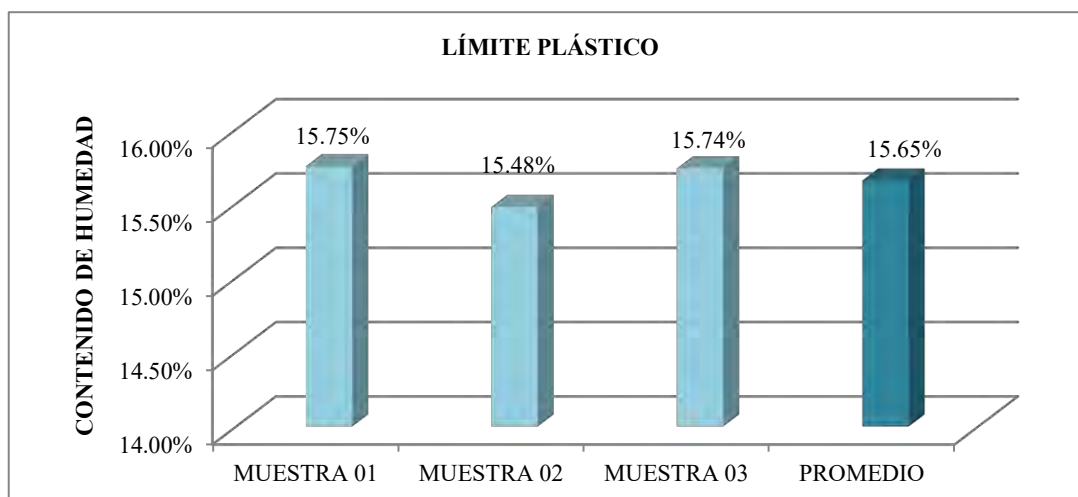
Anexo F.5 Limite plástico C-05

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	62.86	48.34	55.31
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	66.02	53.19	59.87
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.44	52.32	59.02
Peso del Agua (gr)	0.58	0.87	0.85
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.58	3.98	3.71
Contenido de Humedad	22.48%	21.86%	22.91%



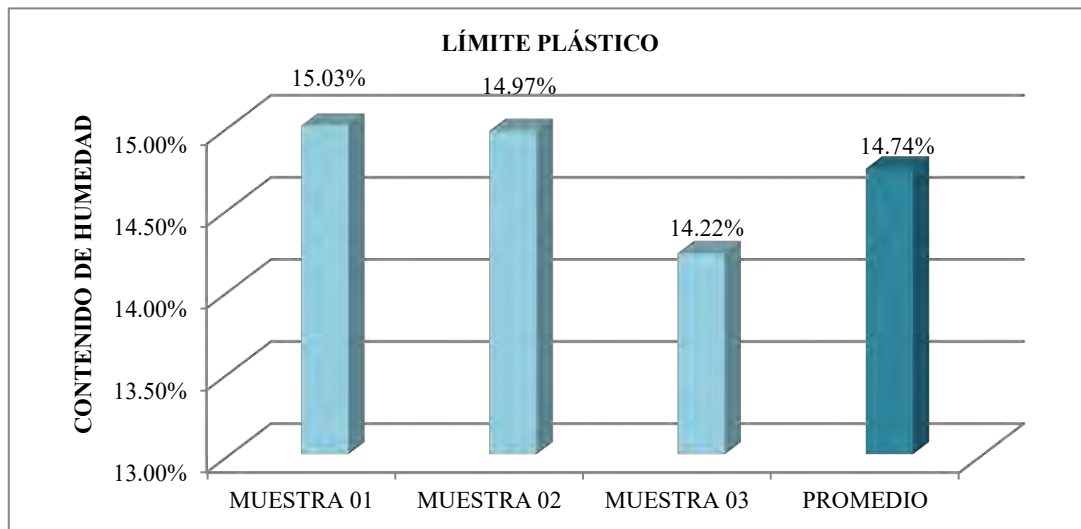
Anexo F.6 Limite plástico C-06

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	62.86	48.34	55.31
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	66.02	53.19	59.87
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.59	52.54	59.25
Peso del Agua (gr)	0.43	0.65	0.62
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.73	4.2	3.94
Contenido de Humedad	15.75%	15.48%	15.74%



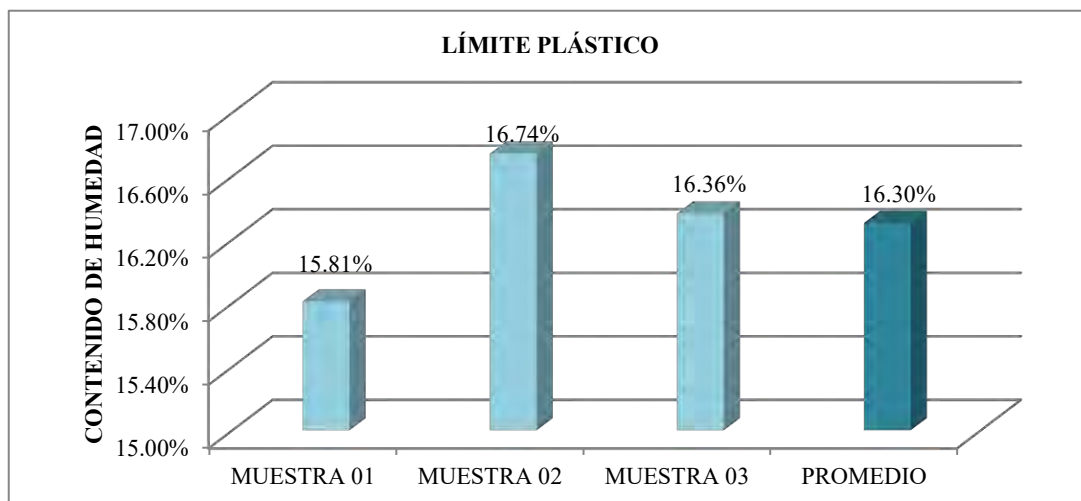
Anexo F.7 Limite plástico C-07

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	49.46	59.31	54.87
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	56.12	64.84	60.01
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	55.25	64.12	59.37
Peso del Agua (gr)	0.87	0.72	0.64
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.79	4.81	4.5
Contenido de Humedad	15.03%	14.97%	14.22%



Anexo F.8 Limite plástico C-08

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	52.23	54.89	40.87
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	58.09	60.12	45.99
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	57.29	59.37	45.27
Peso del Agua (gr)	0.8	0.75	0.72
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.06	4.48	4.4
Contenido de Humedad	15.81%	16.74%	16.36%



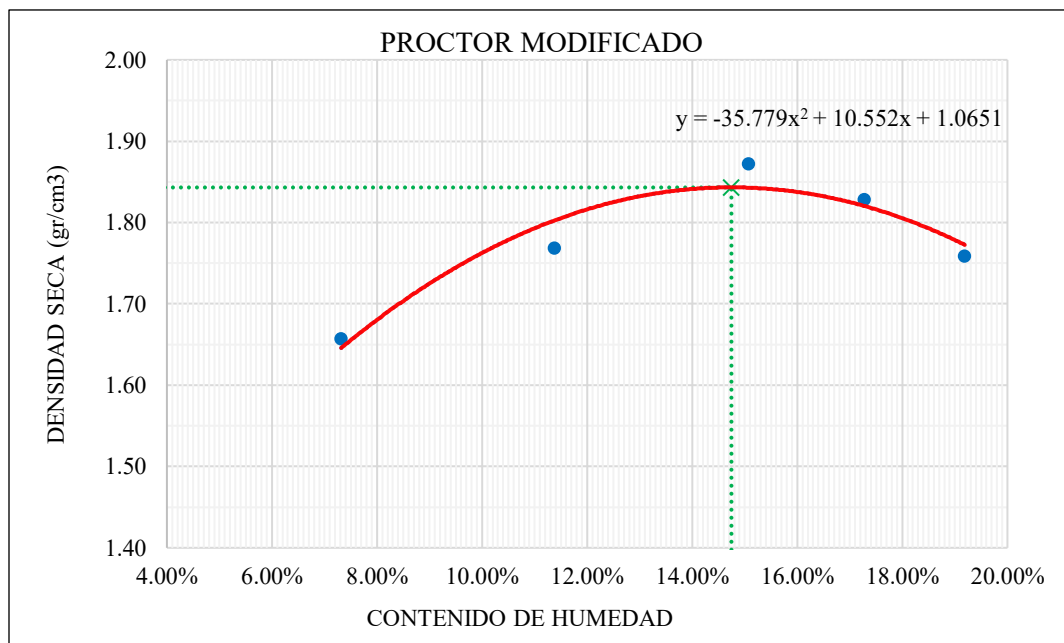
Anexo G: Compactación mediante Proctor Modificado

Anexo G.1: Compactación mediante Proctor Modificado en suelo natural

DATOS PRELIMINARES

Método =	A	Masa del pisón =	4.54 Kg
Número de capas =	5	Altura de caída del pisón =	45.70 cm
Número de golpes por capa =	25		

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05	
Número de Proctor Utilizado	P-2		P-2		P-2		P-2		P-2	
Diámetro del Molde (cm)	10.16		10.16		10.16		10.16		10.16	
Altura del molde (cm)	11.60		11.60		11.60		11.60		11.60	
Volumen del Molde (cm3)	940.45		940.45		940.45		940.45		940.45	
Masa del Molde (gr)	4,238.77		4,238.77		4,238.77		4,238.77		4,238.77	
Masa del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,910.93		6,091.20		6,265.00		6,255.00		6,210.00	
Masa de la Muestra Húmeda (gr)	1672.16		1852.43		2026.23		2016.23		1971.23	
Masa de la Muestra Seca (gr)	1558.14		1663.16		1760.72		1719.07		1653.89	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.66		1.77		1.87		1.83		1.76	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de Capsula (gr)	59.65	58.96	54.42	49.41	62.90	58.25	45.33	42.78	58.08	30.42
Masa de Capsula+ Muestra Húmeda (gr)	77.69	82.57	77.93	79.26	91.36	86.49	66.32	70.36	92.60	64.79
Masa de Capsula + Muestra Seca (gr)	76.46	80.96	75.52	76.22	87.61	82.81	63.20	66.33	87.07	59.23
Masa del Agua (gr)	1.23	1.61	2.41	3.04	3.75	3.68	3.12	4.03	5.53	5.56
Masa de la Muestra Seca (gr)	16.81	22.00	21.10	26.81	24.71	24.56	17.87	23.55	28.99	28.81
Contenido de humedad parcial	7.32%	7.32%	11.42%	11.34%	15.18%	14.98%	17.46%	17.11%	19.08%	19.30%
Contenido de Humedad	7.32%		11.38%		15.08%		17.29%		19.19%	

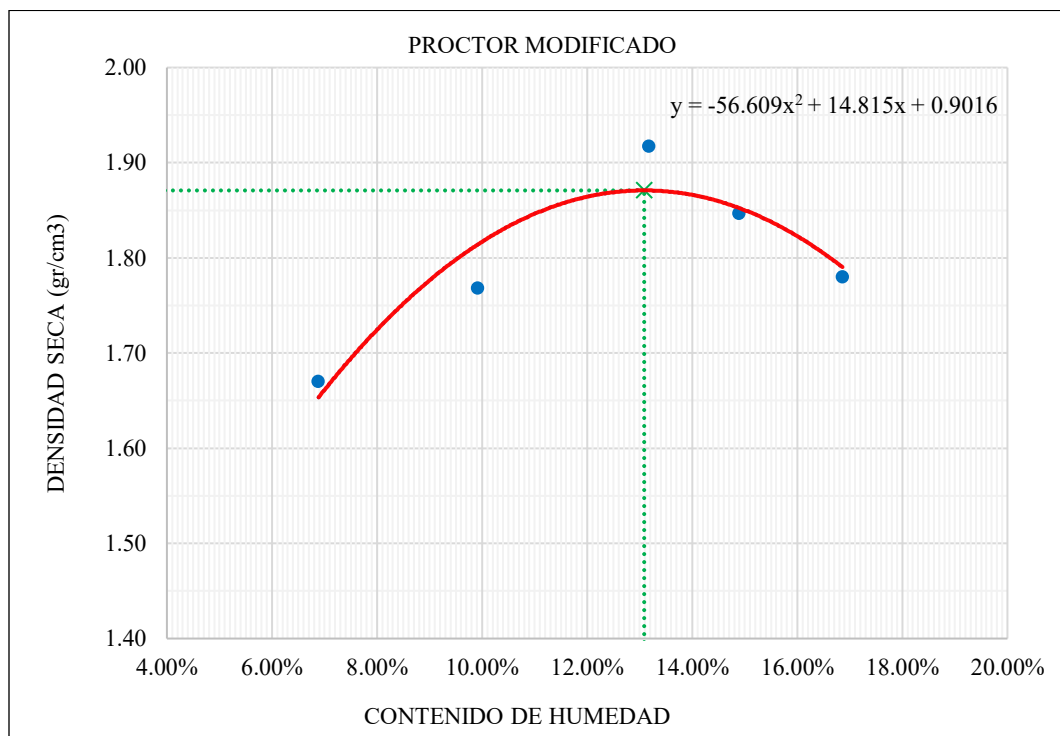


DENSIDAD SECA MÁXIMA =	1.84 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	14.75%

Anexo G.2: Compactación mediante Proctor Modificado en suelo + 15% RAP

DATOS PRELIMINARES			
Método =	A	Masa del pisón =	4.54 Kg
Número de capas =	5	Altura de caída del pisón =	45.70 cm
Número de golpes por capa =	25		

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05	
Número de Proctor Utilizado	P-2		P-2		P-2		P-2		P-2	
Diámetro del Molde (cm)	10.16		10.16		10.16		10.16		10.16	
Altura del molde (cm)	11.60		11.60		11.60		11.60		11.60	
Volumen del Molde (cm ³)	940.45		940.45		940.45		940.45		940.45	
Peso del Molde (gr)	4,238.77		4,238.77		4,238.77		4,238.77		4,238.77	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,910.93		6,091.20		6,265.00		6,255.00		6,210.00	
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1672.16		1852.43		2026.23		2016.23		1971.23	
Peso de la Muestra Seca (gr)	1558.14		1663.16		1760.72		1719.07		1653.89	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.66		1.77		1.87		1.83		1.76	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso de Capsula (gr)	59.65	58.96	54.42	49.41	62.90	58.25	45.33	42.78	58.08	30.42
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	77.69	82.57	77.93	79.26	91.36	86.49	66.32	70.36	92.60	64.79
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	76.46	80.96	75.52	76.22	87.61	82.81	63.20	66.33	87.07	59.23
Peso del Agua (gr)	1.23	1.61	2.41	3.04	3.75	3.68	3.12	4.03	5.53	5.56
Peso de la Muestra Seca (gr)	16.81	22.00	21.10	26.81	24.71	24.56	17.87	23.55	28.99	28.81
Contenido de humedad parcial	7.32%	7.32%	11.42%	11.34%	15.18%	14.98%	17.46%	17.11%	19.08%	19.30%
Contenido de Humedad	7.32%		11.38%		15.08%		17.29%		19.19%	

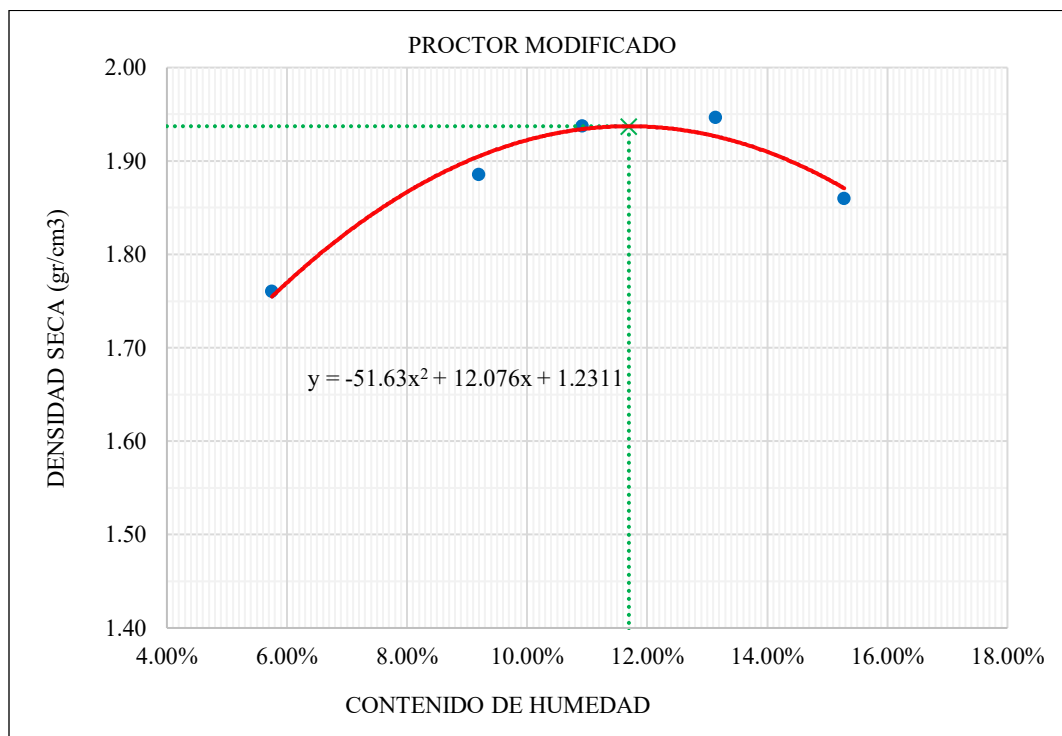


DENSIDAD SECA MÁXIMA =	1.87 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	13.09%

Anexo G.3: Compactación mediante Proctor Modificado en suelo + 20% RAP

DATOS PRELIMINARES			
Método =	A	Masa del pisón =	4.54 Kg
Número de capas =	5	Altura de caída del pisón =	45.70 cm
Número de golpes por capa =	25		

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05	
Número de Proctor Utilizado	P-1		P-1		P-1		P-1		P-1	
Diámetro del Molde (cm)	10.16		10.16		10.16		10.16		10.16	
Altura del molde (cm)	11.60		11.60		11.60		11.60		11.60	
Volumen del Molde (cm ³)	940.45		940.45		940.45		940.45		940.45	
Peso del Molde (gr)	4,239.61		4,239.61		4,239.61		4,239.61		4,239.61	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,918.19		6,067.25		6,280.00		6,235.00		6,195.83	
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1678.58		1827.64		2040.39		1995.39		1956.22	
Peso de la Muestra Seca (gr)	1570.42		1662.65		1802.85		1736.74		1673.99	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.67		1.77		1.92		1.85		1.78	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso de Capsula (gr)	60.02	75.13	58.08	46.54	59.11	56.14	57.19	44.28	58.43	47.46
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	88.71	88.26	89.13	78.86	91.40	65.84	80.41	67.12	83.44	73.25
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	86.87	87.41	86.31	75.96	87.61	64.72	77.43	64.13	79.86	69.50
Peso del Agua (gr)	1.84	0.85	2.82	2.90	3.79	1.12	2.98	2.99	3.58	3.75
Peso de la Muestra Seca (gr)	26.85	12.28	28.23	29.42	28.50	8.58	20.24	19.85	21.43	22.04
Contenido de humedad parcial	6.85%	6.92%	9.99%	9.86%	13.30%	13.05%	14.72%	15.06%	16.71%	17.01%
Contenido de Humedad	6.89%		9.92%		13.18%		14.89%		16.86%	

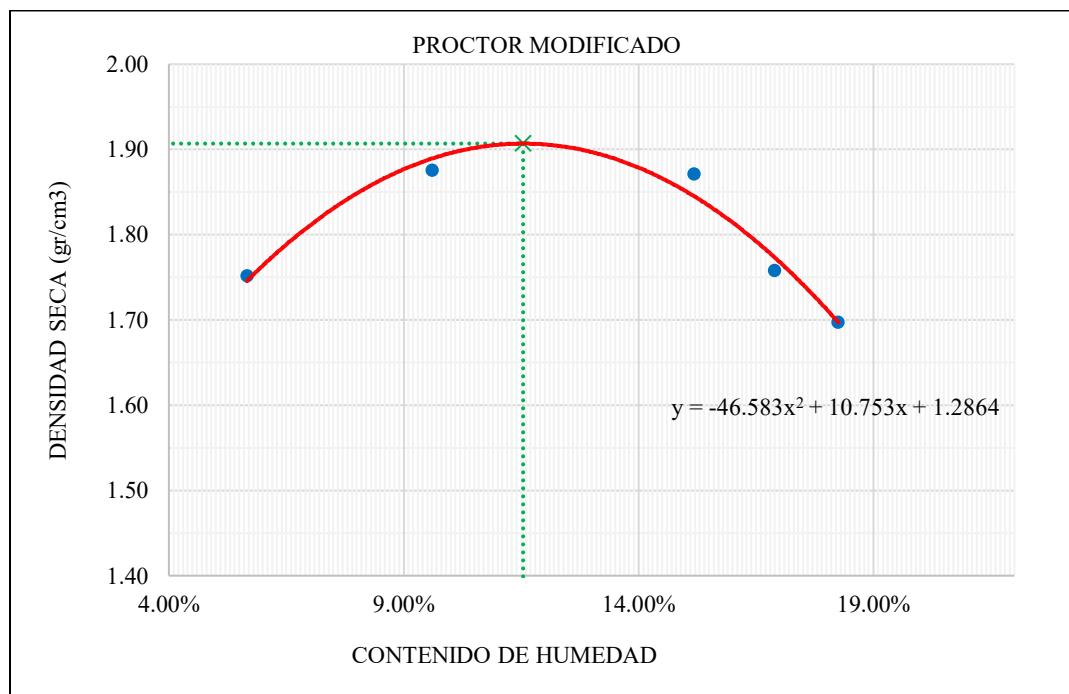


DENSIDAD SECA MÁXIMA =	1.94 gr/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO =	11.69%

Anexo G.4: Compactación mediante Proctor Modificado en suelo + 25% RAP

DATOS PRELIMINARES			
Método =	A	Masa del pisón =	4.54 Kg
Número de capas =	5	Altura de caída del pisón =	45.70 cm
Número de golpes por capa =	25		

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05	
Número de Proctor Utilizado	P-2		P-2		P-2		P-2		P-2	
Diámetro del Molde (cm)	10.16		10.16		10.16		10.16		10.16	
Altura del molde (cm)	11.60		11.60		11.60		11.60		11.60	
Volumen del Molde (cm ³)	940.45		940.45		940.45		940.45		940.45	
Peso del Molde (gr)	4,238.77		4,238.77		4,238.77		4,238.77		4,238.77	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,979.26		6,171.54		6,265.00		6,170.76		6,125.91	
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1740.49		1932.77		2026.23		1931.99		1887.14	
Peso de la Muestra Seca (gr)	1647.20		1763.32		1759.17		1652.76		1595.88	
Densidad Seca (gr/cm³)	1.75		1.87		1.87		1.76		1.70	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso de Capsula (gr)	32.26	45.33	47.55	54.83	58.86	57.20	57.51	54.83	58.43	62.13
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	60.31	56.24	68.94	72.14	79.93	82.34	86.34	78.43	100.58	86.72
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	58.82	55.65	67.08	70.61	77.15	79.03	82.16	75.03	94.10	82.91
Peso del Agua (gr)	1.49	0.59	1.86	1.53	2.78	3.31	4.18	3.40	6.48	3.81
Peso de la Muestra Seca (gr)	26.56	10.32	19.53	15.78	18.29	21.83	24.65	20.20	35.67	20.78
Contenido de humedad parcial	5.61%	5.72%	9.52%	9.70%	15.20%	15.16%	16.96%	16.83%	18.17%	18.33%
Contenido de Humedad	5.66%		9.61%		15.18%		16.89%		18.25%	



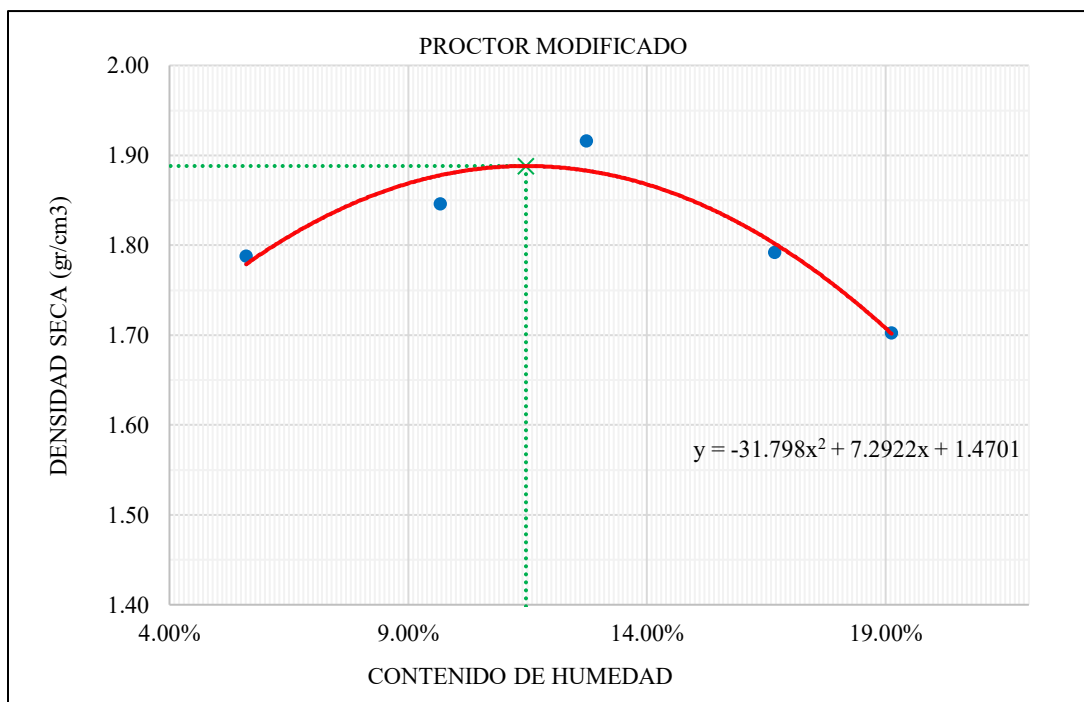
DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.91 gr/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 11.54%

Anexo G.5: Compactación mediante Proctor Modificado en suelo + 30% RAP

DATOS PRELIMINARES			
Método =	A	Masa del pisón =	4.54 Kg
Número de capas =	5	Altura de caída del pisón =	45.70 cm
Número de golpes por capa =	25		

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03		MUESTRA 04		MUESTRA 05	
Número de Proctor Utilizado	P-2		P-2		P-2		P-2		P-2	
Diámetro del Molde (cm)	10.16		10.16		10.16		10.16		10.16	
Altura del molde (cm)	11.60		11.60		11.60		11.60		11.60	
Volumen del Molde (cm3)	940.45		940.45		940.45		940.45		940.45	
Peso del Molde (gr)	4,238.77		4,238.77		4,238.77		4,238.77		4,238.77	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	6,014.14		6,142.88		6,270.00		6,205.00		6,145.56	
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1775.37		1904.11		2031.23		1966.23		1906.79	
Peso de la Muestra Seca (gr)	1681.10		1736.09		1801.81		1685.18		1600.65	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.79		1.85		1.92		1.79		1.70	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso de Capsula (gr)	60.41	58.65	46.61	60.65	47.84	46.61	58.85	58.94	58.55	60.48
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	83.69	78.11	73.23	81.56	68.31	73.59	102.78	92.14	92.88	88.34
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	82.45	77.08	70.90	79.70	66.00	70.54	96.52	87.38	87.34	83.89
Peso del Agua (gr)	1.24	1.03	2.33	1.86	2.31	3.05	6.26	4.76	5.54	4.45
Peso de la Muestra Seca (gr)	22.04	18.43	24.29	19.05	18.16	23.93	37.67	28.44	28.79	23.41
Contenido de humedad parcial	5.63%	5.59%	9.59%	9.76%	12.72%	12.75%	16.62%	16.74%	19.24%	19.01%
Contenido de Humedad	5.61%		9.68%		12.73%		16.68%		19.13%	



DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.89 gr/cm3
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 11.47%

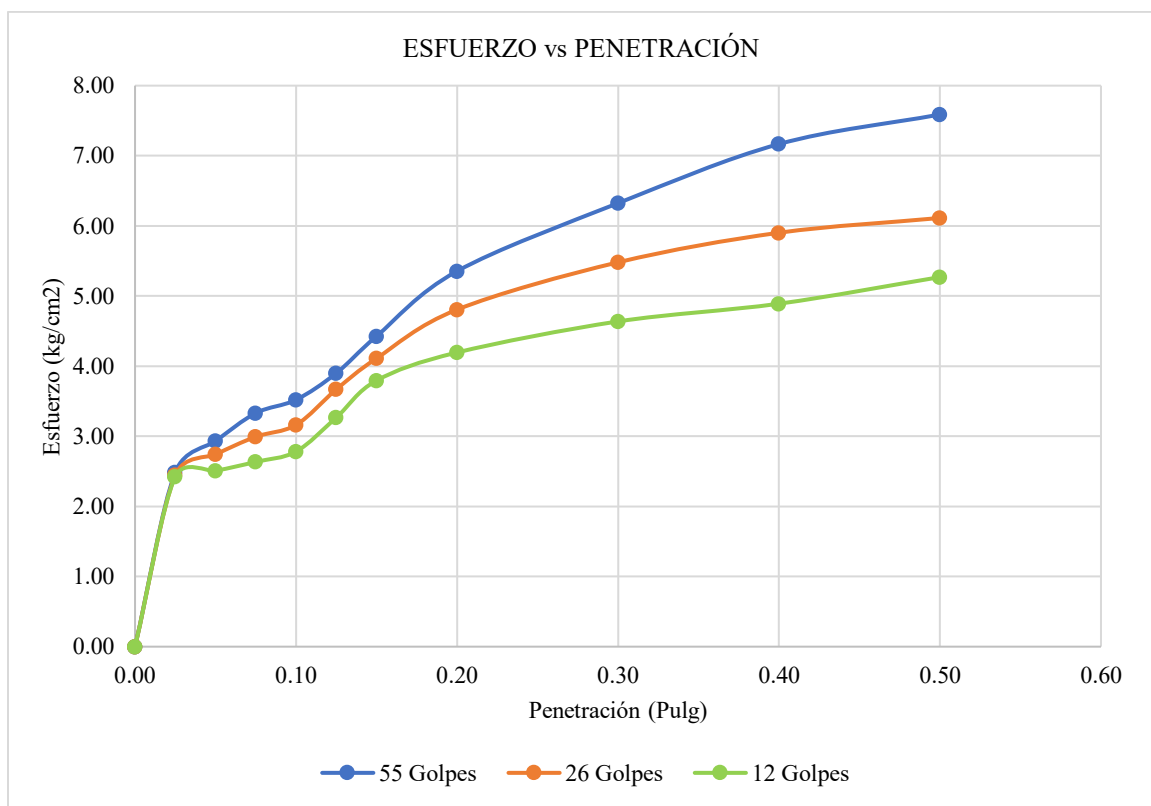
Anexo H: Capacidad de Soporte CBR

Anexo H.1: Capacidad de Soporte del suelo natural

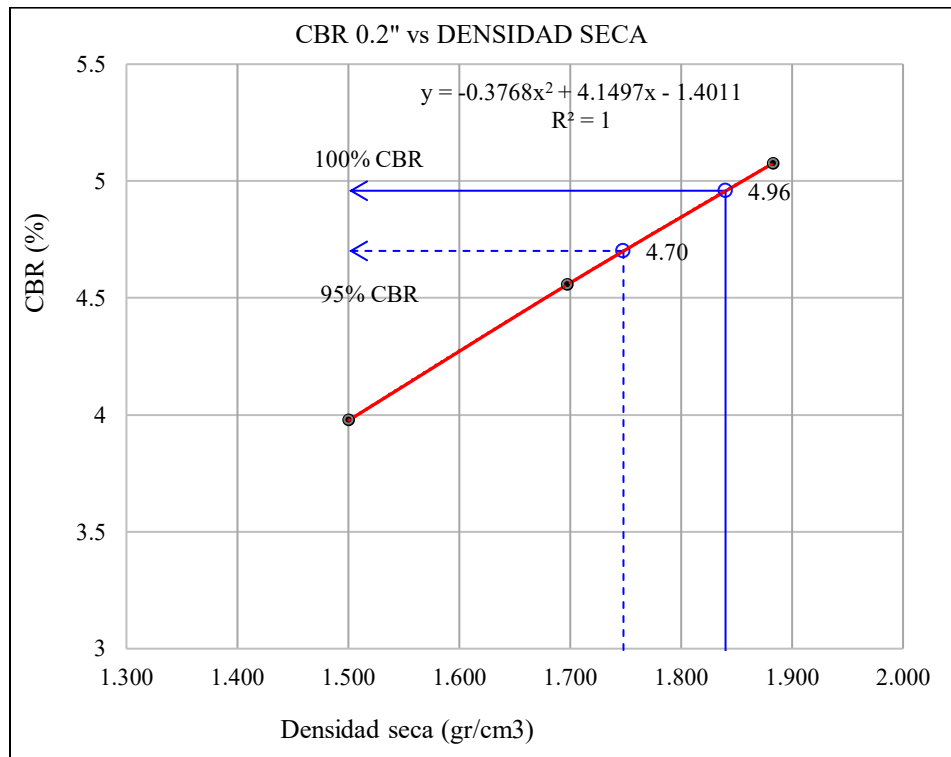
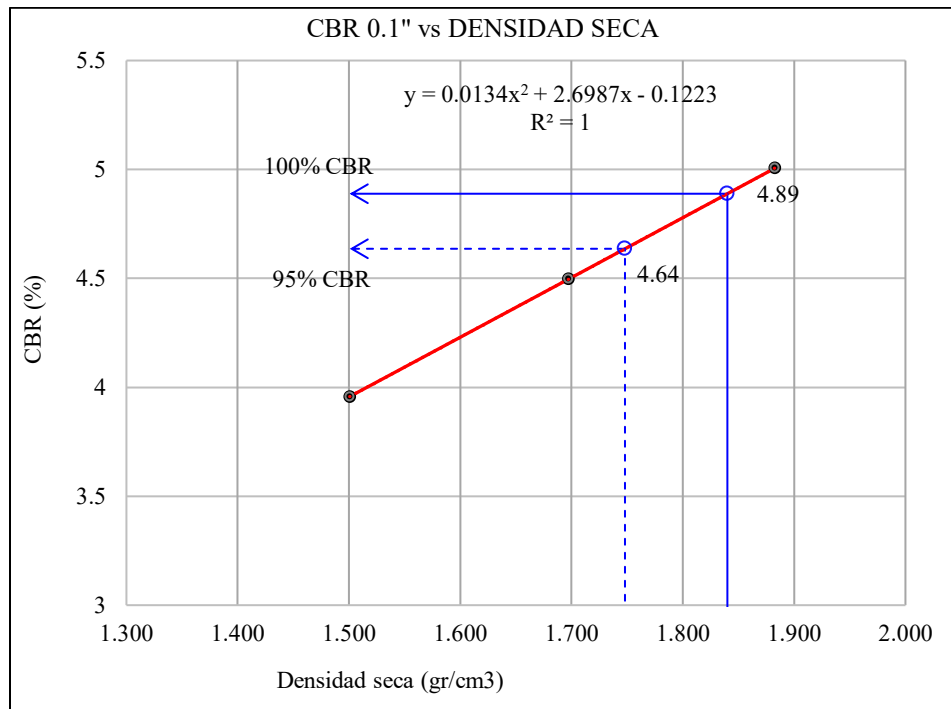
DESCRIPCIÓN		COMPACTACIÓN		
N° de Ensayo		1	2	3
N° del molde		M-01	M-02	M-03
Número de capas		5	5	5
Número de golpes por capa		55	26	12
Información del molde				
Diámetro interno del molde (cm)		15.60	15.60	15.40
Altura del molde (cm)		17.50	17.50	17.50
Espesor del disco espaciador (cm)		5.00	5.00	5.00
Volumen del molde (cm ³)		2389.18	2389.18	2328.31
Ensayo con moldes				
Contenido de humedad óptimo (%)		14.75	14.75	14.75
Masa del molde (gr)		5650.00	6100.00	7100.00
Masa del molde + suelo húmedo antes de sumergir (gr)		10750.00	10900.00	11450.00
Masa del molde + suelo húmedo después de sumergir (gr)		11000.00	11300.00	11800.00
Masa del suelo seco antes de sumergir (gr)		4499.03	4055.67	3494.01
Masa del agua absorbida (gr)		250.00	400.00	350.00
Porcentaje de absorción antes de sumergir		5.56	9.86	10.02
Masa de suelo húmedo (gr)		5100.00	4800.00	4350.00
Densidad húmeda compactado (gr/cm ³)		2.13	2.01	1.87
Porcentaje de absorción después de sumergir		2.57	4.00	6.51
Ensayo de cápsulas después de sumergir				
N° Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		60.65	32.30	60.48
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		91.71	63.77	85.94
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		88.05	58.89	80.93
Masa del agua (gr)		3.66	4.88	5.01
Masa de muestra seca (gr)		27.40	26.59	20.45
Contenido de Humedad (%)		13.36	18.35	24.50
Densidad seca compactado (gr/cm ³)		1.88	1.70	1.50
Ensayo de cápsulas antes de sumergir				
N° Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		58.84	47.58	46.61
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		89.95	73.31	69.04
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		86.92	70.08	65.62
Masa del agua (gr)		3.03	3.23	3.42
Masa de muestra seca (gr)		28.08	22.50	19.01
Contenido de Humedad (%)		10.79	14.36	17.99

DESCRIPCIÓN			EXPANSIÓN								
Fecha	Hora	TIEMPO horas	55 golpes			26 golpes			12 golpes		
			Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%
15/09/2025	11:30:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16/09/2025	11:30:00	24.00	47.00	1.19	0.96	46.00	1.17	0.93	44.00	1.12	0.89
17/09/2025	11:30:00	48.00	50.00	1.27	1.02	51.00	1.30	1.04	54.00	1.37	1.10
18/09/2025	11:30:00	72.00	53.00	1.35	1.08	56.00	1.42	1.14	60.00	1.52	1.22
19/09/2025	11:30:00	96.00	54.00	1.37	1.10	58.00	1.47	1.18	65.00	1.65	1.32

DESCRIPCIÓN			PENETRACIÓN								
Área de pistón 19.35 cm ²			Constante de anillo de carga $Y = 400X + 0.44$ (fuerza en KN)								
PENETRACIÓN		Carga	MOLDE N° M-01 (55)			MOLDE N° M-02 (26)			MOLDE N° M-03 (12)		
Pulg	mm	Estándar kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²
0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.64		0.80	48.13	2.49	0.60	47.31	2.45	0.50	46.91	2.42
0.05	1.27		2.90	56.70	2.93	2.00	53.03	2.74	0.90	48.54	2.51
0.08	1.91		4.80	64.45	3.33	3.20	57.92	2.99	1.50	50.99	2.63
0.10	2.54	70.31	5.70	68.12	3.52	4.00	61.18	3.16	2.20	53.84	2.78
0.13	3.18		7.50	75.46	3.90	6.40	70.97	3.67	4.50	63.22	3.27
0.15	3.81		10.00	85.66	4.43	8.50	79.54	4.11	7.00	73.42	3.79
0.20	5.08	105.46	14.40	103.60	5.35	11.80	93.00	4.81	8.90	81.17	4.19
0.30	7.62		19.00	122.37	6.32	15.00	106.05	5.48	11.00	89.74	4.64
0.40	10.16		23.00	138.68	7.17	17.00	114.21	5.90	12.20	94.63	4.89
0.50	12.70		25.00	146.84	7.59	18.00	118.29	6.11	14.00	101.97	5.27
% CBR _(0.1") =			5.01			4.50			3.96		
% CBR _(0.2") =			5.08			4.56			3.98		



N° Golpes	CBR % (0.1")	CBR % (0.2")	Densidad Seca (gr/cm ³)	Expansión (%)	Absorción (%)
55	5.01	5.08	1.88	1.10	2.57
26	4.50	4.56	1.70	1.18	4.00
12	3.96	3.98	1.50	1.32	6.51



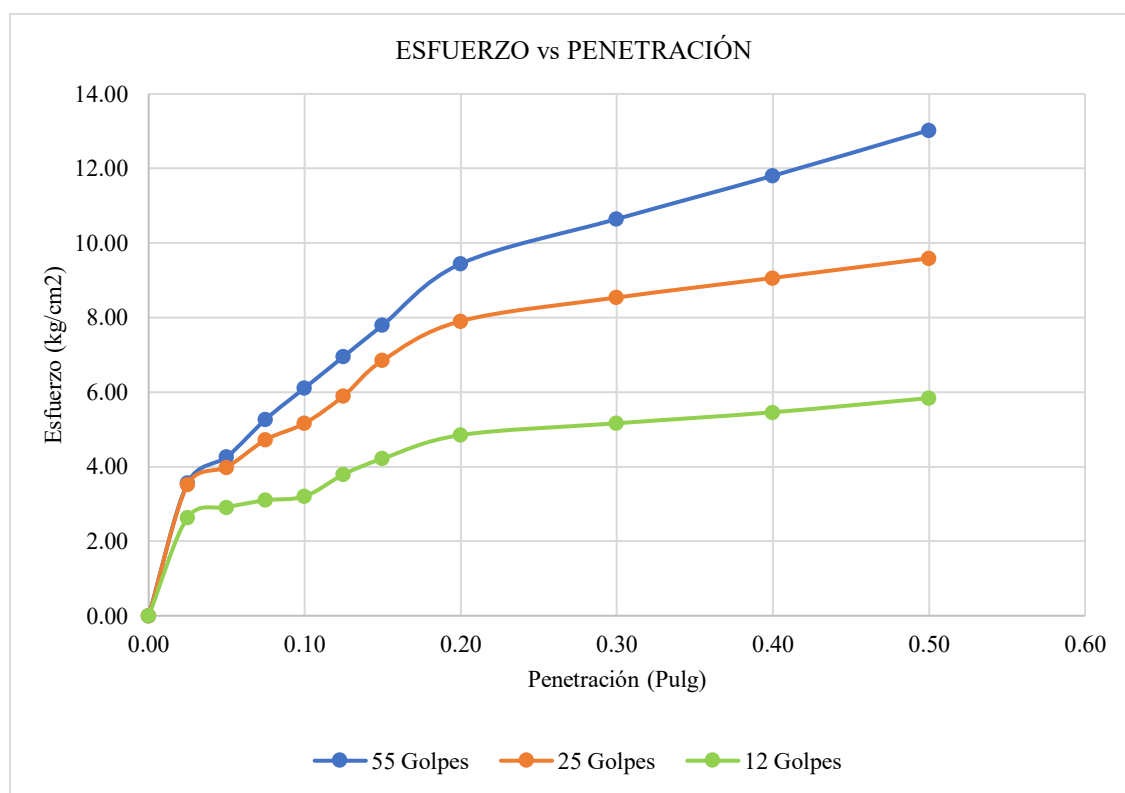
CBR	0.1"	0.2"
al 100 %	4.89 %	4.96 %
al 95 %	4.64 %	4.70 %

Anexo H.2: Capacidad de Soporte del suelo + 15% de RAP

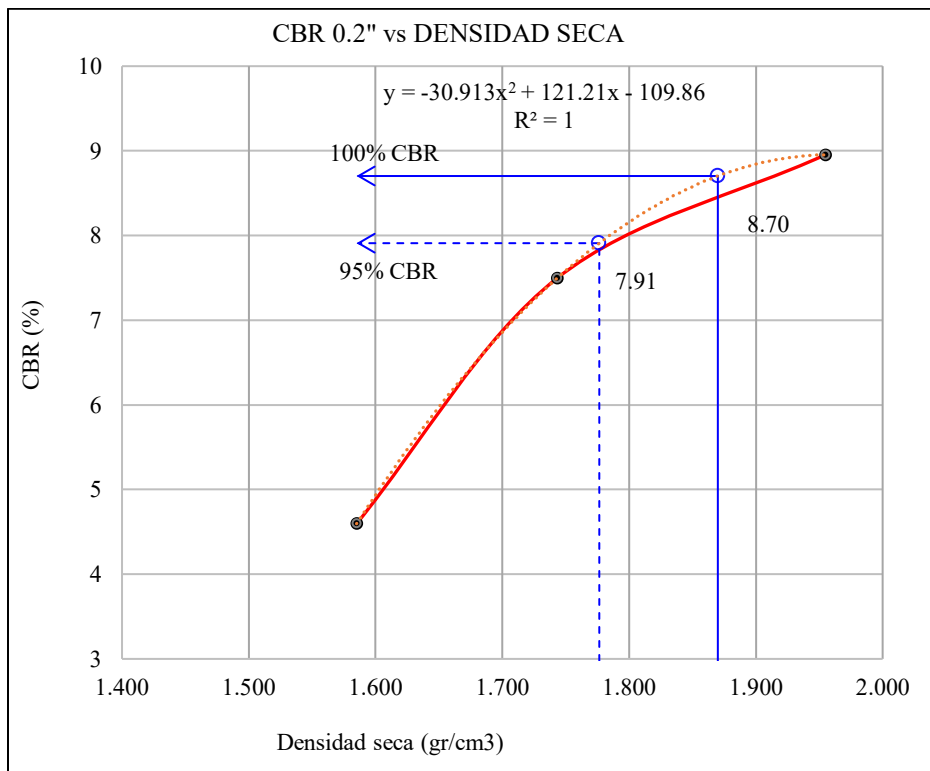
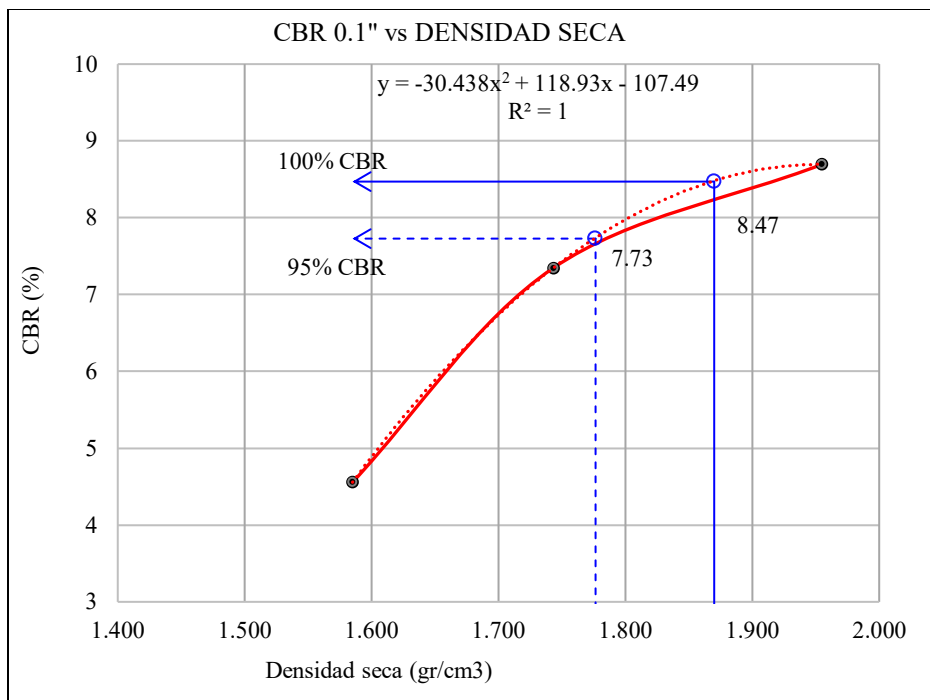
DESCRIPCIÓN		COMPACTACIÓN		
N° de Ensayo		1	2	3
N° del molde		M-01	M-02	M-03
Número de capas		5	5	5
Número de golpes por capa		55	26	12
Información del molde				
Diámetro interno del molde (cm)		15.20	15.20	15.20
Altura del molde (cm)		17.60	17.60	17.60
Espesor del disco espaciador (cm)		5.00	5.00	5.00
Volumen del molde (cm ³)		2286.38	2286.38	2286.38
Ensayo con moldes				
Contenido de humedad óptimo (%)		13.09	13.09	13.09
Masa del molde (gr)		7050.00	6900.00	7000.00
Masa del molde + suelo húmedo antes de sumergir (gr)		11950.00	11450.00	11200.00
Masa del molde + suelo húmedo después de sumergir (gr)		12150.00	11750.00	11550.00
Masa del suelo seco antes de sumergir (gr)		4469.65	3985.56	3623.96
Masa del agua absorbida (gr)		200.00	300.00	350.00
Porcentaje de absorción antes de sumergir		4.47	7.53	9.66
Masa de suelo húmedo (gr)		4900.00	4550.00	4200.00
Densidad húmeda compactado (gr/cm ³)		2.14	1.99	1.84
Porcentaje de absorción después de sumergir		2.33	2.77	3.33
Ensayo de cápsulas después de sumergir				
N° Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		21.33	21.33	21.45
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		32.83	45.11	44.49
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		31.82	42.16	41.33
Masa del agua (gr)		1.01	2.95	3.16
Masa de muestra seca (gr)		10.49	20.83	19.88
Contenido de Humedad (%)		9.63	14.16	15.90
Densidad seca compactado (gr/cm ³)		1.95	1.74	1.59
Ensayo de cápsulas antes de sumergir				
N° Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		58.94	58.86	21.23
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		75.70	74.31	32.25
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		74.56	72.73	31.02
Masa del agua (gr)		1.14	1.58	1.23
Masa de muestra seca (gr)		15.62	13.87	9.79
Contenido de Humedad (%)		7.30	11.39	12.56

DESCRIPCIÓN			EXPANSIÓN								
Fecha	Hora	TIEMPO horas	55 golpes			26 golpes			12 golpes		
			Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN		Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN		Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/09/2025	12:47:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17/09/2025	12:47:00	24.00	42.00	1.07	0.85	40.00	1.02	0.81	46.00	1.17	0.93
18/09/2025	12:47:00	48.00	46.00	1.17	0.93	45.00	1.14	0.91	51.00	1.30	1.03
19/09/2025	12:47:00	72.00	53.00	1.35	1.07	51.00	1.30	1.03	55.00	1.40	1.11
20/09/2025	12:47:00	96.00	49.00	1.24	0.99	54.00	1.37	1.09	61.00	1.55	1.23

DESCRIPCIÓN			PENETRACIÓN								
Área de pistón 19.35 cm ²			Constante de anillo de carga $Y = 400X + 0.44$ (fuerza en KN)								
PENETRACIÓN		Carga	MOLDE N° M-01 (55)			MOLDE N° M-02 (26)			MOLDE N° M-03 (12)		
Pulg	mm	Estándar kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²
0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.64		5.90	68.93	3.56	5.70	68.12	3.52	1.50	50.99	2.63
0.05	1.27		9.20	82.39	4.26	7.90	77.09	3.98	2.80	56.29	2.91
0.08	1.91		14.00	101.97	5.27	11.40	91.37	4.72	3.70	59.96	3.10
0.10	2.54	70.31	18.00	118.29	6.11	13.50	99.93	5.16	4.20	62.00	3.20
0.13	3.18		22.00	134.60	6.96	17.00	114.21	5.90	7.00	73.42	3.79
0.15	3.81		26.00	150.92	7.80	21.50	132.56	6.85	9.00	81.58	4.22
0.20	5.08	105.46	33.80	182.73	9.44	26.50	152.96	7.90	12.00	93.81	4.85
0.30	7.62		39.50	205.98	10.65	29.50	165.19	8.54	13.50	99.93	5.16
0.40	10.16		45.00	228.42	11.80	32.00	175.39	9.06	14.90	105.64	5.46
0.50	12.70		50.80	252.07	13.03	34.50	185.59	9.59	16.70	112.98	5.84
% CBR _(0.1") =			8.69			7.35			4.56		
% CBR _(0.2") =			8.95			7.50			4.60		



N° Golpes	CBR (0.1")	CBR (0.2")	Densidad Seca (gr/cm ³)	Expansión (%)	Absorción (%)
55	8.69	8.95	1.95	0.99	2.33
26	7.35	7.50	1.74	1.09	2.77
12	4.56	4.60	1.59	1.23	3.33



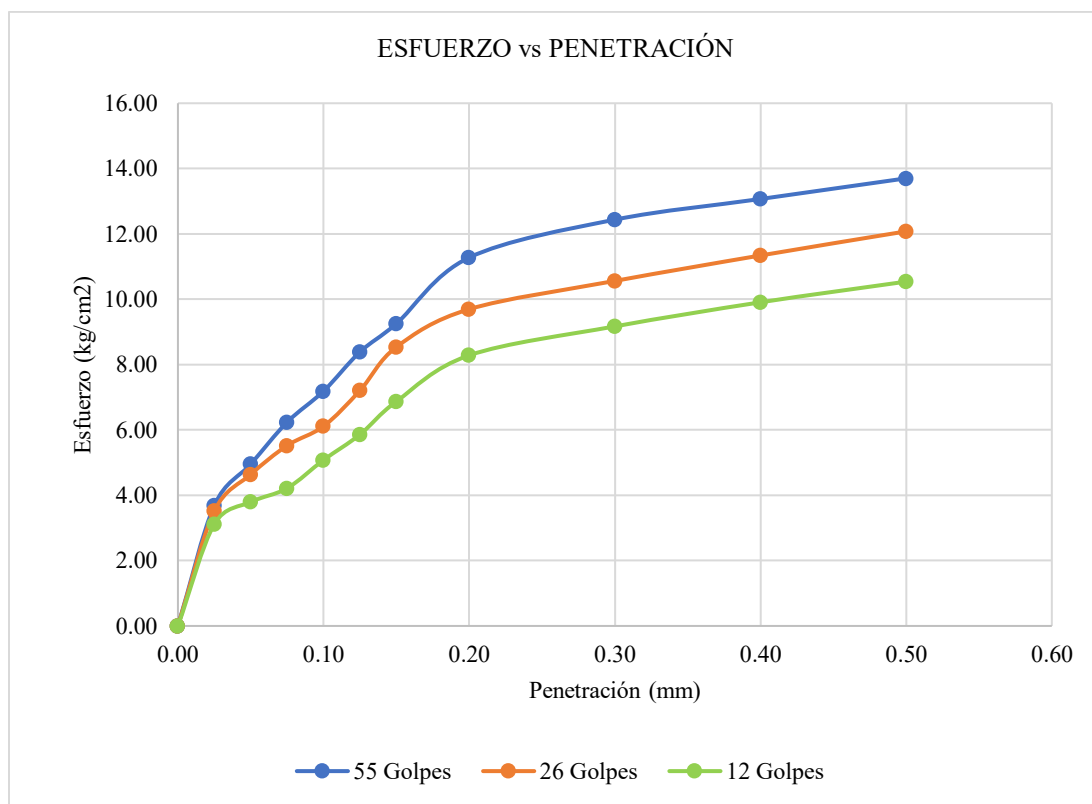
CBR	0.1"	0.2"
al 100 %	8.47 (%)	8.70 (%)
al 95 %	7.73 (%)	7.91 (%)

Anexo H.3: Capacidad de Soporte del suelo + 20% de RAP

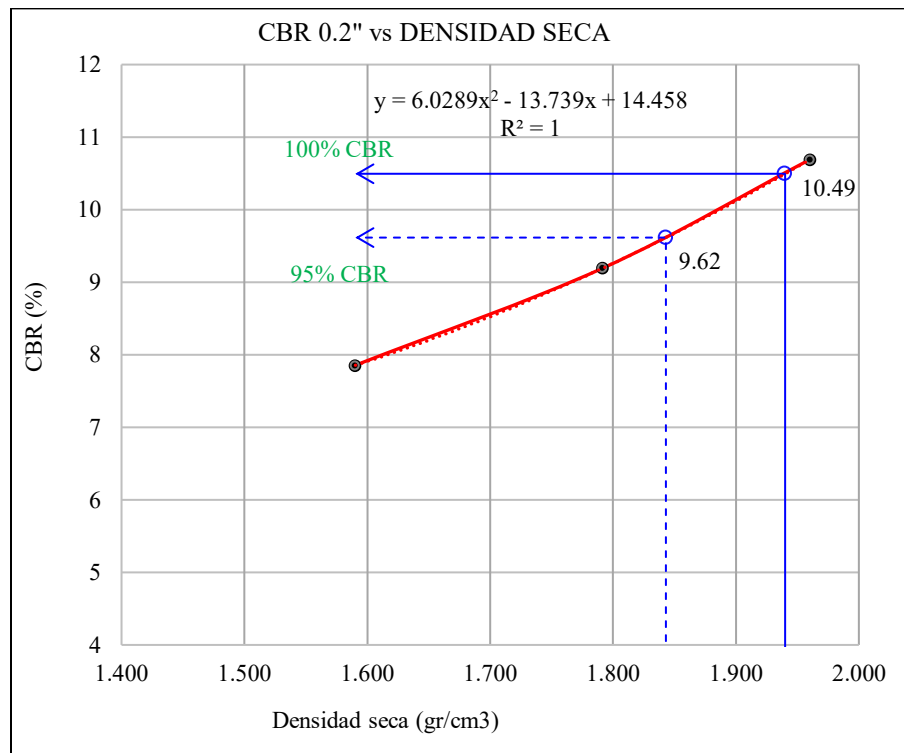
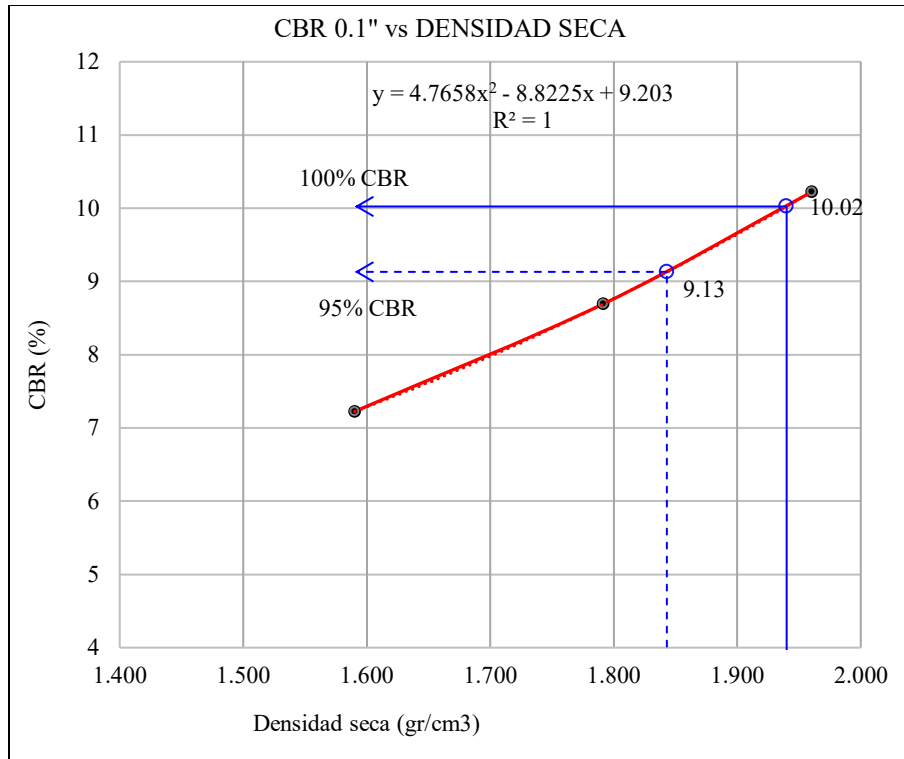
DESCRIPCIÓN		COMPACTACIÓN		
N° de Ensayo		1	2	3
N° del molde		M-01	M-02	M-03
Número de capas		5	5	5
Número de golpes por capa		55	26	12
Información del molde				
Diámetro interno del molde (cm)		15.30	15.30	15.30
Altura del molde (cm)		17.60	17.60	17.60
Espesor del disco espaciador (cm)		5.00	5.00	5.00
Volumen del molde (cm ³)		2316.56	2316.56	2316.56
Ensayo con moldes				
Contenido de humedad óptimo (%)		11.69	11.69	11.69
Masa del molde (gr)		7050.00	6900.00	7000.00
Masa del molde + suelo húmedo antes de sumergir (gr)		11900.00	11450.00	11200.00
Masa del molde + suelo húmedo después de sumergir (gr)		12050.00	11700.00	11500.00
Masa del suelo seco antes de sumergir (gr)		4541.52	4150.53	3684.03
Masa del agua absorbida (gr)		150.00	250.00	300.00
Porcentaje de absorción antes de sumergir		3.30	6.02	8.14
Masa de suelo húmedo (gr)		4850.00	4550.00	4200.00
Densidad húmeda compactado (gr/cm ³)		2.09	1.96	1.81
Porcentaje de absorción después de sumergir		2.03	2.24	3.16
Ensayo de cápsulas después de sumergir				
N° Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		21.31	21.94	21.48
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		41.12	49.39	50.54
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		39.86	46.98	46.97
Masa del agua (gr)		1.26	2.41	3.57
Masa de muestra seca (gr)		18.55	25.04	25.49
Contenido de Humedad (%)		6.79	9.62	14.01
Densidad seca compactado (gr/cm ³)		1.96	1.79	1.59
Ensayo de cápsulas antes de sumergir				
N° Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		30.88	56.71	49.39
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		49.59	86.82	92.53
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		48.74	84.75	88.31
Masa del agua (gr)		0.85	2.07	4.22
Masa de muestra seca (gr)		17.86	28.04	38.92
Contenido de Humedad (%)		4.76	7.38	10.84

DESCRIPCIÓN			EXPANSIÓN								
			55 golpes			26 golpes			12 golpes		
Fecha	Hora	TIEMPO horas	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%
25/09/2025	12:15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26/09/2025	12:15:00	24.00	28.00	0.71	0.56	34.00	0.86	0.69	38.00	0.97	0.77
27/09/2025	12:15:00	48.00	33.00	0.84	0.67	39.00	0.99	0.79	44.00	1.12	0.89
28/09/2025	12:15:00	72.00	38.00	0.97	0.77	45.00	1.14	0.91	50.00	1.27	1.01
29/09/2025	12:15:00	96.00	44.00	1.12	0.89	48.00	1.22	0.97	55.00	1.40	1.11

DESCRIPCIÓN			PENETRACIÓN								
Área de pistón 19.35 cm ²			Constante de anillo de carga $Y = 400X + 0.44$ (fuerza en KN)								
PENETRACIÓN		Carga	MOLDE N° M-01 (55)			MOLDE N° M-02 (26)			MOLDE N° M-03 (12)		
Pulg	mm	Estándar kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²
0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.64		6.50	71.38	3.69	5.70	68.12	3.52	3.80	60.37	3.12
0.05	1.27		12.50	95.85	4.95	11.00	89.74	4.64	7.00	73.42	3.79
0.08	1.91		18.60	120.73	6.24	15.20	106.87	5.52	9.00	81.58	4.22
0.10	2.54	70.31	23.10	139.09	7.19	18.00	118.29	6.11	13.10	98.30	5.08
0.13	3.18		28.80	162.34	8.39	23.20	139.50	7.21	16.80	113.39	5.86
0.15	3.81		32.90	179.06	9.25	29.50	165.19	8.54	21.60	132.97	6.87
0.20	5.08	105.46	42.50	218.22	11.28	35.00	187.63	9.70	28.30	160.30	8.28
0.30	7.62		48.00	240.65	12.44	39.10	204.35	10.56	32.50	177.43	9.17
0.40	10.16		51.00	252.89	13.07	42.80	219.44	11.34	36.00	191.71	9.91
0.50	12.70		54.00	265.13	13.70	46.30	233.72	12.08	39.00	203.94	10.54
% CBR _(0.1") =				10.22		8.69			7.23		
% CBR _(0.2") =				10.69		9.19			7.86		



N° Golpes	CBR (0.1")	CBR (0.2")	Densidad Seca (gr/cm ³)	Expansión (%)	Absorción (%)
55	10.22	10.69	1.96	0.89	2.03
26	8.69	9.19	1.79	0.97	2.24
12	7.23	7.86	1.59	1.11	3.16



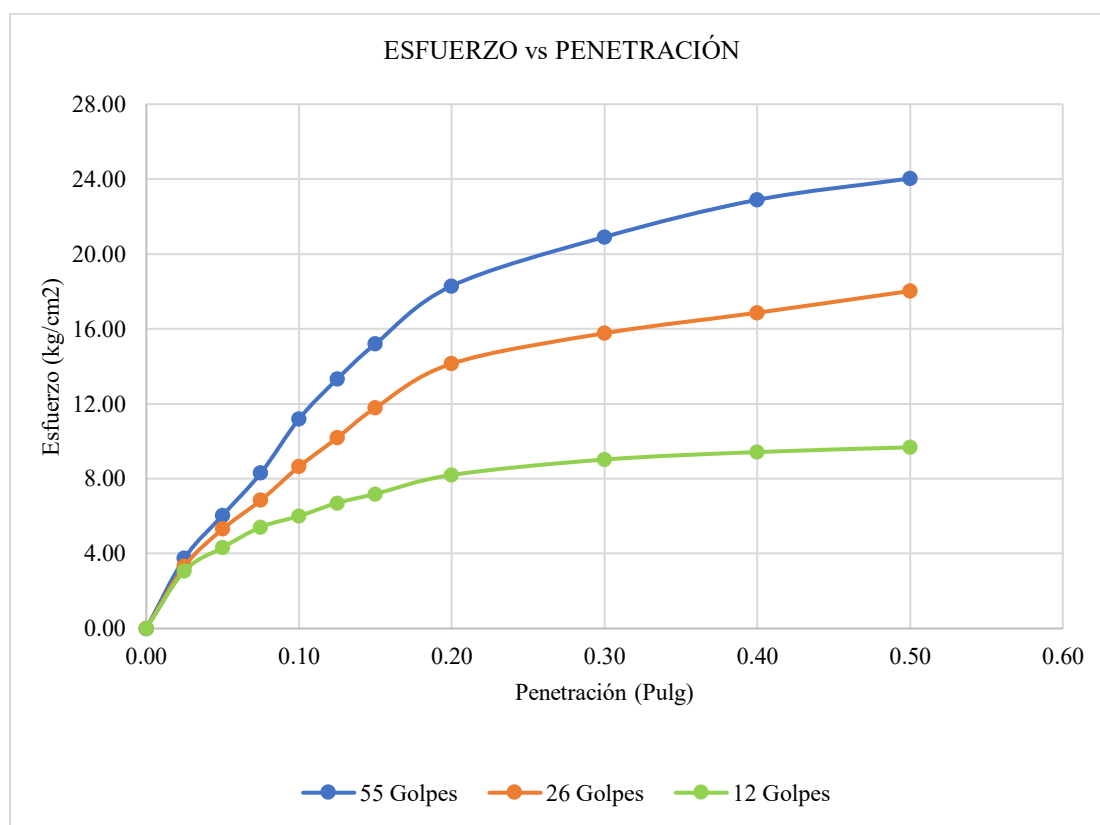
CBR	0.1"	0.2"
al 100 %	10.02 %	10.49 %
al 95 %	9.13 %	9.62 %

Anexo H.4: Capacidad de Soporte del suelo + 25% de RAP

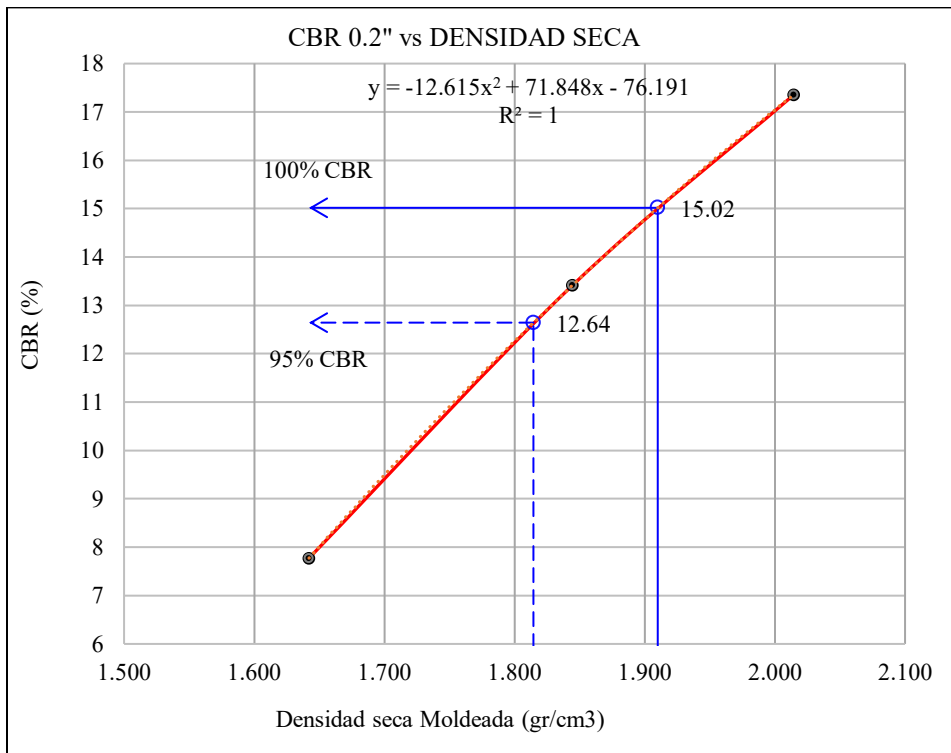
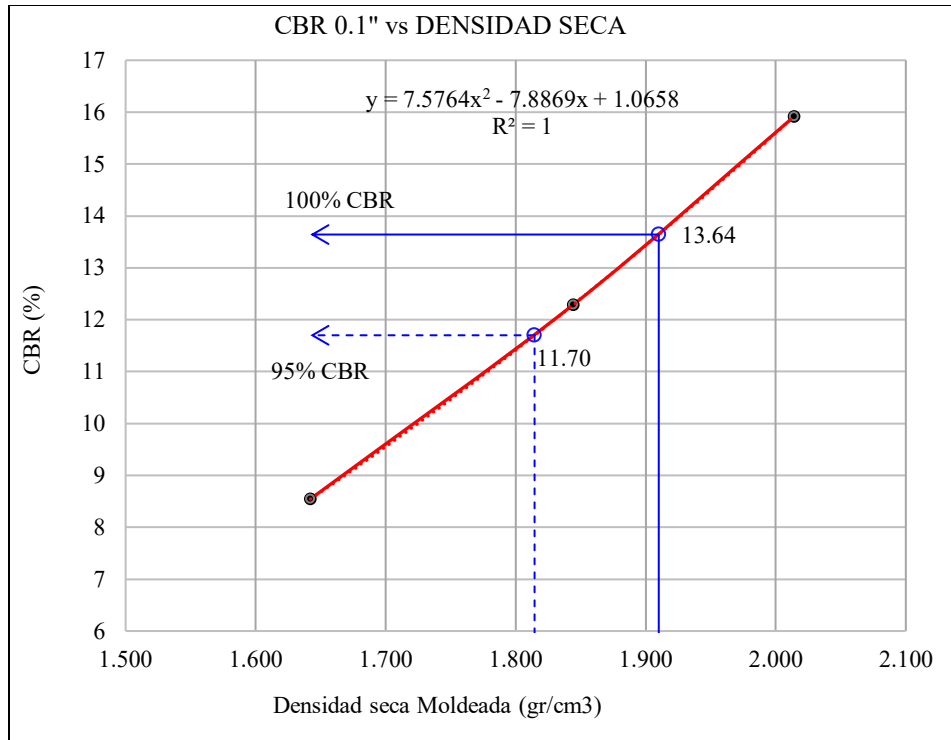
DESCRIPCIÓN		COMPACTACIÓN		
Nº de Ensayo		1	2	3
Nº del molde		M-01	M-02	M-03
Número de capas		5	5	5
Número de golpes por capa		55	26	12
Información del molde				
Diámetro interno del molde (cm)		15.70	15.70	15.30
Altura del molde (cm)		17.70	17.70	17.60
Espesor del disco espaciador (cm)		5.00	5.00	5.00
Volumen del molde (cm ³)		2458.63	2458.63	2316.56
Ensayo con moldes				
Contenido de humedad óptimo (%)		11.54	11.54	11.54
Masa del molde (gr)		5700.00	6000.00	7100.00
Masa del molde + suelo húmedo antes de sumergir (gr)		10950.00	10950.00	11400.00
Masa del molde + suelo húmedo después de sumergir (gr)		11100.00	11200.00	11700.00
Masa del suelo seco antes de sumergir (gr)		4952.49	4534.68	3804.08
Masa del agua absorbida (gr)		150.00	250.00	300.00
Porcentaje de absorción antes de sumergir (%)		3.03	5.51	7.89
Masa de suelo húmedo (gr)		5250.00	4950.00	4300.00
Densidad húmeda compactado (gr/cm ³)		2.14	2.01	1.86
Porcentaje de absorción después de sumergir (%)		1.64	2.12	3.07
Ensayo de cápsulas después de sumergir				
Nº Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		21.71	22.05	21.97
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		50.65	52.80	50.41
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		49.01	50.22	47.13
Masa del agua (gr)		1.64	2.58	3.28
Masa de muestra seca (gr)		27.30	28.17	25.16
Contenido de Humedad (%)		6.01	9.16	13.04
Densidad seca compactado (gr/cm ³)		2.01	1.84	1.64
Ensayo de cápsulas antes de sumergir				
Nº Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		30.93	56.75	49.50
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		52.90	75.46	63.96
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		51.98	74.23	62.65
Masa del agua (gr)		0.92	1.23	1.31
Masa de muestra seca (gr)		21.05	17.48	13.15
Contenido de Humedad (%)		4.37	7.04	9.96

DESCRIPCIÓN			EXPANSIÓN								
			55 golpes			26 golpes			12 golpes		
Fecha	Hora	TIEMPO horas	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%
25/09/2025	12:30:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26/09/2025	12:30:00	24.00	26.00	0.66	0.52	31.00	0.79	0.62	37.00	0.94	0.75
27/09/2025	12:30:00	48.00	30.00	0.76	0.60	36.00	0.91	0.72	41.00	1.04	0.83
28/09/2025	12:30:00	72.00	35.00	0.89	0.70	41.00	1.04	0.82	45.00	1.14	0.91
29/09/2025	12:30:00	96.00	39.00	0.99	0.78	44.00	1.12	0.88	49.00	1.24	0.99

DESCRIPCIÓN			PENETRACIÓN								
Área de pistón 19.35 cm ²			Constante de anillo de carga Y = 400X + 0.44 (fuerza en KN)								
PENETRACIÓN		Carga	MOLDE N° M-01 (55)			MOLDE N° M-02 (26)			MOLDE N° M-03 (12)		
Pulg	mm	Estándar kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²
0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.64		6.80	72.60	3.75	4.80	64.45	3.33	3.60	59.55	3.08
0.05	1.27		17.70	117.06	6.05	14.20	102.79	5.31	9.50	83.62	4.32
0.08	1.91		28.40	160.71	8.31	21.50	132.56	6.85	14.70	104.83	5.42
0.10	2.54	70.31	42.10	216.59	11.19	30.00	167.23	8.64	17.50	116.25	6.01
0.13	3.18		52.20	257.78	13.32	37.30	197.01	10.18	20.80	129.71	6.70
0.15	3.81		61.10	294.09	15.20	44.90	228.01	11.78	23.10	139.09	7.19
0.20	5.08	105.46	75.80	354.05	18.30	56.10	273.69	14.14	27.90	158.67	8.20
0.30	7.62		88.20	404.62	20.91	63.80	305.10	15.77	31.80	174.58	9.02
0.40	10.16		97.60	442.96	22.89	69.00	326.31	16.86	33.70	182.33	9.42
0.50	12.70		103.00	464.99	24.03	74.50	348.74	18.02	34.90	187.22	9.68
% CBR (0.1") =			15.92			12.29			8.54		
% CBR (0.2") =			17.35			13.41			7.78		



N° Golpes	CBR (0.1")	CBR (0.2")	Densidad Seca (gr/cm ³)	Expansión (%)	Absorción (%)
55	15.92	17.35	2.01	0.78	1.64
26	12.29	13.41	1.84	0.88	2.12
12	8.54	7.78	1.64	0.99	3.07



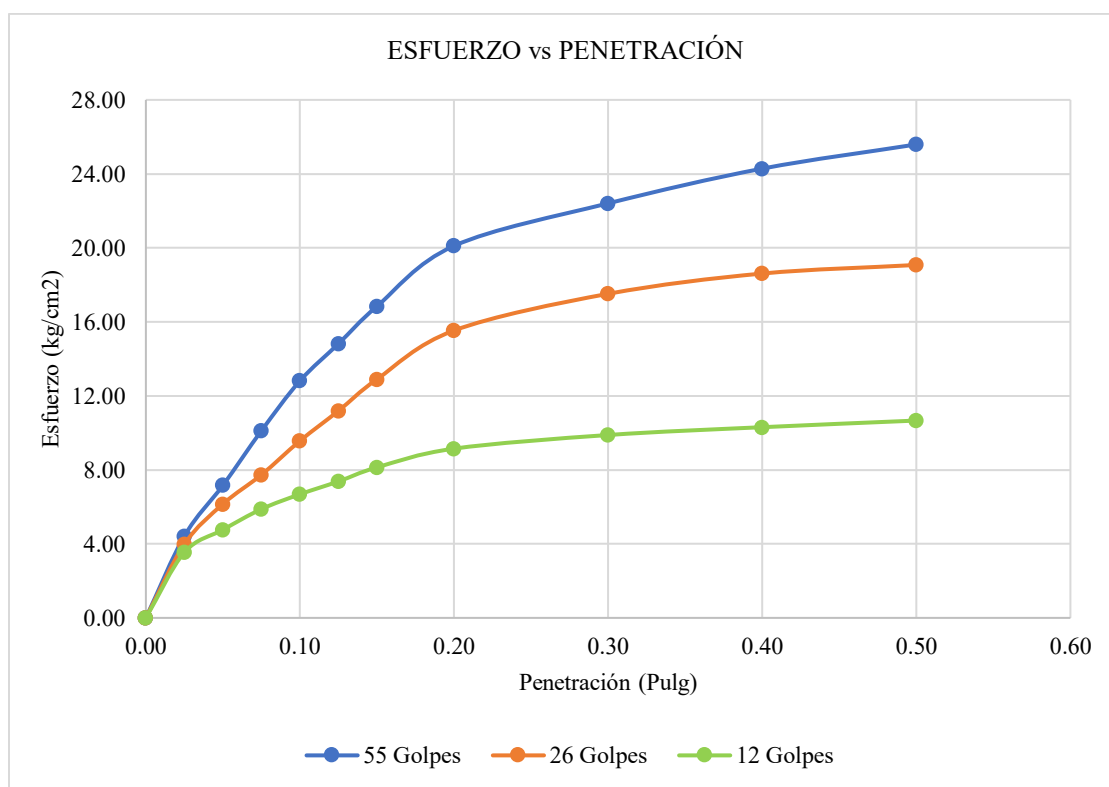
CBR	0.1"	0.2"
al 100 %	13.64 %	15.02 %
al 95 %	11.70 %	12.64 %

Anexo H.5: Capacidad de Soporte del suelo + 30% de RAP

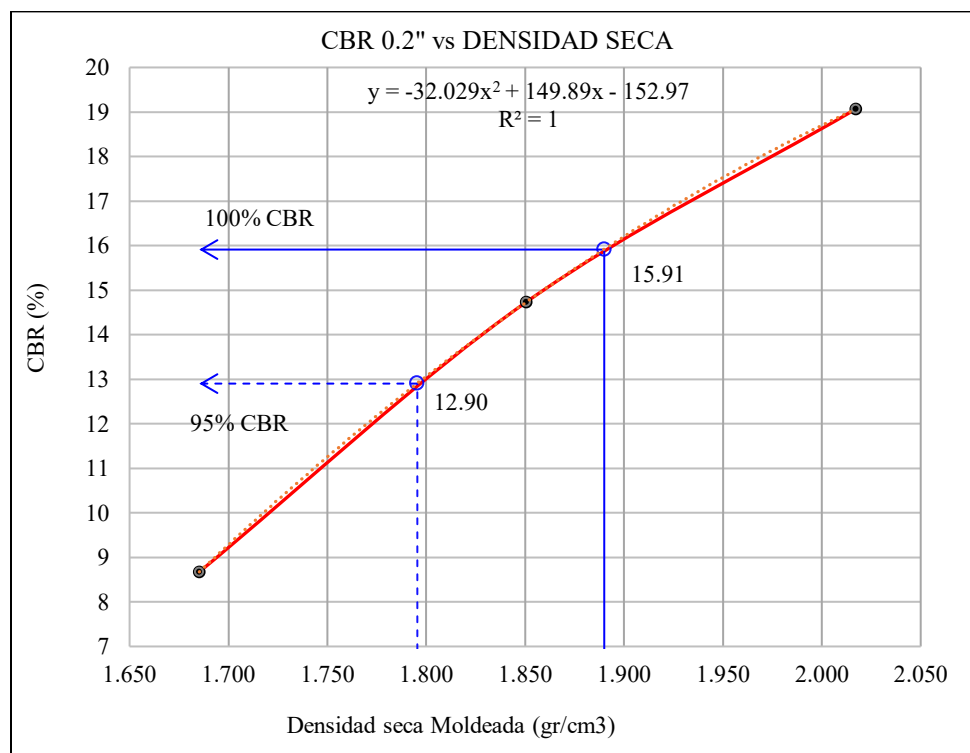
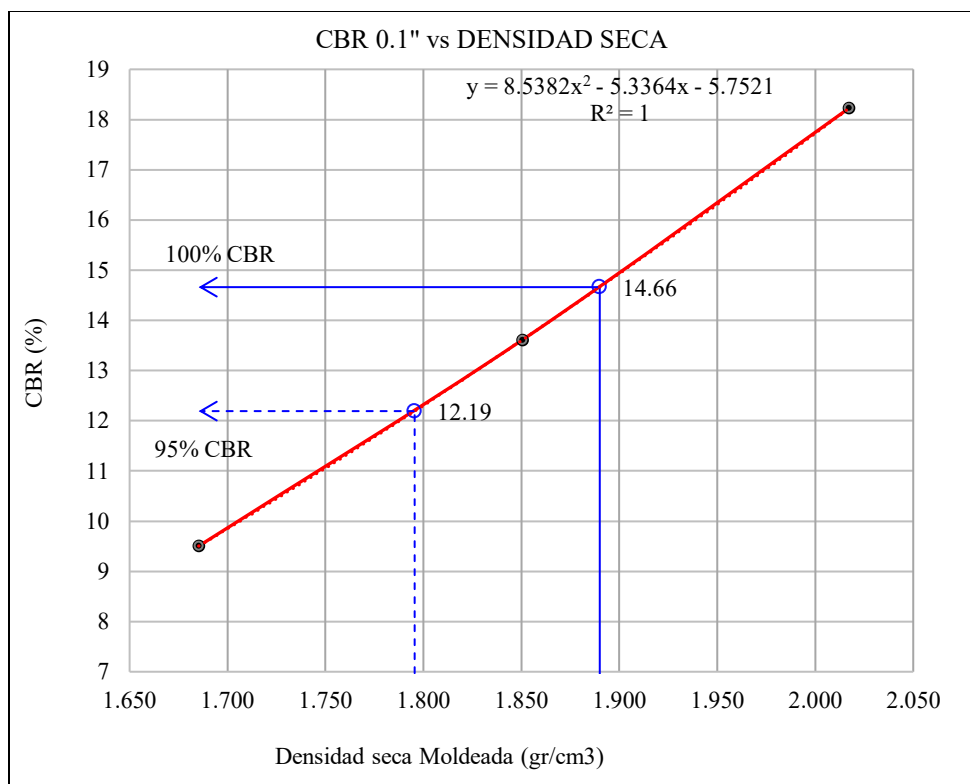
DESCRIPCIÓN		COMPACTACIÓN		
N° de Ensayo		1	2	3
N° del molde		M-01	M-02	M-03
Número de capas		5	5	5
Número de golpes por capa		55	26	12
Información del molde				
Diámetro interno del molde (cm)		15.30	15.30	15.30
Altura del molde (cm)		17.60	17.60	17.60
Espesor del disco espaciador (cm)		5.00	5.00	5.00
Volumen del molde (cm ³)		2316.56	2316.56	2316.56
Ensayo con moldes				
Contenido de humedad óptimo (%)		11.47	11.47	11.47
Masa del molde (gr)		7050.00	6900.00	7000.00
Masa del molde + suelo húmedo antes de sumergir (gr)		12000.00	11550.00	11400.00
Masa del molde + suelo húmedo después de sumergir (gr)		12100.00	11750.00	11650.00
Masa del suelo seco antes de sumergir (gr)		4673.19	4286.89	3904.02
Masa del agua absorbida (gr)		100.00	200.00	250.00
Porcentaje de absorción antes de sumergir (%)		2.14	4.67	6.40
Masa de suelo húmedo (gr)		4950.00	4650.00	4400.00
Densidad húmeda compactado (gr/cm ³)		2.14	2.01	1.90
Porcentaje de absorción después de sumergir (%)		1.33	1.82	3.01
Ensayo de cápsulas después de sumergir				
N° Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		30.42	57.71	49.35
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		63.86	92.67	70.73
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		61.99	89.94	68.32
Masa del agua (gr)		1.87	2.73	2.41
Masa de muestra seca (gr)		31.57	32.23	18.97
Contenido de Humedad (%)		5.92	8.47	12.70
Densidad seca compactado (gr/cm ³)		2.02	1.85	1.69
Ensayo de cápsulas antes de sumergir				
N° Muestra de la cápsula		T-01	T-02	T-03
Masa de la cápsula (gr)		43.62	57.61	42.77
Masa de la cápsula + muestra húmeda (gr)		80.96	101.56	77.52
Masa de la cápsula + muestra seca (gr)		79.32	98.82	74.45
Masa del agua (gr)		1.64	2.74	3.07
Masa de muestra seca (gr)		35.70	41.21	31.68
Contenido de Humedad (%)		4.59	6.65	9.69

DESCRIPCIÓN			EXPANSIÓN								
			55 golpes			26 golpes			12 golpes		
Fecha	Hora	TIEMPO horas	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%	Lect dial 0.001"	EXPANSIÓN mm	%
29/09/2025	12:15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30/09/2025	12:15:00	24.00	20.00	0.51	0.40	27.00	0.69	0.54	32.00	0.81	0.65
01/10/2025	12:15:00	48.00	24.00	0.61	0.48	31.00	0.79	0.62	36.00	0.91	0.73
02/10/2025	12:15:00	72.00	30.00	0.76	0.60	35.00	0.89	0.71	41.00	1.04	0.83
03/10/2025	12:15:00	96.00	34.00	0.86	0.69	40.00	1.02	0.81	45.00	1.14	0.91

DESCRIPCIÓN			PENETRACIÓN								
Área de pistón 19.35 cm ²			Constante de anillo de carga $Y = 400X + 0.44$ (fuerza en KN)								
PENETRACIÓN		Carga	MOLDE N° M-01 (55)			MOLDE N° M-02 (26)			MOLDE N° M-03 (12)		
Pulg	mm	kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²	Lectura Dial	Fuerza kg	Esfuerzo kg/cm ²
0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.64		10.00	85.66	4.43	7.90	77.09	3.98	5.80	68.52	3.54
0.05	1.27		23.00	138.68	7.17	18.20	119.10	6.16	11.60	92.18	4.76
0.08	1.91		37.00	195.79	10.12	25.70	149.69	7.74	16.90	113.80	5.88
0.10	2.54	70.31	49.80	247.99	12.82	34.40	185.18	9.57	20.70	129.30	6.68
0.13	3.18		59.30	286.74	14.82	42.10	216.59	11.19	24.00	142.76	7.38
0.15	3.81		68.90	325.90	16.84	50.20	249.63	12.90	27.60	157.44	8.14
0.20	5.08	105.46	84.40	389.12	20.11	62.70	300.61	15.54	32.40	177.02	9.15
0.30	7.62		95.30	433.58	22.41	72.10	338.95	17.52	35.90	191.30	9.89
0.40	10.16		104.20	469.89	24.28	77.30	360.16	18.61	37.90	199.46	10.31
0.50	12.70		110.40	495.17	25.59	79.50	369.14	19.08	39.60	206.39	10.67
% CBR (0.1") =			18.23			13.61			9.50		
% CBR (0.2") =			19.07			14.73			8.67		



N° Golpes	CBR (0.1")	CBR (0.2")	Densidad Seca (gr/cm ³)	Expansión (%)	Absorción (%)
55	10.22	10.69	1.96	0.89	2.03
26	8.69	9.19	1.79	0.97	2.24
12	7.23	7.86	1.59	1.11	3.16

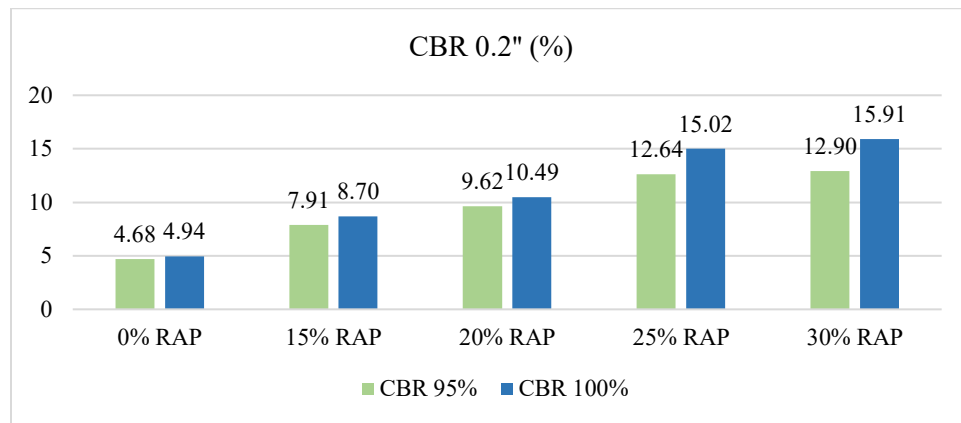


CBR	0.1"	0.2"
al 100 %	14.66 %	15.91 %
al 95 %	12.19 %	12.90 %

Anexo H.6: Resumen del CBR para 0.2"

% RAP INCORPORADO	CBR 0.2" (%)	
	CBR 95%	CBR 100%
0% RAP	4.68	4.94
15% RAP	7.91	8.70
20% RAP	9.62	10.49
25% RAP	12.64	15.02
30% RAP	12.90	15.91

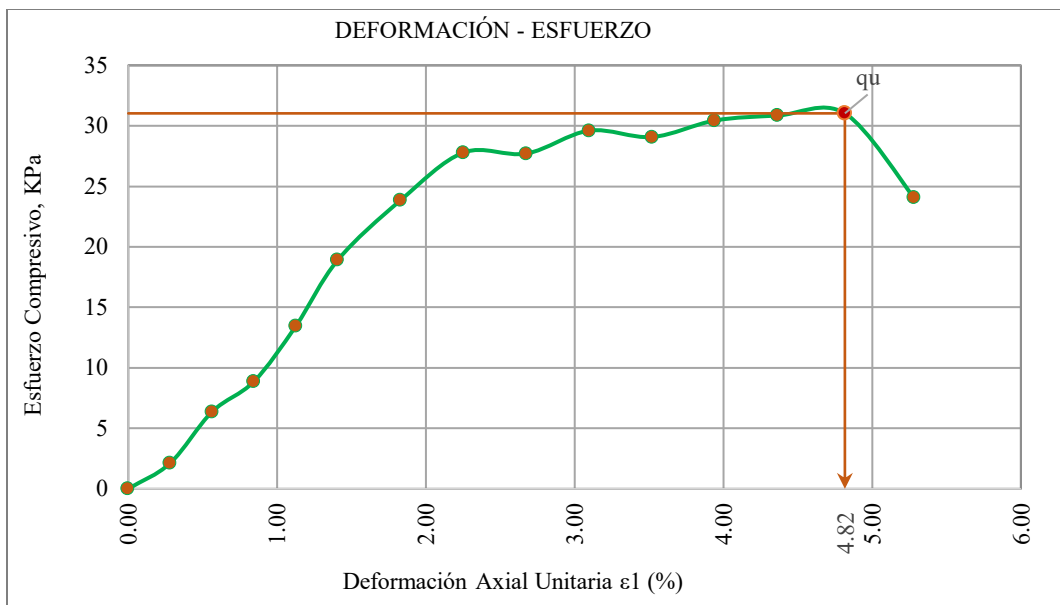
Fuente: Elaboración propia



Anexo I: Compresión no confinada

Anexo I.1: Compresión no confinada suelo natural M-1

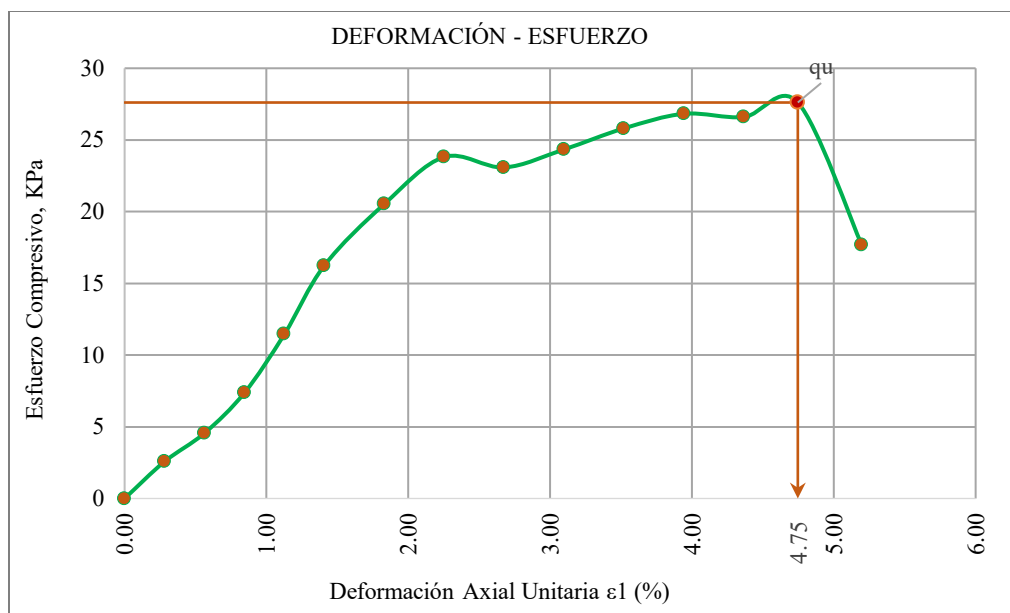
Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12	
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2	
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3	
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)			Y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ε _l (%)	Área de la sección transversal media, A (cm2)	Esfuerzo compresivo, σ	
kgf	mm			kg/cm2	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.19	0.20	0.28	8.84	0.02	2.12
0.58	0.40	0.56	8.86	0.06	6.37
0.80	0.60	0.85	8.89	0.09	8.87
1.22	0.80	1.13	8.91	0.14	13.46
1.72	1.00	1.41	8.94	0.19	18.91
2.18	1.30	1.83	8.98	0.24	23.86
2.56	1.60	2.25	9.02	0.28	27.79
2.56	1.90	2.68	9.06	0.28	27.71
2.75	2.20	3.10	9.10	0.30	29.61
2.71	2.50	3.52	9.14	0.30	29.08
2.85	2.80	3.94	9.18	0.31	30.44
2.90	3.10	4.37	9.22	0.31	30.85
2.93	3.42	4.82	9.26	0.32	31.03
2.28	3.75	5.28	9.31	0.25	24.06



Resultados suelo natural M-1		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	0.32 kg/cm ²	31.03 kPa
Deformación en el instante de la falla	4.82%	
Consistencia q_u :	Blanda	

Anexo I.2: Compresión no confinada suelo natural M-2

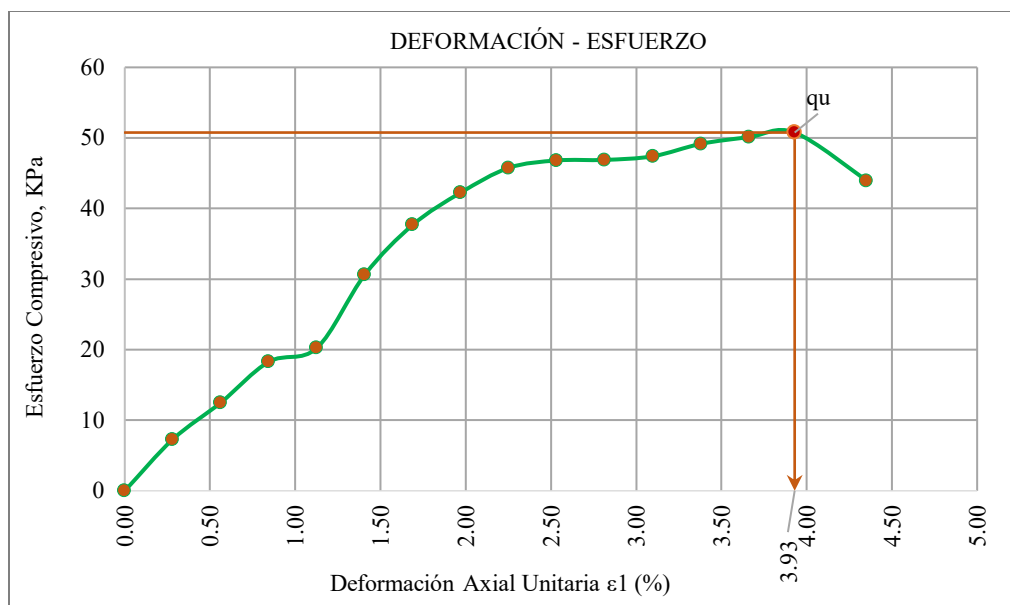
Condición del espécimen =	Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12		
Diámetro promedio =	33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2		
Longitud inicial =	71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3		
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)		Y = 136.29X - 52.804 (g)			
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ϵ_1 (%)	Área de la sección transversal media, A (cm2)	Esfuerzo compresivo, σ	
kgf	mm			kg/cm2	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.23	0.20	0.28	8.84	0.03	2.57
0.41	0.40	0.56	8.86	0.05	4.56
0.67	0.60	0.85	8.89	0.08	7.37
1.04	0.80	1.13	8.91	0.12	11.46
1.48	1.00	1.41	8.94	0.17	16.25
1.88	1.30	1.83	8.98	0.21	20.53
2.19	1.60	2.25	9.02	0.24	23.82
2.13	1.90	2.68	9.06	0.24	23.09
2.26	2.20	3.10	9.10	0.25	24.34
2.40	2.50	3.52	9.14	0.26	25.81
2.51	2.80	3.94	9.18	0.27	26.83
2.50	3.10	4.37	9.22	0.27	26.60
2.61	3.37	4.75	9.25	0.28	27.61
1.68	3.69	5.20	9.30	0.18	17.67



Resultados suelo natural M-2		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	0.28 kg/cm ²	27.61 kPa
Deformación en el instante de la falla	4.75%	
Consistencia q_u :	Blanda	

Anexo I.3: Compresión no confinada suelo + 15% de RAP M-1

Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12	
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm ²	
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =	62.58 cm ³	
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)			Y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ε ₁ (%)	Área de la sección transversal media, A (cm ²)	Esfuerzo compresivo, σ _c	
kgf	mm			kg/cm ²	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.66	0.20	0.28	8.84	0.07	7.29
1.13	0.40	0.56	8.86	0.13	12.50
1.66	0.60	0.85	8.89	0.19	18.29
1.84	0.80	1.13	8.91	0.21	20.24
2.79	1.00	1.41	8.94	0.31	30.64
3.45	1.20	1.69	8.97	0.38	37.70
3.88	1.40	1.97	8.99	0.43	42.27
4.21	1.60	2.25	9.02	0.47	45.77
4.32	1.80	2.54	9.04	0.48	46.81
4.34	2.00	2.82	9.07	0.48	46.89
4.40	2.20	3.10	9.10	0.48	47.41
4.57	2.40	3.38	9.12	0.50	49.17
4.68	2.60	3.66	9.15	0.51	50.11
4.75	2.79	3.93	9.17	0.52	50.77
4.13	3.09	4.35	9.22	0.45	43.95

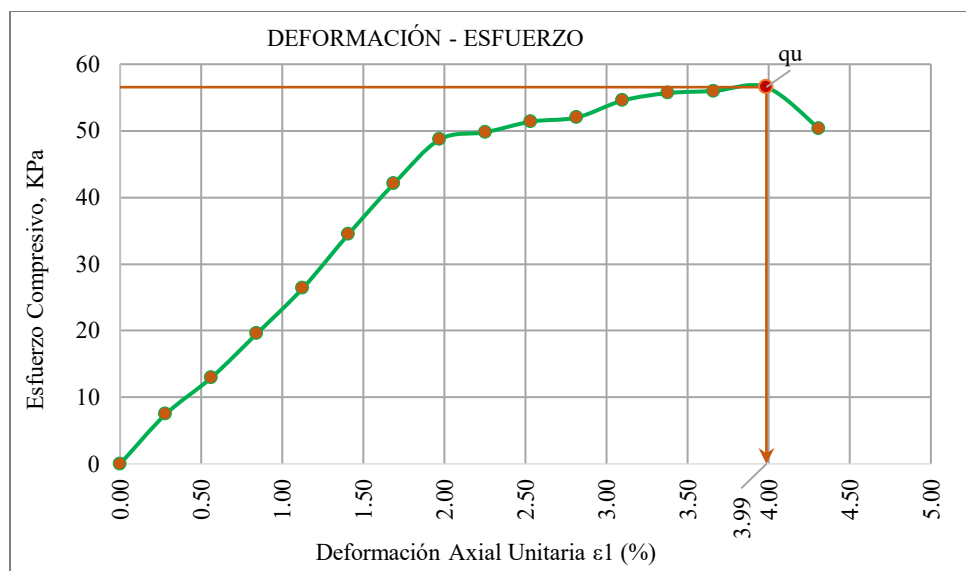


Resultados suelo + 15%RAP M-1		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	0.52 kg/cm ²	50.77 kPa
Deformación en el instante de la falla	3.93%	
Consistencia q_u :	Mediana	

Anexo I.4: Compresión no confinada suelo + 15% de RAP M-2

Condición del espécimen =	Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12
Diámetro promedio =	33.5 mm	Área inicial promedio (A_0) =	8.81 cm ²
Longitud inicial =	71.0 mm	Volumen =	62.58 cm ³
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)	Y = 136.29X - 52.804 (g)		

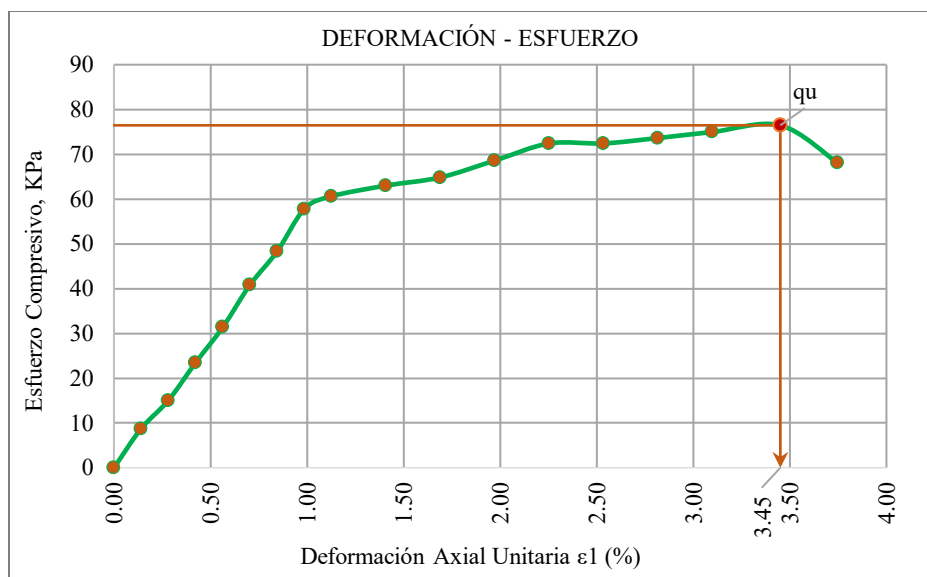
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ϵ_1 (%)	Área de la sección transversal media, A (cm ²)	Esfuerzo compresivo, σ_c	
kgf	mm			kg/cm ²	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.67	0.20	0.28	8.84	0.08	7.47
1.17	0.40	0.56	8.86	0.13	12.97
1.78	0.60	0.85	8.89	0.20	19.61
2.40	0.80	1.13	8.91	0.27	26.38
3.14	1.00	1.41	8.94	0.35	34.49
3.85	1.20	1.69	8.97	0.43	42.11
4.47	1.40	1.97	8.99	0.50	48.71
4.58	1.60	2.25	9.02	0.51	49.80
4.74	1.80	2.54	9.04	0.52	51.39
4.81	2.00	2.82	9.07	0.53	52.01
5.06	2.20	3.10	9.10	0.56	54.54
5.18	2.40	3.38	9.12	0.57	55.67
5.22	2.60	3.66	9.15	0.57	55.98
5.29	2.83	3.99	9.18	0.58	56.56
4.73	3.06	4.31	9.21	0.51	50.32



Resultados suelo + 15%RAP M-2		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	0.58 kg/cm ²	56.56 kPa
Deformación en el instante de la falla	3.99%	
Consistencia q_u :	Mediana	

Anexo I.5: Compresión no confinada suelo + 20% de RAP M-1

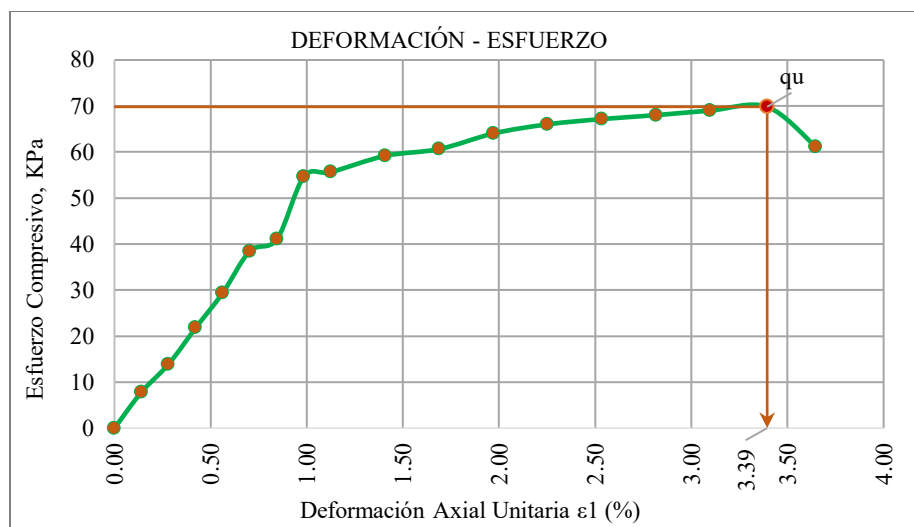
Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12	
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm ²	
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =	62.58 cm ³	
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)			Y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ε ₁ (%)	Área de la sección transversal media, A (cm ²)	Esfuerzo compresivo, σc	
kgf	mm			kg/cm ²	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.79	0.10	0.14	8.83	0.09	8.74
1.36	0.20	0.28	8.84	0.15	15.03
2.12	0.30	0.42	8.85	0.24	23.45
2.84	0.40	0.56	8.86	0.32	31.38
3.70	0.50	0.70	8.88	0.42	40.83
4.38	0.60	0.85	8.89	0.49	48.29
5.24	0.70	0.99	8.90	0.59	57.77
5.51	0.80	1.13	8.91	0.62	60.61
5.74	1.00	1.41	8.94	0.64	62.99
5.93	1.20	1.69	8.97	0.66	64.83
6.29	1.40	1.97	8.99	0.70	68.59
6.66	1.60	2.25	9.02	0.74	72.40
6.68	1.80	2.54	9.04	0.74	72.42
6.81	2.00	2.82	9.07	0.75	73.62
6.95	2.20	3.10	9.10	0.76	74.97
7.12	2.45	3.45	9.13	0.78	76.46
6.36	2.66	3.75	9.16	0.69	68.06



Resultados suelo + 20%RAP M-1		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	0.78 kg/cm ²	76.46 kPa
Deformación en el instante de la falla	3.45%	
Consistencia q_u :	Mediana	

Anexo I.6: Compresión no confinada suelo + 20% de RAP M-2

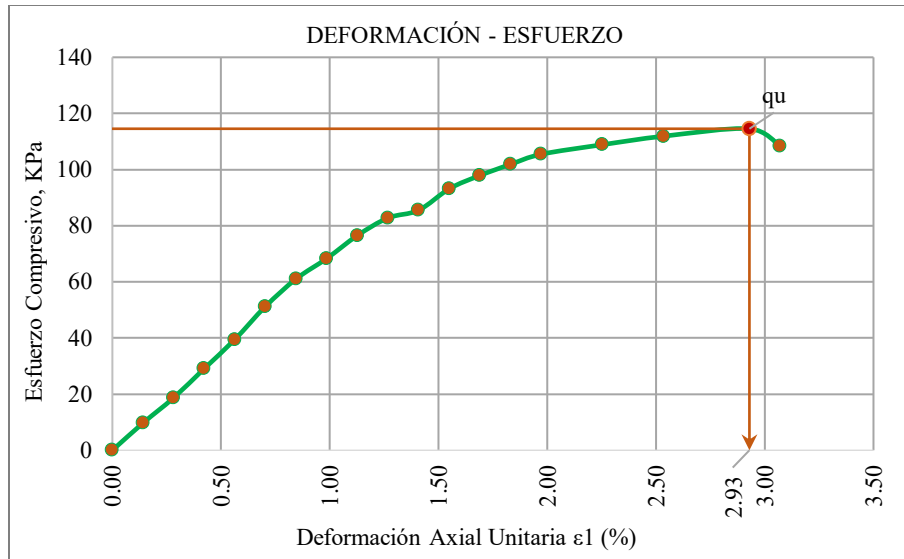
Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12	
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2	
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3	
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)			Y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ϵ_1 (%)	Área de la sección transversal media, A (cm2)	Esfuerzo compresivo, σ_c	
kgf	mm			kg/cm2	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.71	0.10	0.14	8.83	0.08	7.85
1.25	0.20	0.28	8.84	0.14	13.92
1.97	0.30	0.42	8.85	0.22	21.81
2.66	0.40	0.56	8.86	0.30	29.41
3.48	0.50	0.70	8.88	0.39	38.48
3.72	0.60	0.85	8.89	0.42	41.07
4.96	0.70	0.99	8.90	0.56	54.68
5.06	0.80	1.13	8.91	0.57	55.66
5.39	1.00	1.41	8.94	0.60	59.17
5.54	1.20	1.69	8.97	0.62	60.65
5.87	1.40	1.97	8.99	0.65	64.05
6.07	1.60	2.25	9.02	0.67	66.02
6.19	1.80	2.54	9.04	0.68	67.17
6.29	2.00	2.82	9.07	0.69	68.01
6.40	2.20	3.10	9.10	0.70	69.01
6.50	2.41	3.39	9.12	0.71	69.83
5.70	2.59	3.65	9.15	0.62	61.11



Resultados suelo + 20%RAP M-2		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	0.71 kg/cm ²	69.83 kPa
Deformación en el instante de la falla	3.39%	
Consistencia q_u :	Mediana	

Anexo I.7: Compresión no confinada suelo + 25% de RAP M-1

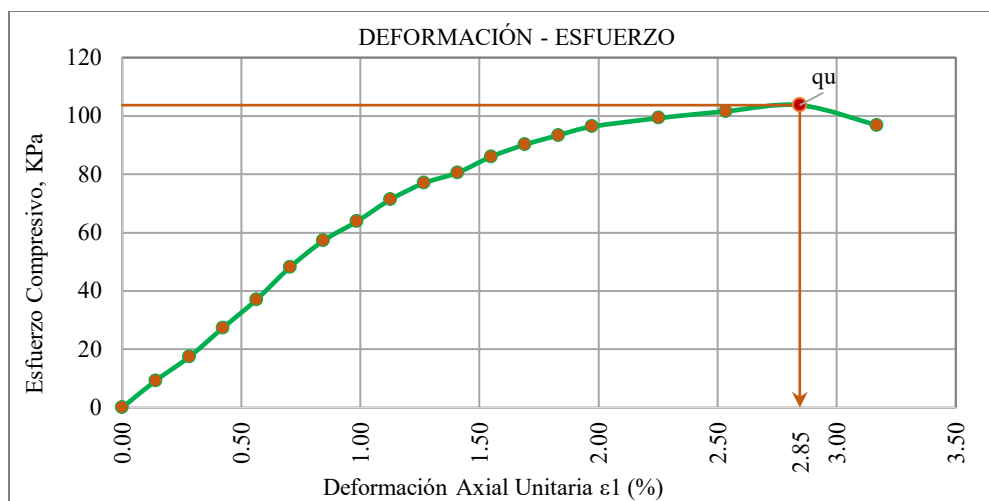
Condición del espécimen =	Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12		
Diámetro promedio =	33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2		
Longitud inicial =	71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3		
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)		Y = 136.29X - 52.804 (g)			
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria εl (%)	Área de la sección transversal media, A (cm2)	Esfuerzo compresivo, σc	
kgf	mm			kg/cm2	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.87	0.10	0.14	8.83	0.10	9.71
1.69	0.20	0.28	8.84	0.19	18.71
2.63	0.30	0.42	8.85	0.30	29.12
3.57	0.40	0.56	8.86	0.40	39.49
4.64	0.50	0.70	8.88	0.52	51.27
5.54	0.60	0.85	8.89	0.62	61.06
6.20	0.70	0.99	8.90	0.70	68.35
6.96	0.80	1.13	8.91	0.78	76.51
7.54	0.90	1.27	8.93	0.84	82.78
7.80	1.00	1.41	8.94	0.87	85.52
8.51	1.10	1.55	8.95	0.95	93.17
8.95	1.20	1.69	8.97	1.00	97.90
9.33	1.30	1.83	8.98	1.04	101.87
9.67	1.40	1.97	8.99	1.08	105.45
10.01	1.60	2.25	9.02	1.11	108.87
10.32	1.80	2.54	9.04	1.14	111.90
10.61	2.08	2.93	9.08	1.17	114.55
10.05	2.18	3.07	9.09	1.11	108.37



Resultados suelo + 25%RAP M-1		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	1.17 kg/cm ²	114.55 kPa
Deformación en el instante de la falla	2.93%	
Consistencia q_u :	Firme	

Anexo I.8: Compresión no confinada suelo + 25% de RAP M-2

Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12	
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2	
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3	
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)			Y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ε1 (%)	Área de la sección transversal media, A (cm2)	Esfuerzo compresivo, σc	
kgf	mm			kg/cm2	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.83	0.10	0.14	8.83	0.09	9.27
1.57	0.20	0.28	8.84	0.18	17.43
2.47	0.30	0.42	8.85	0.28	27.34
3.34	0.40	0.56	8.86	0.38	36.99
4.35	0.50	0.70	8.88	0.49	48.11
5.19	0.60	0.85	8.89	0.58	57.23
5.80	0.70	0.99	8.90	0.65	63.86
6.49	0.80	1.13	8.91	0.73	71.36
7.01	0.90	1.27	8.93	0.78	76.97
7.34	1.00	1.41	8.94	0.82	80.55
7.86	1.10	1.55	8.95	0.88	86.06
8.24	1.20	1.69	8.97	0.92	90.13
8.55	1.30	1.83	8.98	0.95	93.38
8.83	1.40	1.97	8.99	0.98	96.31
9.13	1.60	2.25	9.02	1.01	99.26
9.37	1.80	2.54	9.04	1.04	101.59
9.59	2.02	2.85	9.07	1.06	103.70
8.98	2.25	3.17	9.10	0.99	96.77

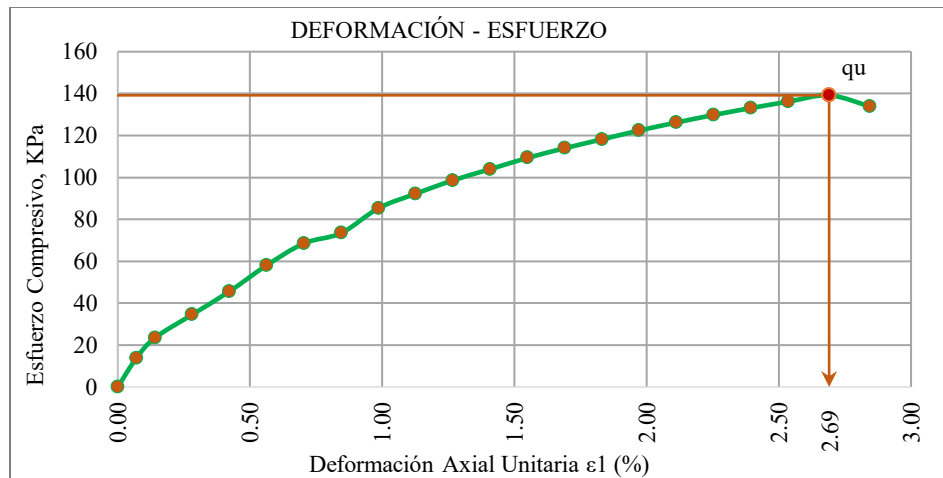


Resultados suelo + 25%RAP M-2

Resistencia a la Compresión no confinada q_u	1.06 kg/cm ²	103.70 kPa
Deformación en el instante de la falla	2.85%	
Consistencia q_u :	Firme	

Anexo I.9: Compresión no confinada suelo + 30% de RAP M-1

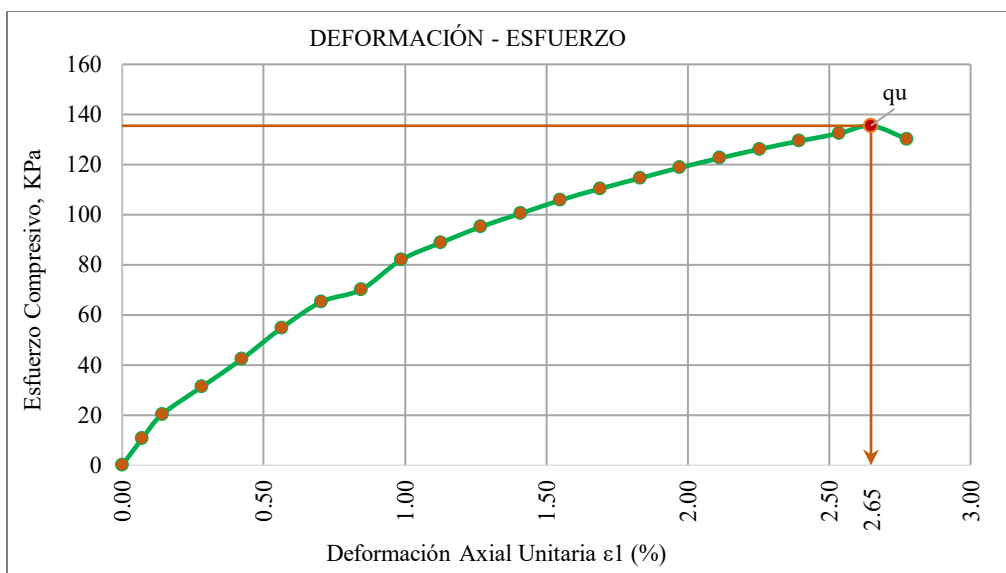
Condición del espécimen =	Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12		
Diámetro promedio =	33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2		
Longitud inicial =	71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3		
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)		Y = 136.29X - 52.804 (g)			
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ε1 (%)	Área de la sección transversal media, A (cm2)	Esfuerzo compresivo, σc	
kgf	mm			kg/cm2	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
1.24	0.05	0.07	8.82	0.14	13.81
2.11	0.10	0.14	8.83	0.24	23.49
3.12	0.20	0.28	8.84	0.35	34.57
4.12	0.30	0.42	8.85	0.47	45.62
5.25	0.40	0.56	8.86	0.59	58.07
6.20	0.50	0.70	8.88	0.70	68.53
6.66	0.60	0.85	8.89	0.75	73.47
7.74	0.70	0.99	8.90	0.87	85.30
8.38	0.80	1.13	8.91	0.94	92.22
8.98	0.90	1.27	8.93	1.01	98.61
9.47	1.00	1.41	8.94	1.06	103.92
9.98	1.10	1.55	8.95	1.11	109.30
10.41	1.20	1.69	8.97	1.16	113.91
10.82	1.30	1.83	8.98	1.20	118.14
11.22	1.40	1.97	8.99	1.25	122.36
11.59	1.50	2.11	9.00	1.29	126.19
11.93	1.60	2.25	9.02	1.32	129.79
12.25	1.70	2.39	9.03	1.36	133.08
12.55	1.80	2.54	9.04	1.39	136.14
12.85	1.91	2.69	9.06	1.42	139.17
12.38	2.02	2.85	9.07	1.36	133.79



Resultados suelo + 30%RAP M-1		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	1.42 kg/cm ²	139.17 kPa
Deformación en el instante de la falla	2.69%	
Consistencia q_u :	Firme	

Anexo I.10: Compresión no confinada suelo + 30% de RAP M-2

Condición del espécimen =	Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12		
Diámetro promedio =	33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2		
Longitud inicial =	71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3		
Ecuación para Carga Aplicada (X= Div. del dial)		Y = 136.29X - 52.804 (g)			
Carga Aplicada	Deformación	Deformación axial unitaria ε1 (%)	Área de la sección transversal media, A (cm2)	Esfuerzo compresivo, σc	
kgf	mm			kg/cm2	kPa
0.00	0.00	0.00	8.81	0.00	0.00
0.96	0.05	0.07	8.82	0.11	10.63
1.82	0.10	0.14	8.83	0.21	20.26
2.82	0.20	0.28	8.84	0.32	31.33
3.82	0.30	0.42	8.85	0.43	42.34
4.95	0.40	0.56	8.86	0.56	54.76
5.90	0.50	0.70	8.88	0.66	65.19
6.35	0.60	0.85	8.89	0.71	70.10
7.43	0.70	0.99	8.90	0.84	81.91
8.07	0.80	1.13	8.91	0.91	88.80
8.66	0.90	1.27	8.93	0.97	95.16
9.16	1.00	1.41	8.94	1.02	100.44
9.66	1.10	1.55	8.95	1.08	105.79
10.09	1.20	1.69	8.97	1.13	110.37
10.49	1.30	1.83	8.98	1.17	114.57
10.89	1.40	1.97	8.99	1.21	118.76
11.25	1.50	2.11	9.00	1.25	122.57
11.60	1.60	2.25	9.02	1.29	126.14
11.92	1.70	2.39	9.03	1.32	129.40
12.21	1.80	2.54	9.04	1.35	132.43
12.51	1.88	2.65	9.05	1.38	135.49
12.03	1.97	2.77	9.07	1.33	130.12



Resultados suelo + 30%RAP M-2		
Resistencia a la Compresión no confinada q_u	1.38 kg/cm ²	135.49 kPa
Deformación en el instante de la falla		2.65%
Consistencia q_u :	Firme	

Anexo J: Módulo de Poisson

Anexo J.1: Módulo de Poisson de suelo natural M-1

Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =		2.12
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =		8.81 cm2
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =		62.58 cm3
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)			y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Div dial	Deformación axial unitaria ε _l (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson ν
kgf	mm				
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.26	0.20	2.30	0.28	0.06	0.21
0.59	0.40	4.70	0.56	0.13	0.23
0.82	0.60	6.40	0.85	0.22	0.26
1.24	0.80	9.50	1.13	0.31	0.28
1.75	1.00	13.20	1.41	0.42	0.30
2.20	1.30	16.50	1.83	0.57	0.31
2.56	1.60	19.20	2.25	0.71	0.32
2.58	1.90	19.30	2.68	0.88	0.33
2.75	2.20	20.60	3.10	1.02	0.33
2.80	2.50	20.90	3.52	1.26	0.36
2.86	2.80	21.40	3.94	1.51	0.38
2.90	3.10	21.70	4.37	1.75	0.40
2.96	3.44	22.10	4.85	1.98	0.41
2.33	3.68	17.50	5.18	1.82	0.35

Anexo J.2: Módulo de Poisson de suelo natural M-2

Condición del espécimen =	Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12		
Diámetro promedio =	33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2		
Longitud inicial =	71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3		
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)		y = 136.29X - 52.804 (g)			
Carga Aplicada	Deformación	Div dial	Deformación axial unitaria ε1 (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson v
kgf	mm				
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.29	0.20	2.50	0.28	0.04	0.14
0.63	0.40	5.00	0.56	0.11	0.20
0.81	0.60	6.30	0.85	0.20	0.24
1.26	0.80	9.60	1.13	0.28	0.25
1.84	1.00	13.90	1.41	0.41	0.29
2.29	1.30	17.20	1.83	0.54	0.29
2.58	1.60	19.30	2.25	0.68	0.30
2.67	1.90	20.00	2.68	0.84	0.31
2.77	2.20	20.70	3.10	1.00	0.32
2.84	2.50	21.20	3.52	1.15	0.33
2.93	2.80	21.90	3.94	1.35	0.34
2.96	3.10	22.10	4.37	1.68	0.38
3.01	3.29	22.50	4.63	1.81	0.39
2.97	3.51	22.20	4.94	1.76	0.36

Anexo J.3: Módulo de Poisson de suelo +15% de RAP M-1

Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12	
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2	
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3	
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)			y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Div dial	Deformación axial unitaria ε1 (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson v
kgf	mm				
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.62	0.20	4.90	0.28	0.06	0.21
1.09	0.40	8.40	0.56	0.13	0.23
1.57	0.60	11.90	0.85	0.20	0.24
1.88	0.80	14.20	1.13	0.28	0.25
2.74	1.00	20.50	1.41	0.36	0.26
3.52	1.20	26.20	1.69	0.45	0.27
3.94	1.40	29.30	1.97	0.58	0.29
4.29	1.60	31.90	2.25	0.69	0.31
4.39	1.80	32.60	2.54	0.81	0.32
4.43	2.00	32.90	2.82	0.94	0.33
4.50	2.20	33.40	3.10	1.07	0.35
4.57	2.40	33.90	3.38	1.21	0.36
4.61	2.60	34.20	3.66	1.35	0.37
4.68	2.81	34.70	3.96	1.49	0.38
4.20	2.95	31.20	4.15	1.35	0.32

Anexo J.4: Módulo de Poisson de suelo +15% de RAP M-2

Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =		2.12
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =		8.81 cm2
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =		62.58 cm3
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)			y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Div dial	Deformación axial unitaria ε _l (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson ν
kgf	mm				
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.66	0.20	5.20	0.28	0.05	0.18
1.19	0.40	9.10	0.56	0.11	0.20
1.60	0.60	12.10	0.85	0.19	0.22
1.86	0.80	14.00	1.13	0.26	0.23
2.65	1.00	19.80	1.41	0.34	0.24
3.44	1.20	25.60	1.69	0.44	0.26
3.98	1.40	29.60	1.97	0.56	0.28
4.27	1.60	31.70	2.25	0.66	0.29
4.47	1.80	33.20	2.54	0.75	0.30
4.55	2.00	33.80	2.82	0.87	0.31
4.59	2.20	34.10	3.10	0.99	0.32
4.68	2.40	34.70	3.38	1.14	0.34
4.72	2.60	35.00	3.66	1.29	0.35
4.74	2.74	35.20	3.86	1.39	0.36
4.47	3.10	33.20	4.37	1.28	0.29

Anexo J.5: Módulo de Poisson de suelo +20% de RAP M-1

Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =		2.12
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =		8.81 cm2
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =		62.58 cm3
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)			y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada	Deformación	Div dial	Deformación axial unitaria ε1 (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson v
kgf	mm				
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.87	0.10	6.80	0.14	0.03	0.21
1.43	0.20	10.90	0.28	0.06	0.21
2.14	0.30	16.10	0.42	0.09	0.21
2.78	0.40	20.80	0.56	0.13	0.23
3.55	0.50	26.40	0.70	0.17	0.24
4.24	0.60	31.50	0.85	0.21	0.25
5.07	0.70	37.60	0.99	0.26	0.26
5.52	0.80	40.90	1.13	0.30	0.27
5.75	1.00	42.60	1.41	0.40	0.28
5.90	1.20	43.70	1.69	0.48	0.28
6.34	1.40	46.90	1.97	0.57	0.29
6.78	1.60	50.10	2.25	0.66	0.29
6.79	1.80	50.20	2.54	0.75	0.30
6.87	2.00	50.80	2.82	0.86	0.31
6.98	2.20	51.60	3.10	0.97	0.31
7.13	2.45	52.70	3.45	1.10	0.32
6.28	2.66	46.50	3.75	1.05	0.28

Anexo J.6: Módulo de Poisson de suelo +20% de RAP M-2

Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =		2.12
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =		8.81 cm2
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =		62.58 cm3
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)			y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada kgf	Deformación mm	Div dial	Deformación axial unitaria ε1 (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson ν
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.82	0.10	6.40	0.14	0.02	0.14
1.34	0.20	10.20	0.28	0.05	0.18
2.10	0.30	15.80	0.42	0.08	0.19
2.81	0.40	21.00	0.56	0.12	0.21
3.48	0.50	25.90	0.70	0.15	0.21
4.06	0.60	30.20	0.85	0.19	0.22
4.91	0.70	36.40	0.99	0.22	0.22
5.34	0.80	39.60	1.13	0.26	0.23
5.59	1.00	41.40	1.41	0.33	0.23
5.67	1.20	42.00	1.69	0.40	0.24
5.74	1.40	42.50	1.97	0.49	0.25
5.83	1.60	43.20	2.25	0.58	0.26
6.34	1.80	46.90	2.54	0.69	0.27
6.50	2.00	48.10	2.82	0.80	0.28
6.61	2.20	48.90	3.10	0.90	0.29
6.68	2.39	49.40	3.37	1.00	0.30
6.35	2.58	47.00	3.63	1.05	0.29

Anexo J.7: Módulo de Poisson de suelo +25% de RAP M-1

Condición del espécimen =	Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12		
Diámetro promedio =	33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2		
Longitud inicial =	71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3		
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)		y = 136.29X - 52.804 (g)			
Carga Aplicada	Deformación	Div dial	Deformación axial unitaria ϵ_1 (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson ν
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
0.81	0.10	6.30	0.14	0.021	0.15
1.56	0.20	11.80	0.28	0.045	0.16
2.48	0.30	18.60	0.42	0.081	0.19
3.45	0.40	25.70	0.56	0.110	0.20
4.57	0.50	33.90	0.70	0.150	0.21
5.56	0.60	41.20	0.85	0.180	0.21
6.22	0.70	46.00	0.99	0.210	0.21
6.87	0.80	50.80	1.13	0.250	0.22
7.44	0.90	55.00	1.27	0.280	0.22
7.69	1.00	56.80	1.41	0.310	0.22
8.38	1.10	61.90	1.55	0.350	0.23
8.86	1.20	65.40	1.69	0.390	0.23
9.31	1.30	68.70	1.83	0.440	0.24
9.64	1.40	71.10	1.97	0.500	0.25
9.92	1.60	73.20	2.25	0.560	0.25
10.25	1.80	75.60	2.54	0.670	0.26
10.48	2.05	77.30	2.89	0.800	0.28
9.62	2.21	71.00	3.11	0.850	0.27

Anexo J.8: Módulo de Poisson de suelo +25% de RAP M-2

Condición del espécimen =	Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12		
Diámetro promedio =	33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2		
Longitud inicial =	71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3		
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)		y = 136.29X - 52.804 (g)			
Carga Aplicada kgf	Deformación mm	Div dial	Deformación axial unitaria ε1 (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson ν
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
0.75	0.10	5.90	0.14	0.020	0.14
1.47	0.20	11.20	0.28	0.045	0.16
2.35	0.30	17.60	0.42	0.070	0.17
3.26	0.40	24.30	0.56	0.100	0.18
4.39	0.50	32.60	0.70	0.130	0.18
5.54	0.60	41.00	0.85	0.160	0.19
6.19	0.70	45.80	0.99	0.200	0.20
6.79	0.80	50.20	1.13	0.220	0.20
7.39	0.90	54.60	1.27	0.250	0.20
7.73	1.00	57.10	1.41	0.300	0.21
8.03	1.10	59.30	1.55	0.320	0.21
8.51	1.20	62.80	1.69	0.370	0.22
8.85	1.30	65.30	1.83	0.430	0.23
9.32	1.40	68.80	1.97	0.480	0.24
9.68	1.60	71.40	2.25	0.570	0.25
9.98	1.80	73.60	2.54	0.640	0.25
10.25	2.02	75.60	2.85	0.750	0.26
9.62	2.21	71.00	3.11	0.790	0.25

Anexo J.9: Módulo de Poisson de suelo +30% de RAP M-1

Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12	
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A0) =	8.81 cm2	
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3	
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)			y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada kgf	Deformación mm	Div dial	Deformación axial unitaria εl (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson v
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
1.24	0.05	9.45	0.07	0.010	0.14
1.87	0.10	14.10	0.14	0.024	0.17
2.93	0.20	21.90	0.28	0.050	0.18
3.89	0.30	28.90	0.42	0.075	0.18
4.55	0.40	33.80	0.56	0.105	0.19
5.09	0.50	37.70	0.70	0.140	0.20
6.13	0.60	45.40	0.85	0.170	0.20
6.79	0.70	50.20	0.99	0.210	0.21
7.48	0.80	55.30	1.13	0.240	0.21
8.08	0.90	59.70	1.27	0.260	0.21
9.05	1.00	66.80	1.41	0.310	0.22
9.50	1.10	70.10	1.55	0.350	0.23
10.06	1.20	74.20	1.69	0.390	0.23
10.65	1.30	78.50	1.83	0.430	0.23
10.97	1.40	80.90	1.97	0.480	0.24
11.19	1.50	82.50	2.11	0.510	0.24
11.48	1.60	84.60	2.25	0.560	0.25
11.79	1.70	86.90	2.39	0.590	0.25
11.89	1.80	87.60	2.54	0.670	0.26
12.12	1.89	89.30	2.66	0.730	0.27
11.59	1.95	85.40	2.75	0.710	0.26

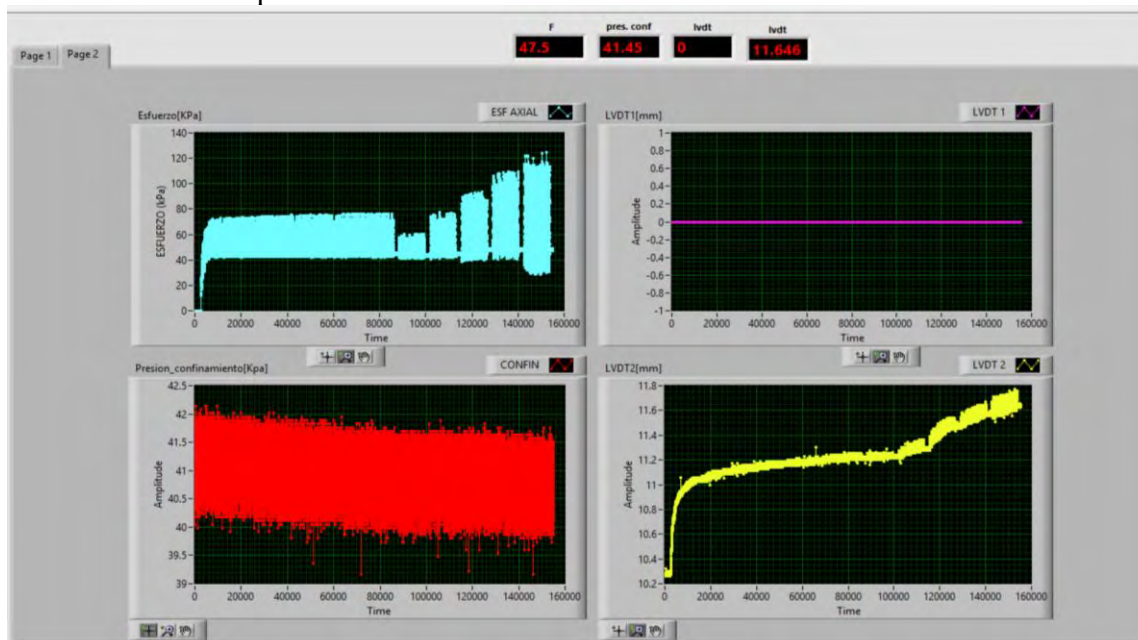
Anexo J.10: Módulo de Poisson de suelo +30% de RAP M-2

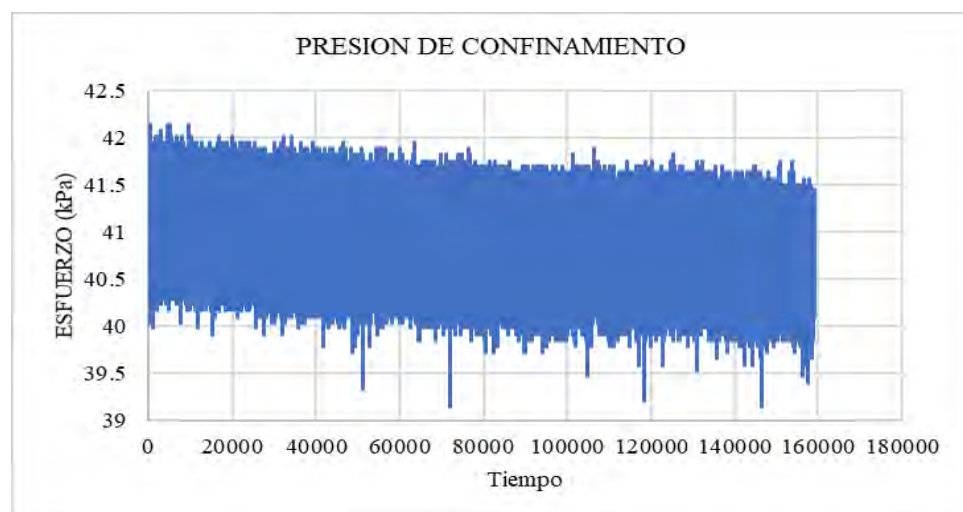
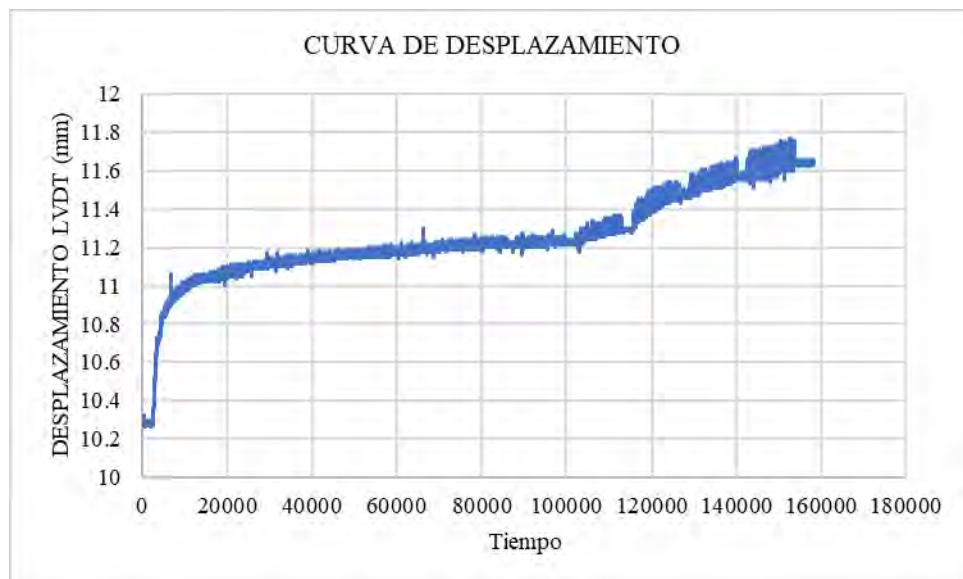
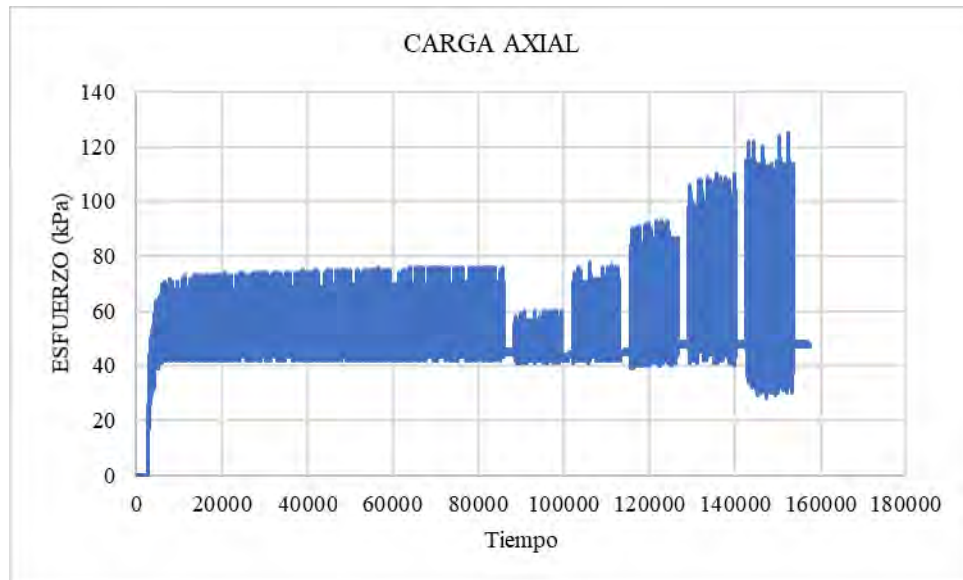
Condición del espécimen =		Compactado	Relación (Lo/D) =	2.12	
Diámetro promedio =		33.5 mm	Área inicial promedio (A ₀) =	8.81 cm2	
Longitud inicial =		71.0 mm	Volumen =	62.58 cm3	
Ecuación para Carga Aplicada (X=div del dial)			y = 136.29X - 52.804 (g)		
Carga Aplicada kgf	Deformación mm	Div dial	Deformación axial unitaria εl (%)	Deformación Lateral (%)	Módulo de Poisson ν
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
1.32	0.05	10.10	0.07	0.011	0.15
2.02	0.10	15.20	0.14	0.022	0.16
3.05	0.20	22.80	0.28	0.045	0.16
4.01	0.30	29.80	0.42	0.070	0.17
4.77	0.40	35.40	0.56	0.100	0.18
5.34	0.50	39.60	0.70	0.130	0.18
6.33	0.60	46.80	0.85	0.160	0.19
7.02	0.70	51.90	0.99	0.200	0.20
7.69	0.80	56.80	1.13	0.220	0.20
8.36	0.90	61.70	1.27	0.250	0.20
9.30	1.00	68.60	1.41	0.290	0.21
9.88	1.10	72.90	1.55	0.320	0.21
10.31	1.20	76.00	1.69	0.380	0.22
10.74	1.30	79.20	1.83	0.400	0.22
11.04	1.40	81.40	1.97	0.430	0.22
11.34	1.50	83.60	2.11	0.480	0.23
11.70	1.60	86.20	2.25	0.540	0.24
12.16	1.70	89.60	2.39	0.570	0.24
12.40	1.80	91.40	2.54	0.630	0.25
12.50	1.95	92.10	2.75	0.700	0.25
12.21	2.09	90.00	2.94	0.680	0.23

Anexo K: Módulo Resiliente

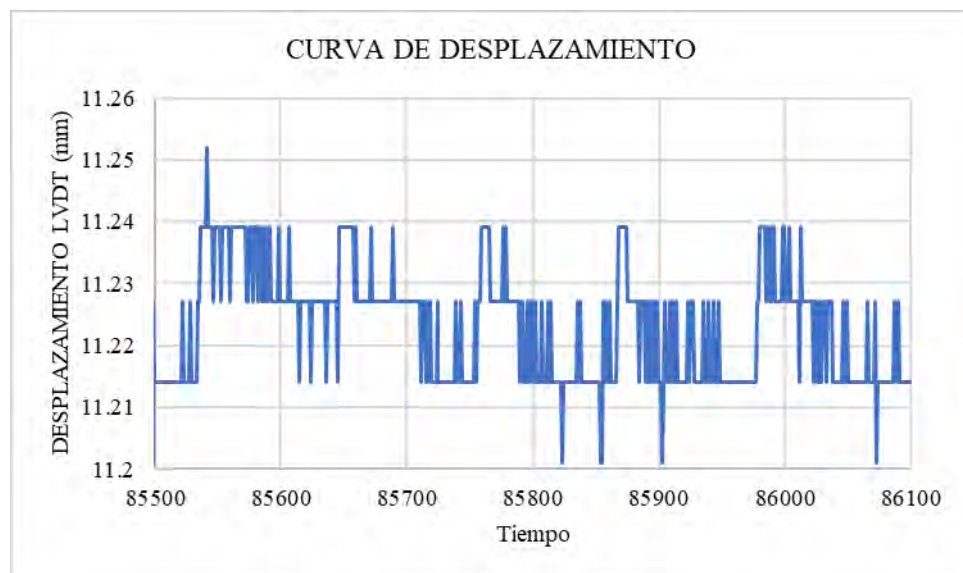
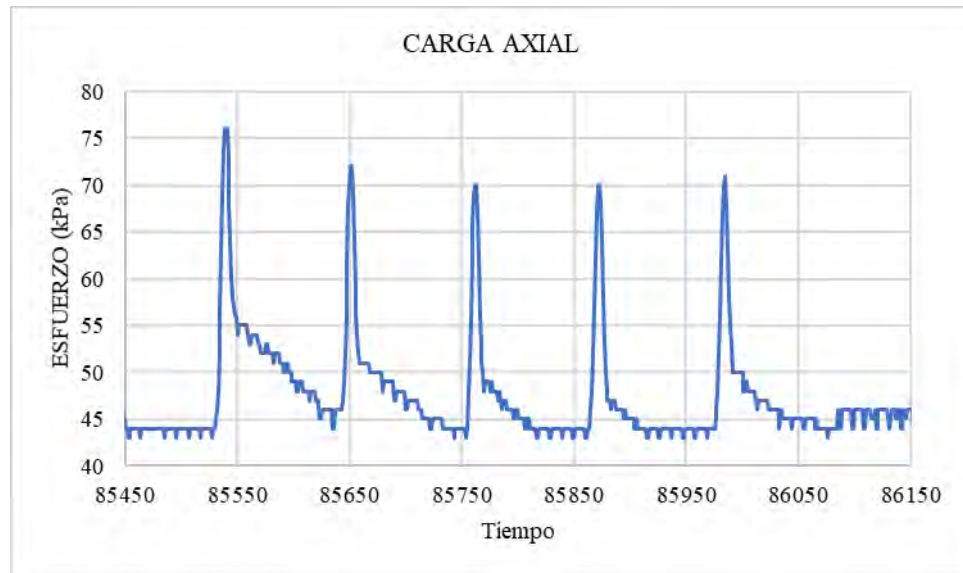
Anexo K.1: Módulo Resiliente del suelo natural

Anexo K.1.1: Para una presión de confinamiento de $P = 41.4$ kPa



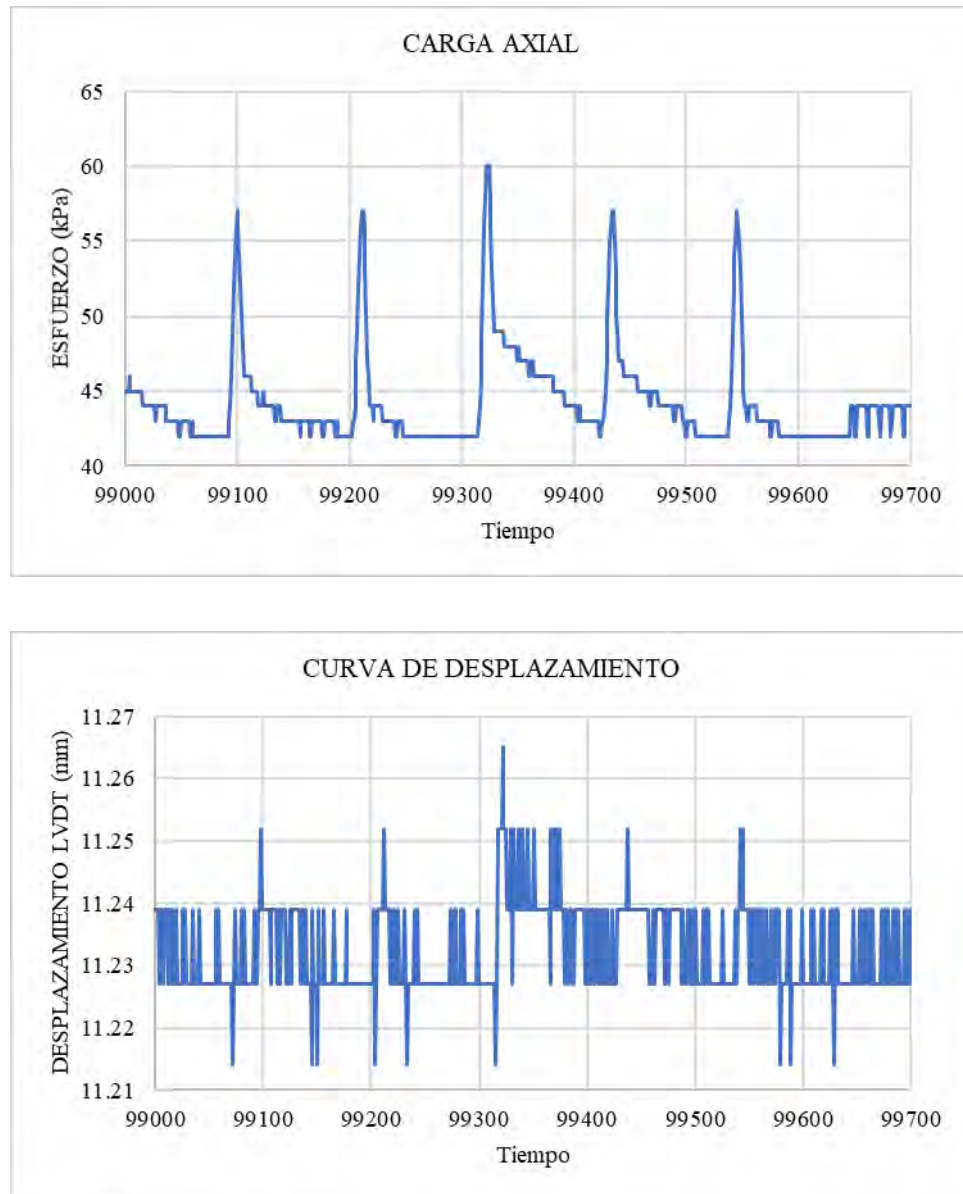


Anexo K.1.1.1: Secuencia 0 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



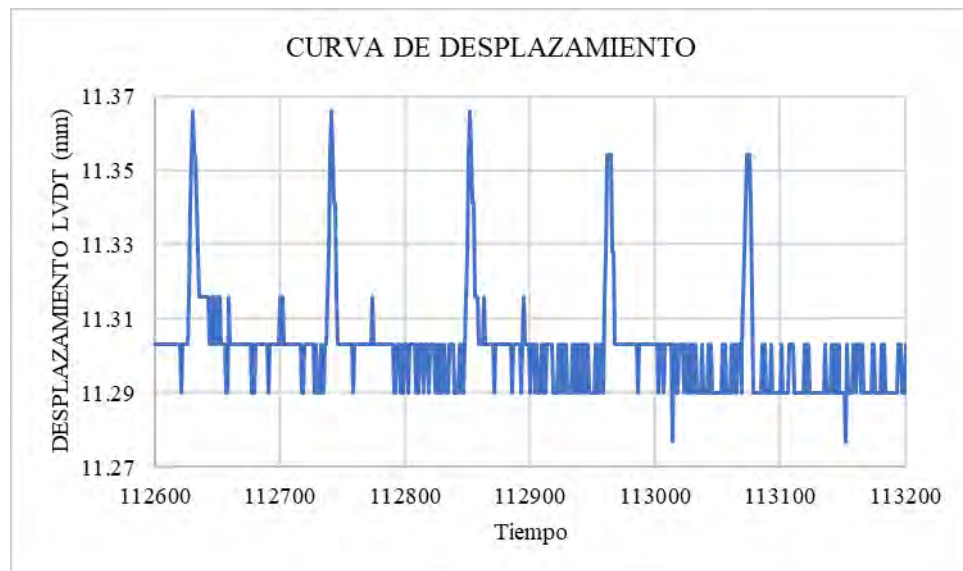
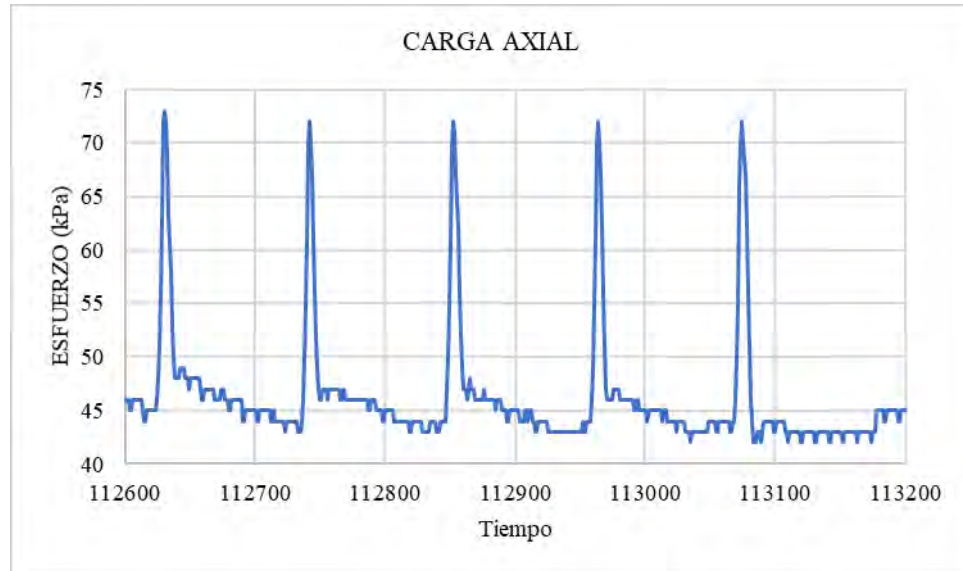
Secuencia 0				
Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
746	11.252	11.227	76.0000	46.00000
747	11.239	11.214	72.0000	44.00000
748	11.239	11.214	70.0000	44.00000
749	11.239	11.214	70.0000	44.00000
750	11.239	11.214	71.0000	46.00000

Anexo K.1.1.2: Secuencia 1 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



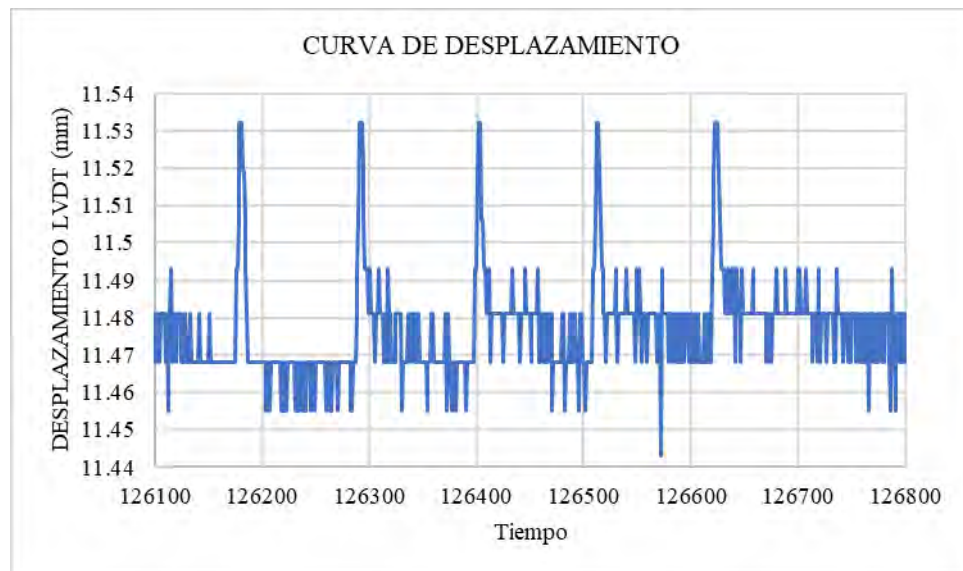
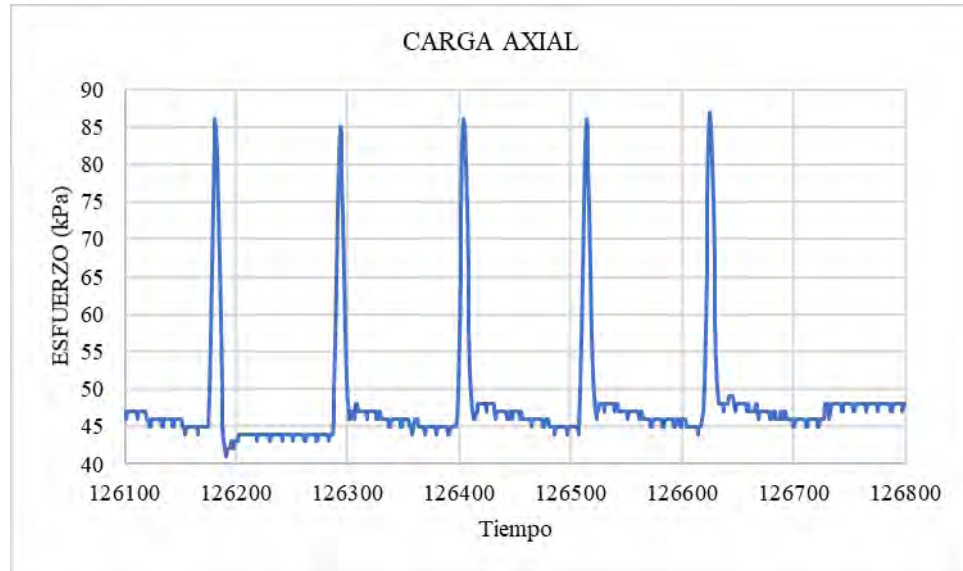
Secuencia 1				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.252	11.227	57.0000	42.00000
97	11.252	11.227	57.0000	42.00000
98	11.265	11.239	60.0000	43.00000
99	11.252	11.227	57.0000	42.00000
100	11.252	11.227	57.0000	44.00000

Anexo K.1.1.3: Secuencia 2 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



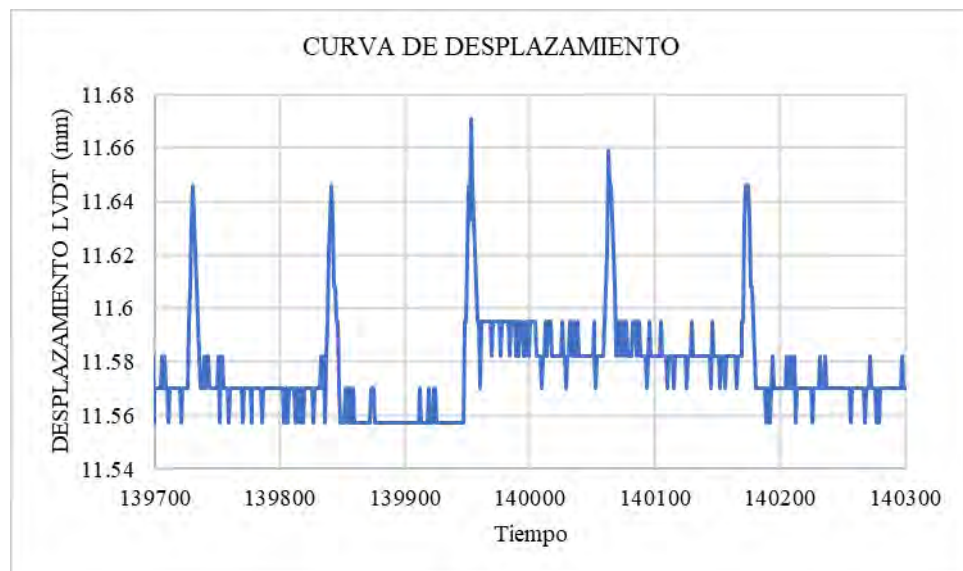
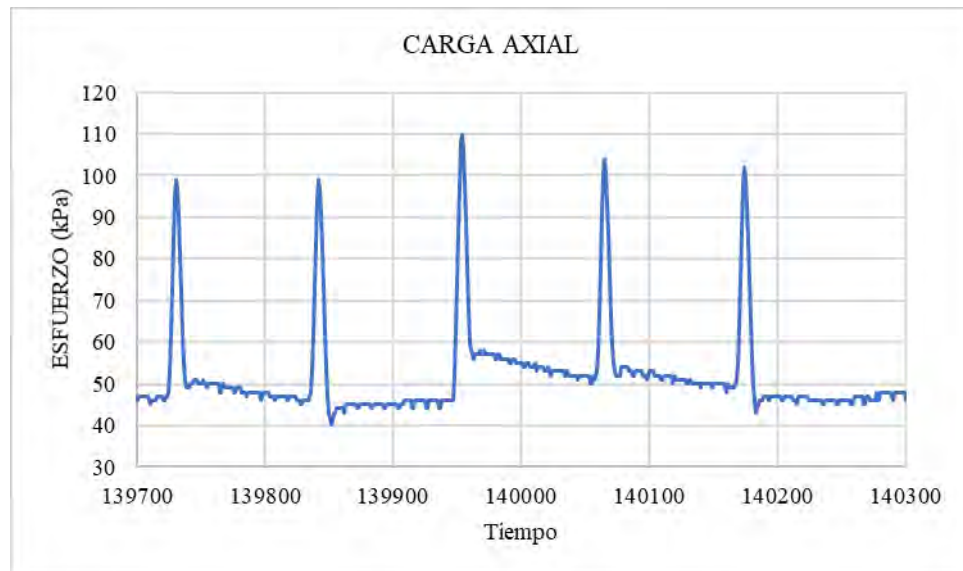
Secuencia 2				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.366	11.303	73.0000	44.00000
97	11.366	11.303	72.0000	44.00000
98	11.366	11.29	72.0000	43.00000
99	11.354	11.29	72.0000	44.00000
100	11.354	11.29	72.0000	45.00000

Anexo K.1.1.4: Secuencia 3 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



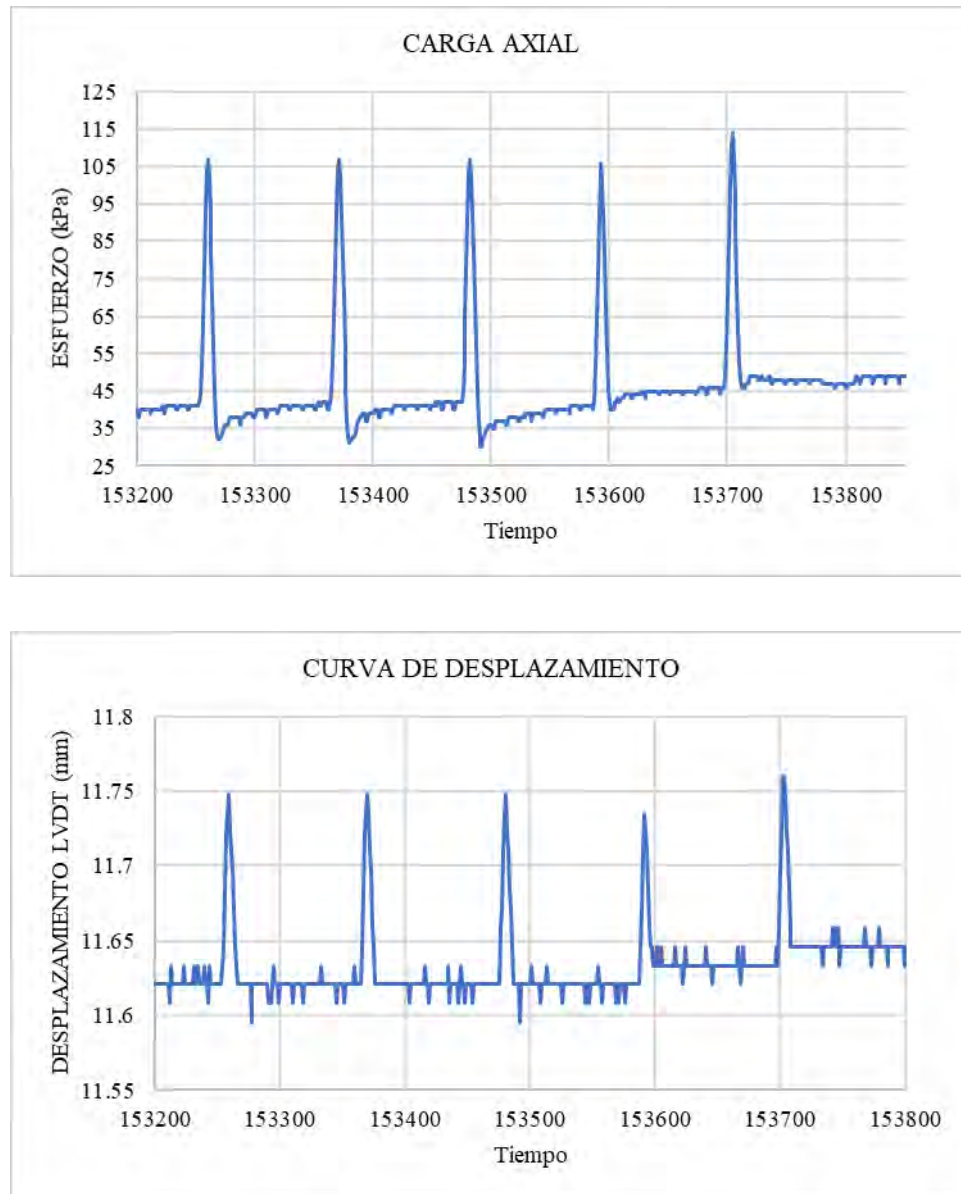
Secuencia 3				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.532	11.468	86.0000	44.00000
97	11.532	11.468	85.0000	45.00000
98	11.532	11.468	86.0000	45.00000
99	11.532	11.468	86.0000	46.00000
100	11.532	11.468	87.0000	48.00000

Anexo K.1.1.5: Secuencia 4 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



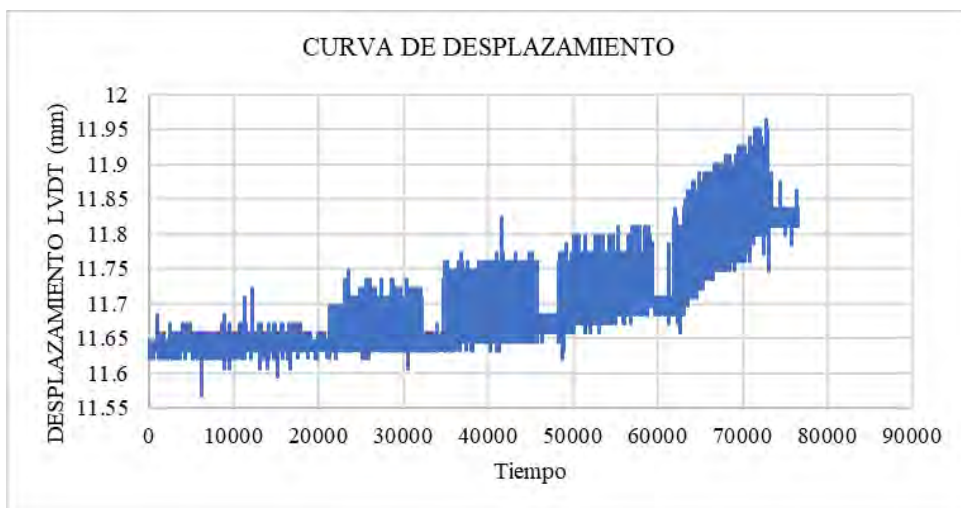
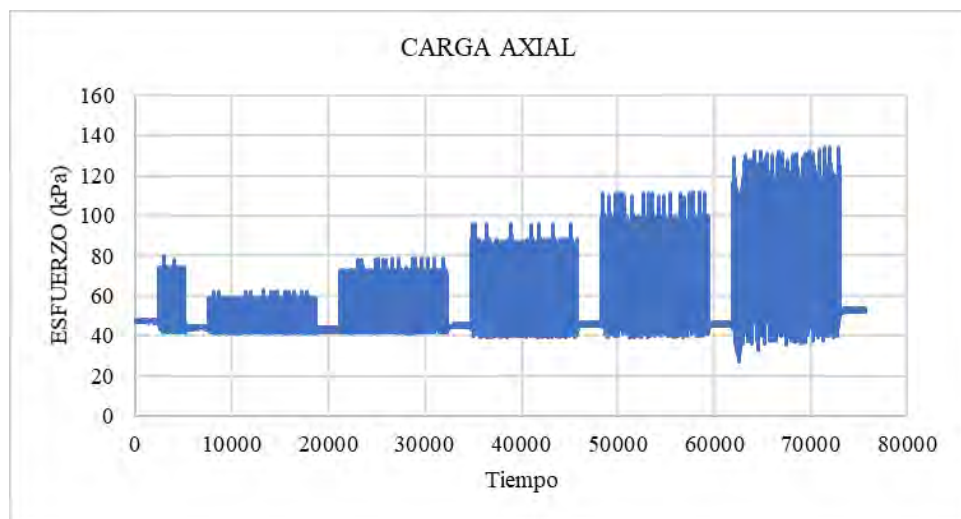
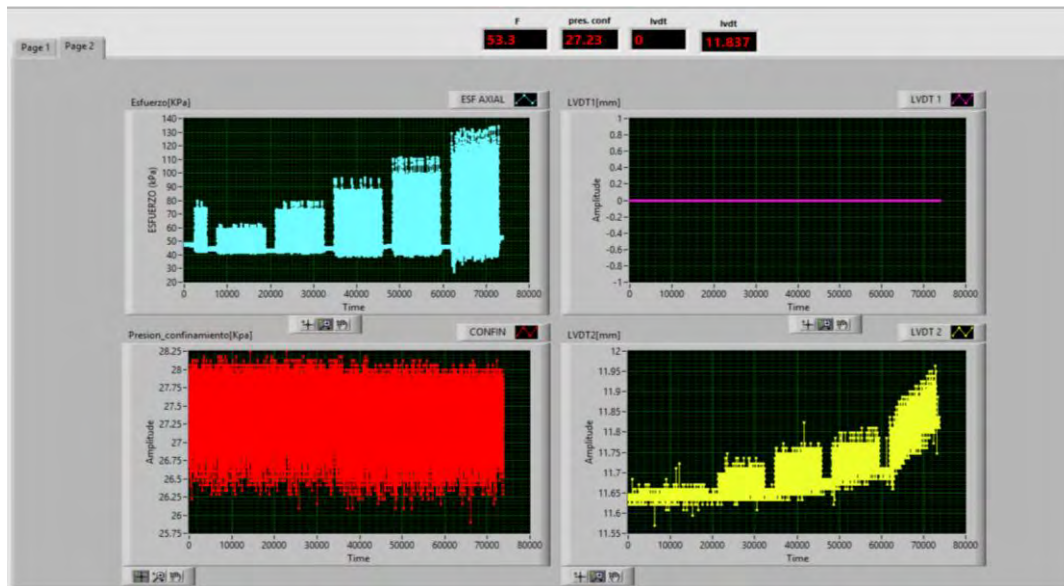
Secuencia 4				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.646	11.57	99.0000	47.00000
97	11.646	11.557	99.0000	46.00000
98	11.671	11.582	110.0000	52.00000
99	11.659	11.582	104.0000	50.00000
100	11.646	11.57	102.0000	48.00000

Anexo K.1.1.6: Secuencia 5 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT

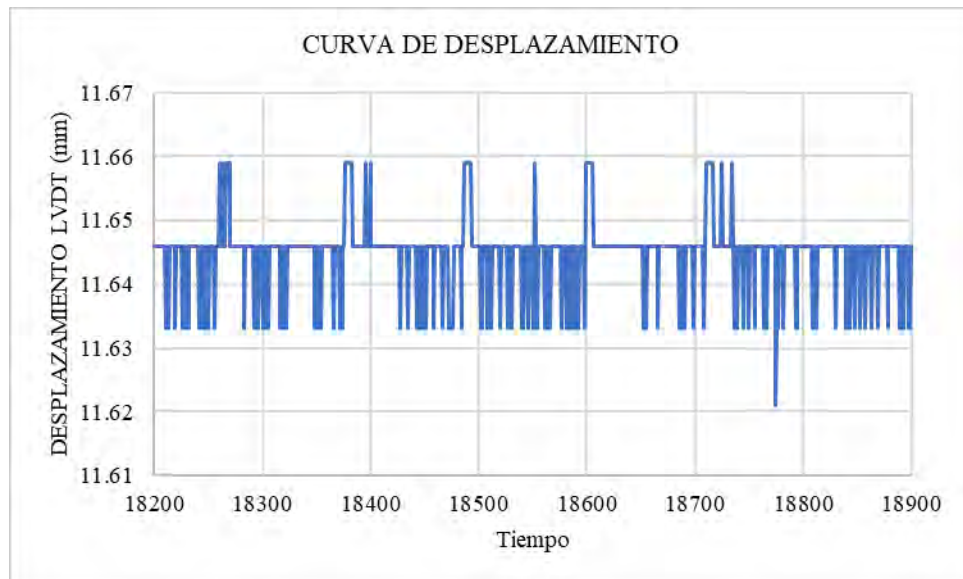
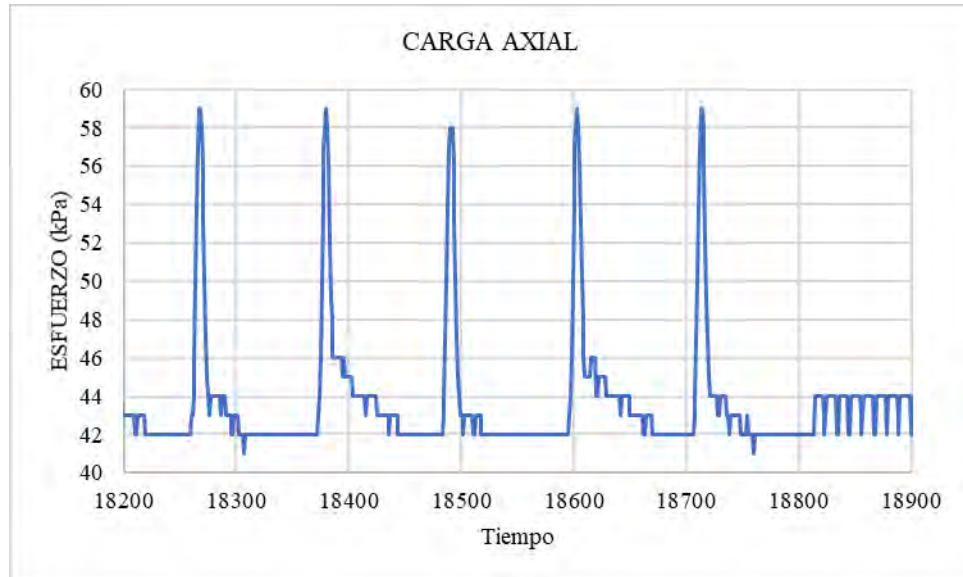


Secuencia 5				
Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.748	11.621	107.0000	42.00000
97	11.748	11.621	107.0000	42.00000
98	11.748	11.621	107.0000	41.00000
99	11.735	11.633	106.0000	46.00000
100	11.76	11.646	114.0000	47.00000

Anexo K.1.2: Para una presión de confinamiento de $P = 27.6 \text{ kPa}$

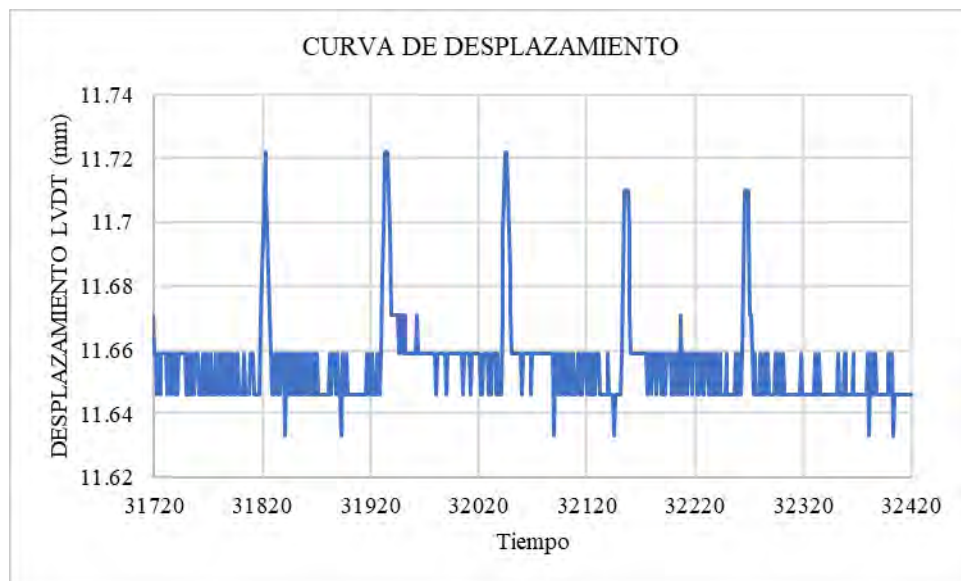
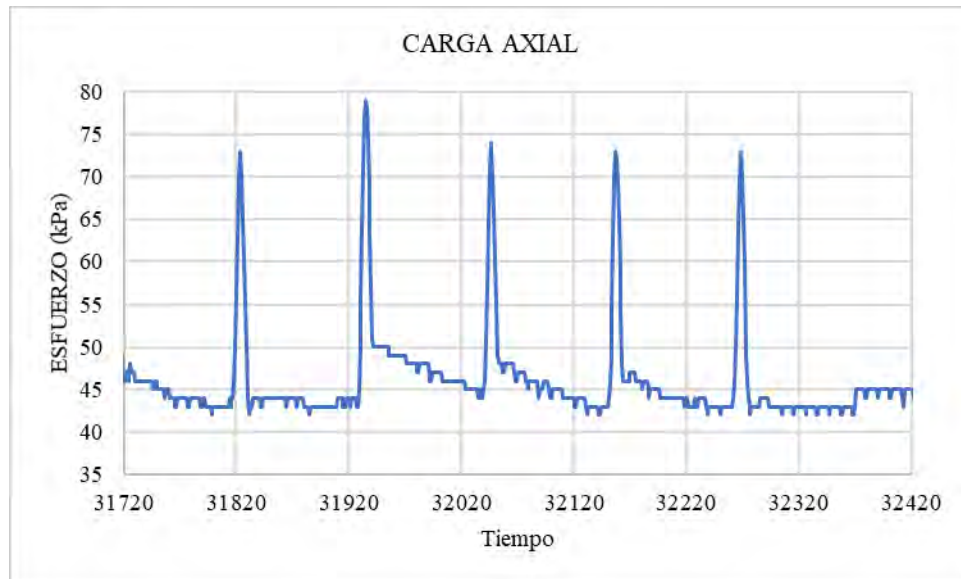


Anexo K.1.2.1: Secuencia 6 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



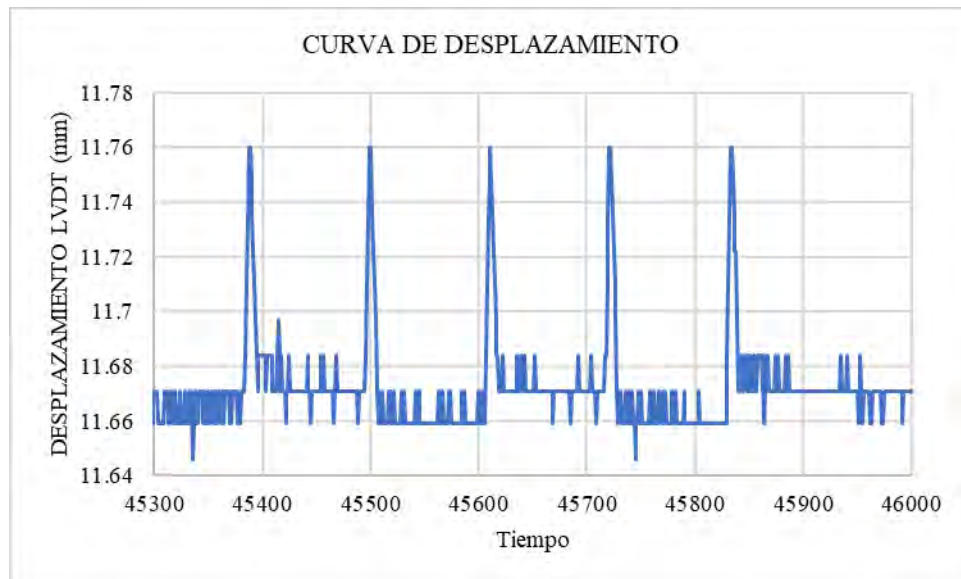
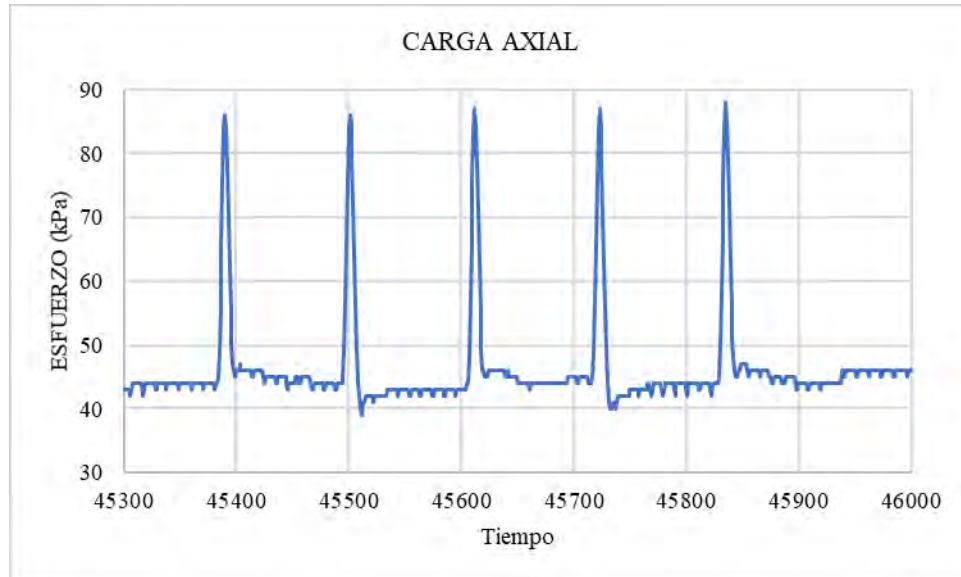
Secuencia 6				
Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.659	11.646	59.0000	42.00000
97	11.659	11.646	59.0000	42.00000
98	11.659	11.646	58.0000	42.00000
99	11.659	11.646	59.0000	42.00000
100	11.659	11.646	59.0000	44.00000

Anexo K.1.2.2: Secuencia 7 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



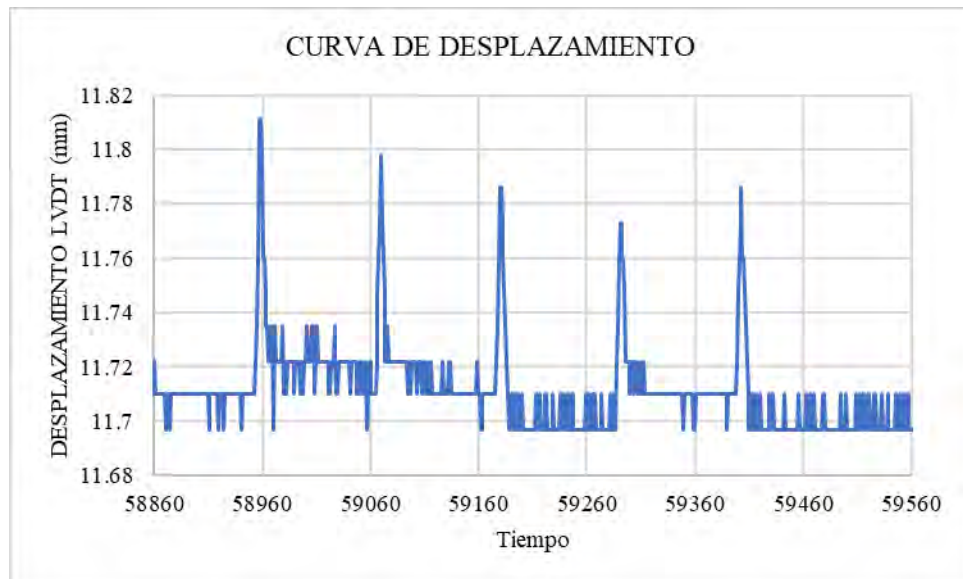
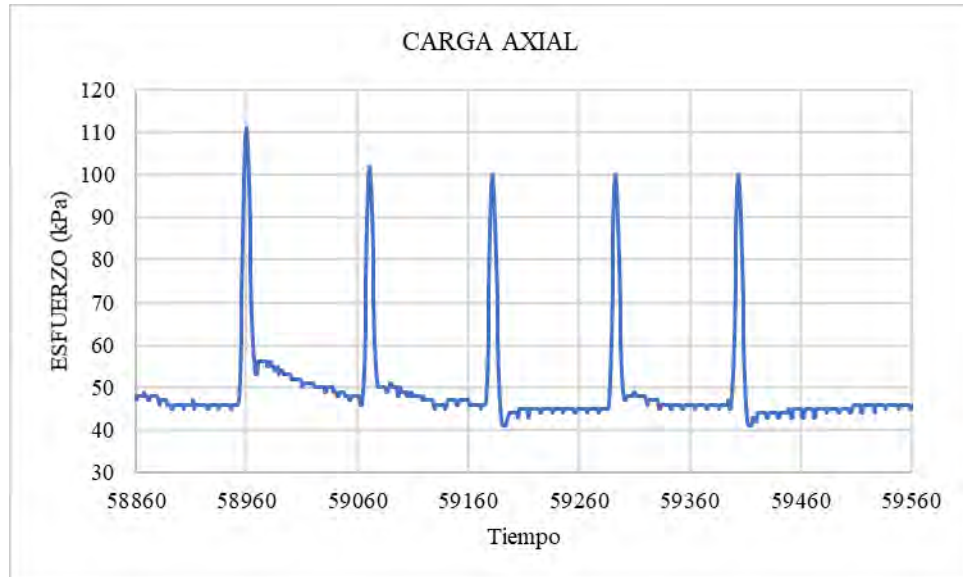
Secuencia 7				
Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.722	11.646	73.0000	44.00000
97	11.722	11.659	79.0000	45.00000
98	11.722	11.646	74.0000	43.00000
99	11.71	11.646	73.0000	43.00000
100	11.71	11.646	73.0000	45.00000

Anexo K.1.2.3: Secuencia 8 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



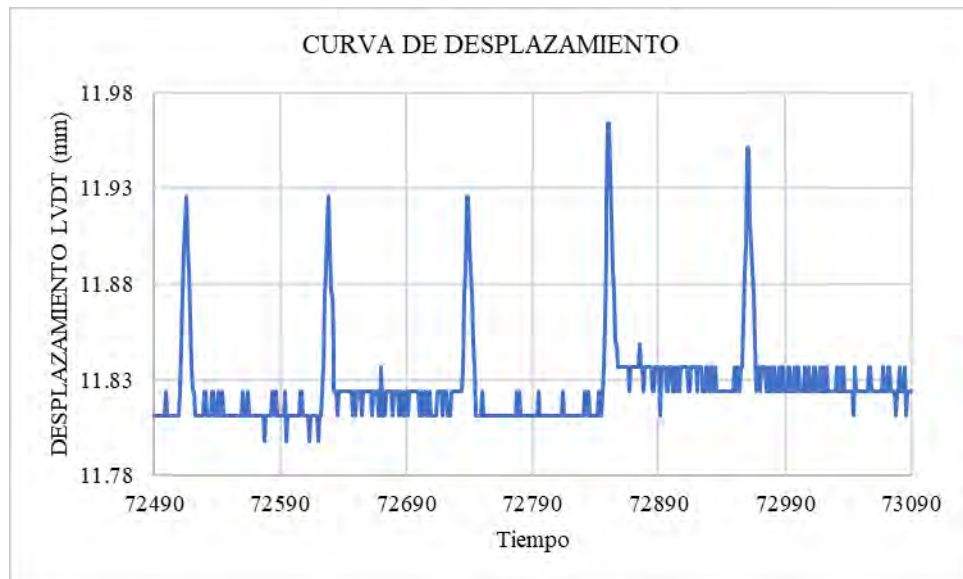
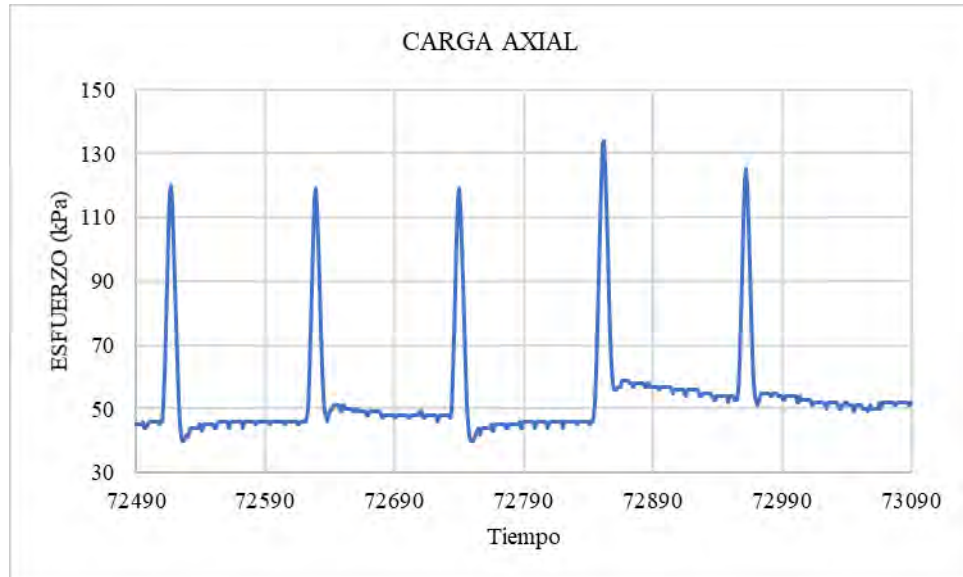
Secuencia 8				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.76	11.671	86.0000	44.00000
97	11.76	11.659	86.0000	43.00000
98	11.76	11.671	87.0000	45.00000
99	11.76	11.659	87.0000	44.00000
100	11.76	11.671	88.0000	46.00000

Anexo K.1.2.4: Secuencia 9 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



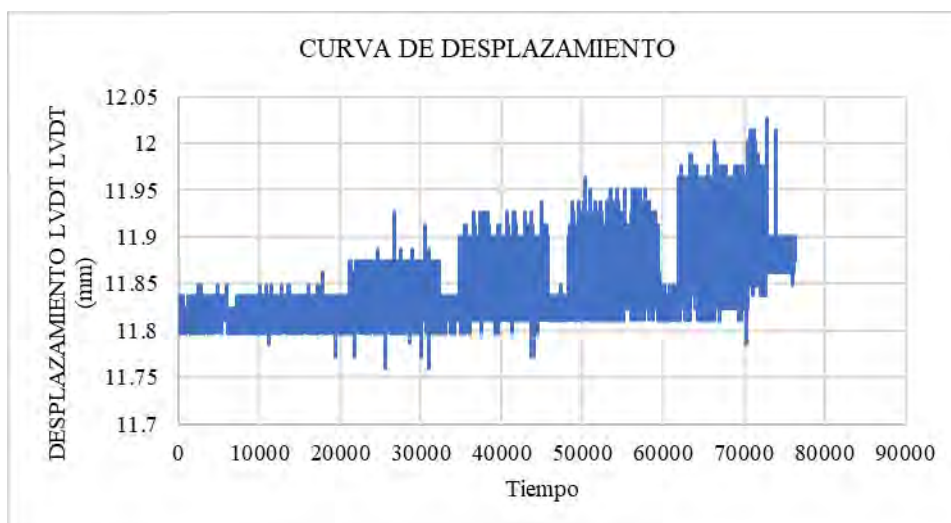
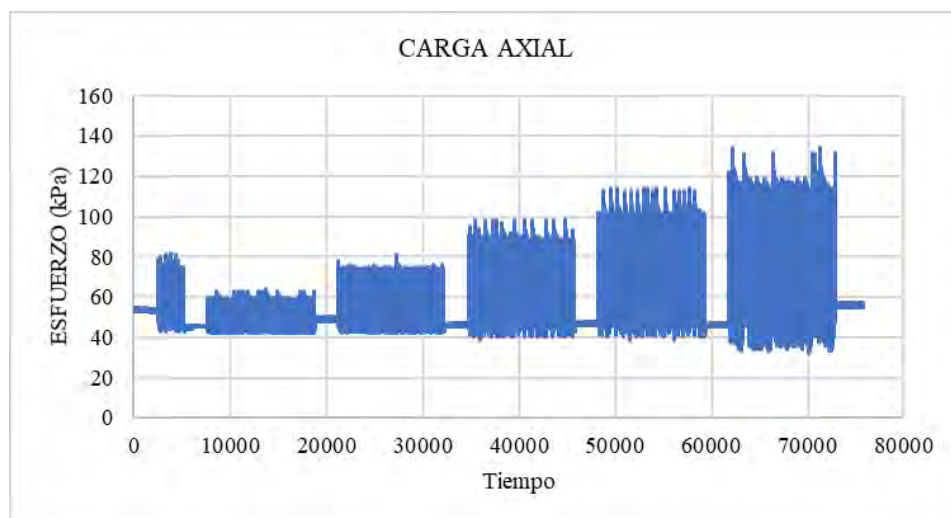
Secuencia 9				
Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.801	11.722	111.0000	48.00000
97	11.798	11.71	102.0000	47.00000
98	11.786	11.697	100.0000	45.00000
99	11.773	11.71	100.0000	46.00000
100	11.786	11.697	100.0000	46.00000

Anexo K.1.2.5: Secuencia 10 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT

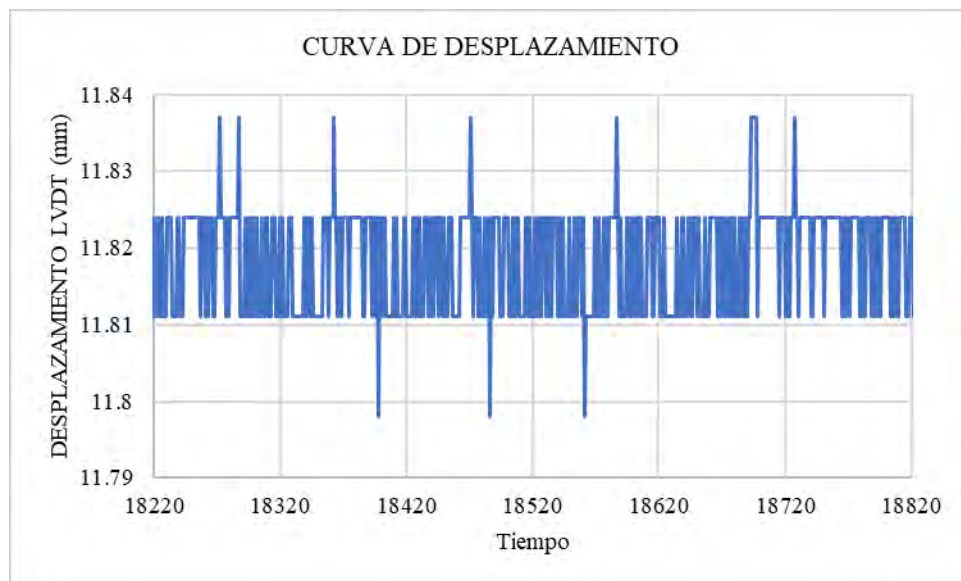
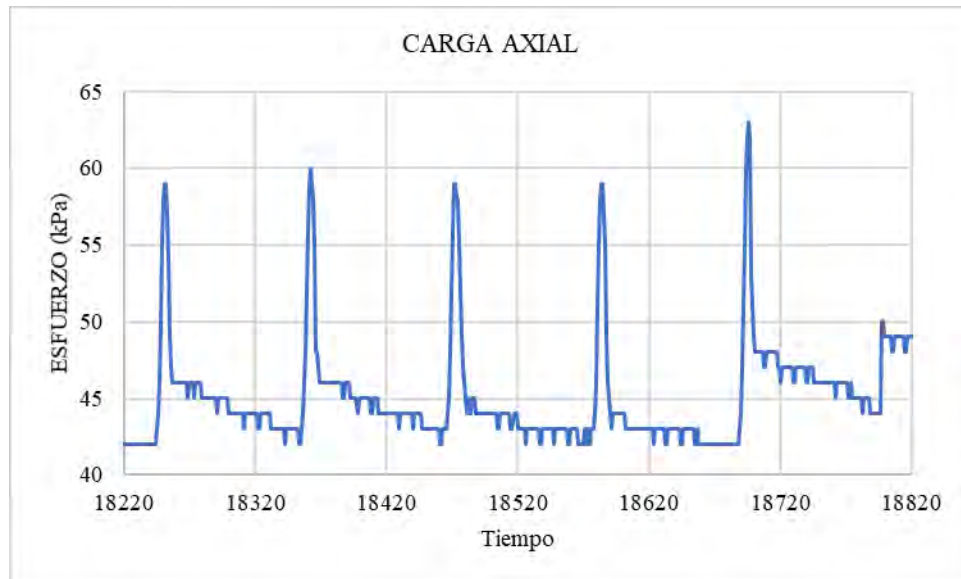


Secuencia 10				
Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.926	11.811	120.0000	46.00000
97	11.926	11.824	119.0000	48.00000
98	11.926	11.811	119.0000	46.00000
99	11.964	11.837	134.0000	54.00000
100	11.951	11.824	125.0000	52.00000

Anexo K.1.3: Para una presión de confinamiento de $P = 13.8 \text{ kPa}$

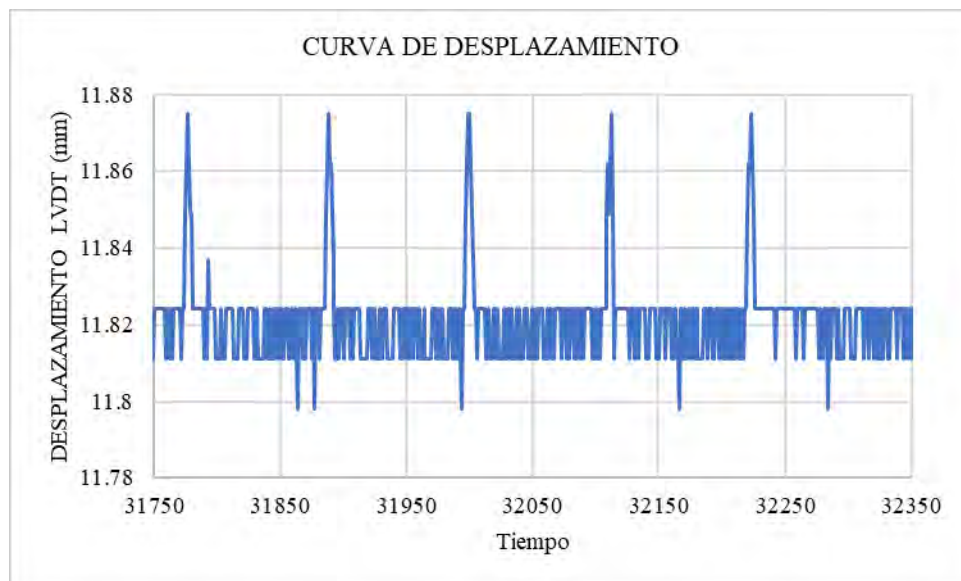
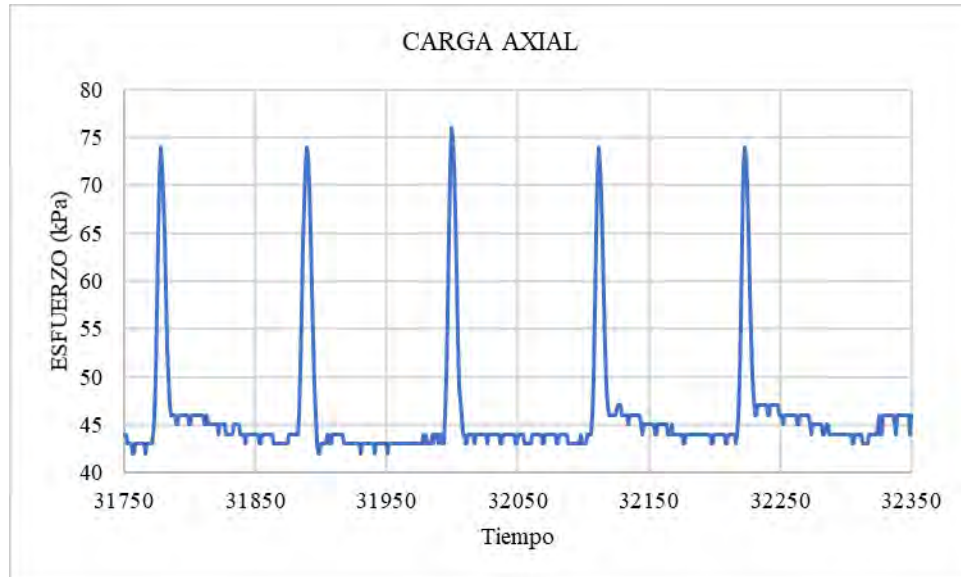


Anexo K.1.3.1: Secuencia 11 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



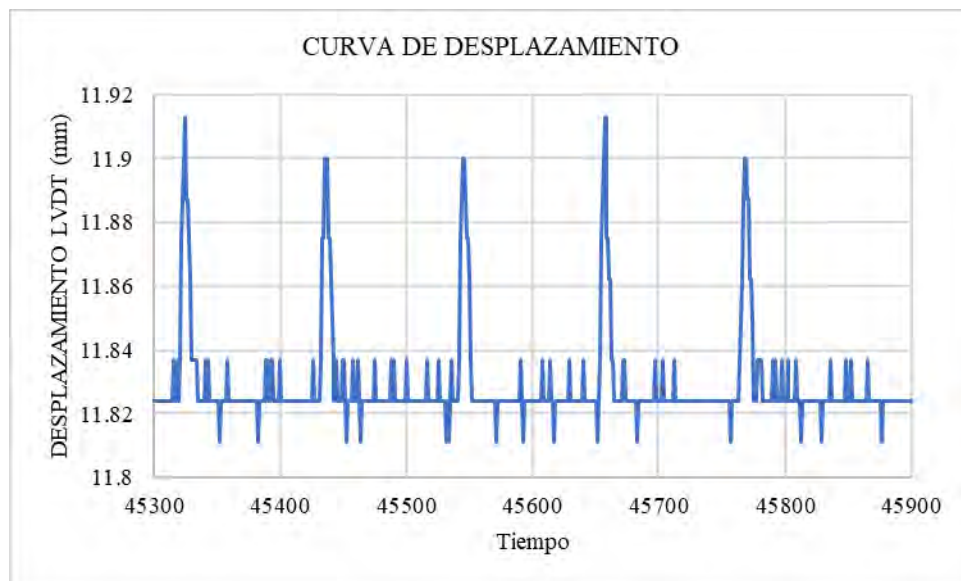
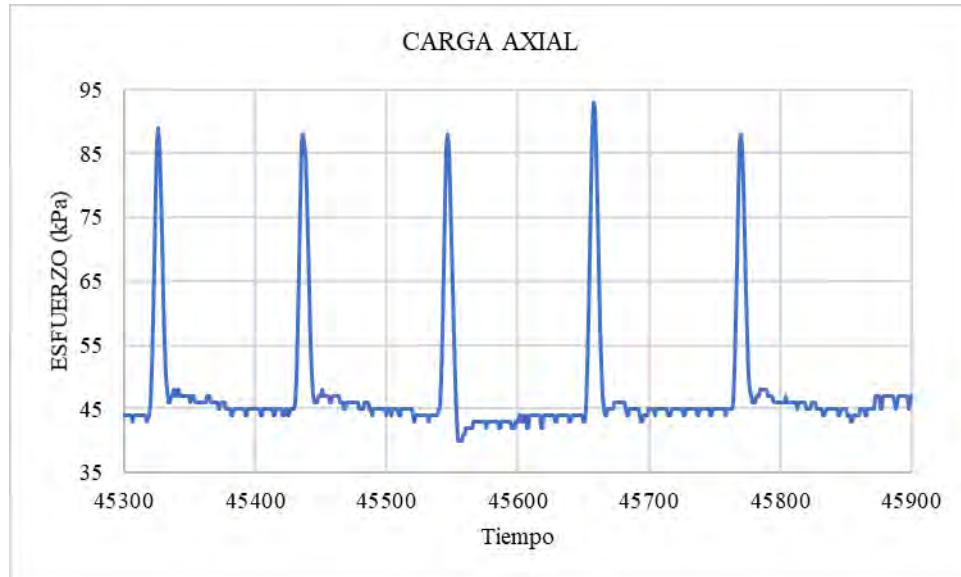
Secuencia 11				
Presión Confinamiento $P = 13.8 \text{ kPa}$				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	$\sigma_1 \text{ max}$	$\sigma_1 \text{ inferior}$
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.837	11.824	59.0000	43.00000
97	11.837	11.824	60.0000	43.00000
98	11.837	11.824	59.0000	43.00000
99	11.837	11.824	59.0000	42.00000
100	11.837	11.824	63.0000	44.00000

Anexo K.1.3.2: Secuencia 12 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



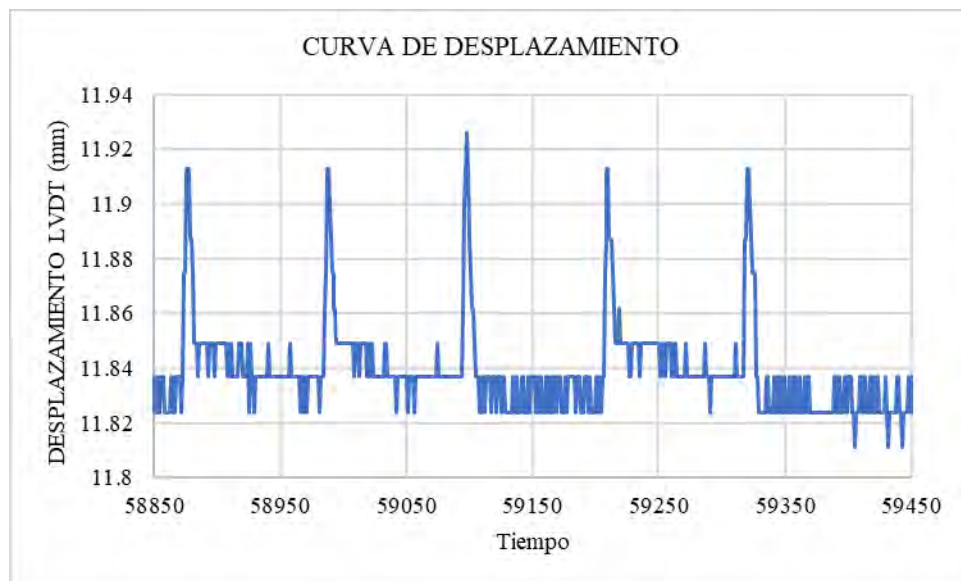
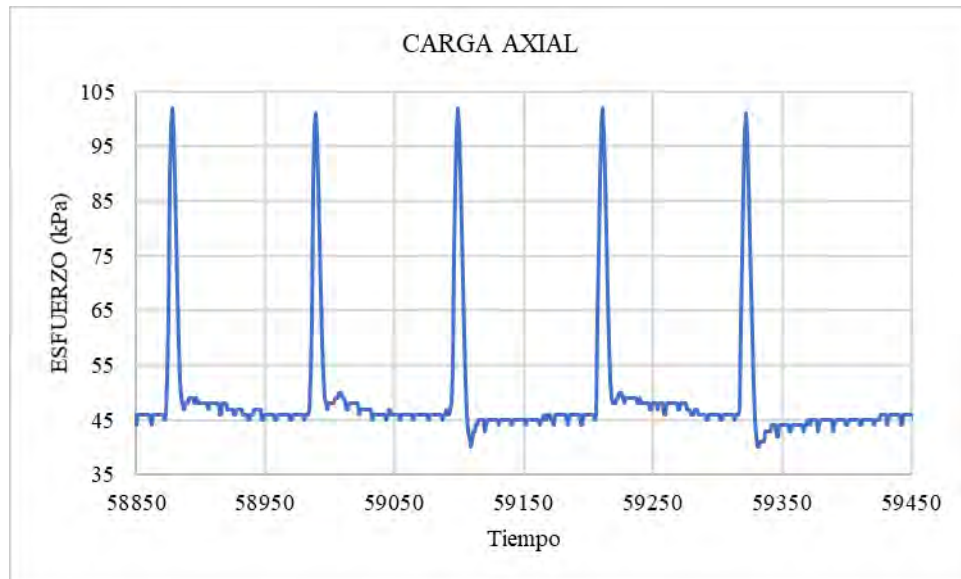
Secuencia 12				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.875	11.824	74.0000	44.00000
97	11.875	11.824	74.0000	44.00000
98	11.875	11.824	76.0000	44.00000
99	11.875	11.824	74.0000	44.00000
100	11.875	11.824	74.0000	46.00000

Anexo K.1.3.3: Secuencia 13 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



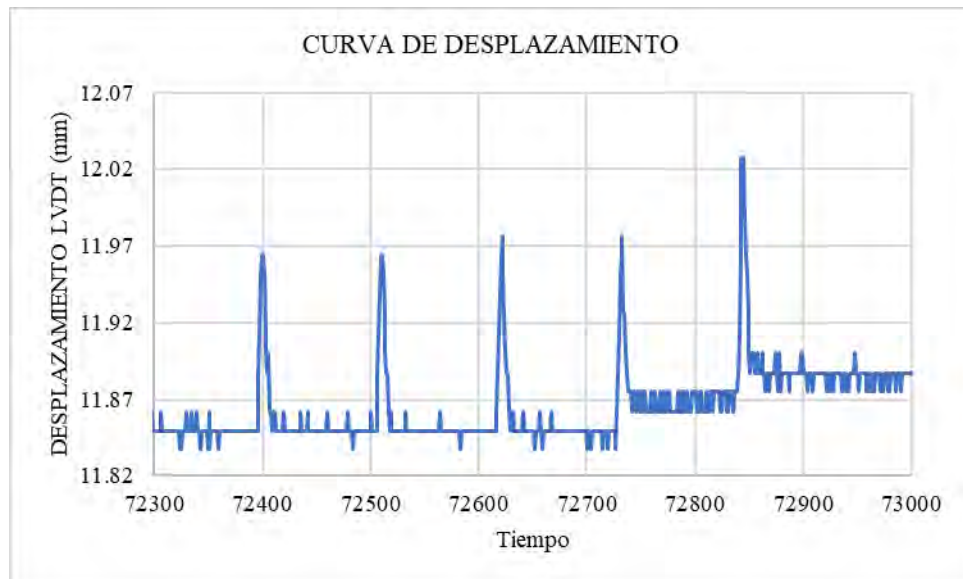
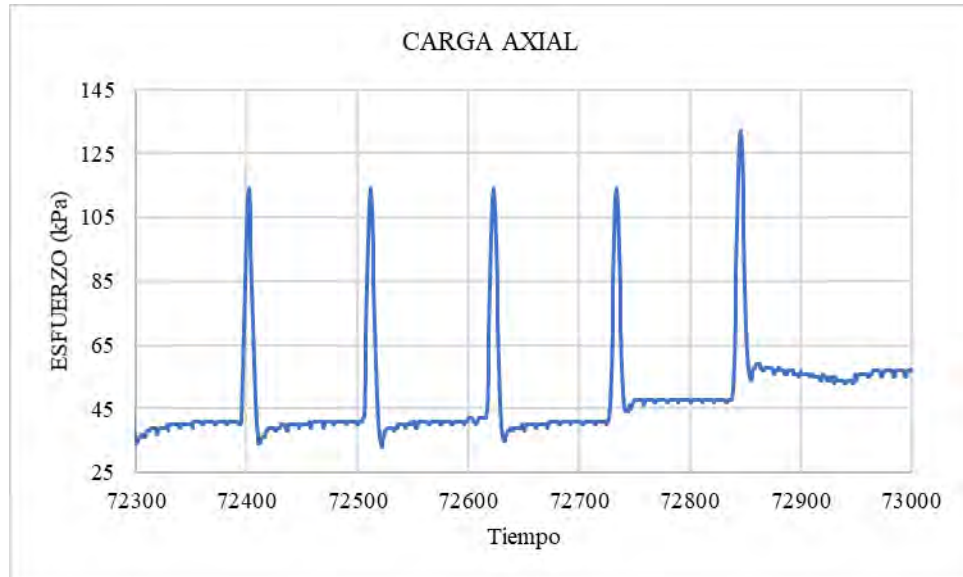
Secuencia 13				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.913	11.824	89.0000	45.00000
97	11.9	11.824	88.0000	44.00000
98	11.9	11.824	88.0000	44.00000
99	11.913	11.824	93.0000	45.00000
100	11.9	11.824	88.0000	47.00000

Anexo K.1.3.4: Secuencia 14 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



Secuencia 14				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.913	11.837	102.0000	46.00000
97	11.913	11.837	101.0000	46.00000
98	11.926	11.837	102.0000	46.00000
99	11.913	11.837	102.0000	46.00000
100	11.913	11.824	101.0000	47.00000

Anexo K.1.3.5: Secuencia 15 Gráficas y tabla de las secuencias de esfuerzos y LVDT



Secuencia 15				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 max	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.964	11.849	114.0000	41.00000
97	11.964	11.849	114.0000	42.00000
98	11.976	11.849	114.0000	41.00000
99	11.976	11.862	114.0000	48.00000
100	12.027	11.887	132.0000	57.00000

Anexo K.1.4: Resultados del Módulo Resiliente MR para suelo natural al 95% de compactación

Secuencia 0										
Presión de Confinamiento = 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
746	30.090	11.878	18.212	76.0000	30.0000	46.00000	0.025	0.0176	170400	0.197183099
747	28.506	11.086	17.420	72.0000	28.0000	44.00000	0.025	0.0176	159040	0.188028169
748	27.714	10.294	17.420	70.0000	26.0000	44.00000	0.025	0.0176	147680	0.188028169
749	27.714	10.294	17.420	70.0000	26.0000	44.00000	0.025	0.0176	147680	0.188028169
750	28.110	9.898	18.212	71.0000	25.0000	46.00000	0.025	0.0176	142000	0.188028169
Promedio	28.427	10.69	17.7372	71.800	27.0000	44.80000	0.025	0.0176	153360	0.189859155
Des. Est	0.881754	0.708242	0.387920	2.227106	1.788854	0.979796	0.000000	0.000000	10160.7	0.003662

Secuencia 1										
Presión de Confinamiento = 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	22.567	5.939	16.629	57.0000	15.0000	42.00000	0.025	0.0176	85200	0.197183099
97	22.567	5.939	16.629	57.0000	15.0000	42.00000	0.025	0.0176	85200	0.197183099
98	23.755	6.731	17.025	60.0000	17.0000	43.00000	0.026	0.0183	92846	0.205633803
99	22.567	5.939	16.629	57.0000	15.0000	42.00000	0.025	0.0176	85200	0.197183099
100	22.567	5.147	17.420	57.0000	13.0000	44.00000	0.025	0.0176	73840	0.197183099
Promedio	22.805	5.94	16.8662	57.600	15.0000	42.60000	0.0252	0.0177	84457	0.198873239
Des. Est	0.475103	0.500803	0.316735	1.200000	1.264911	0.800000	0.000400	0.000282	6078.7	0.003380

Secuencia 2										
Presión de Confinamiento = 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	28.902	11.482	17.420	73.0000	29.0000	44.00000	0.063	0.0444	65365	0.250704225
97	28.506	11.086	17.420	72.0000	28.0000	44.00000	0.063	0.0444	63111	0.250704225
98	28.506	11.482	17.025	72.0000	29.0000	43.00000	0.076	0.0535	54184	0.241549296
99	28.506	11.086	17.420	72.0000	28.0000	44.00000	0.064	0.0451	62125	0.241549296
100	28.506	10.690	17.816	72.0000	27.0000	45.00000	0.064	0.0451	59906	0.241549296
Promedio	28.585	11.16	17.4204	72.200	28.2000	44.00000	0.066	0.0465	60938	0.245211268
Des. Est	0.158368	0.296279	0.250401	0.400000	0.748331	0.632456	0.005020	0.003535	3805.5	0.004485

Secuencia 3										
Presión de Confinamiento = 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	34.049	16.629	17.420	86.0000	42.0000	44.00000	0.064	0.0451	93187	0.366901408
97	33.653	15.837	17.816	85.0000	40.0000	45.00000	0.064	0.0451	88750	0.366901408
98	34.049	16.233	17.816	86.0000	41.0000	45.00000	0.064	0.0451	90969	0.366901408
99	34.049	15.837	18.212	86.0000	40.0000	46.00000	0.064	0.0451	88750	0.366901408
100	34.445	15.441	19.004	87.0000	39.0000	48.00000	0.064	0.0451	86531	0.366901408
Promedio	34.049	16.00	18.0539	86.000	40.4000	45.60000	0.064	0.0451	89637	0.366901408
Des. Est	0.250401	0.403760	0.537051	0.632456	1.019804	1.356466	0.000000	0.000000	2262.7	0.000000

Secuencia 4										
Presión de Confinamiento = 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	39.196	20.588	18.608	99.0000	52.0000	47.00000	0.076	0.0535	97158	0.438732394
97	39.196	20.984	18.212	99.0000	53.0000	46.00000	0.089	0.0627	84562	0.429577465
98	43.551	22.963	20.588	110.0000	58.0000	52.00000	0.089	0.0627	92539	0.447183099
99	41.176	21.380	19.796	104.0000	54.0000	50.00000	0.077	0.0542	99584	0.447183099
100	40.384	21.380	19.004	102.0000	54.0000	48.00000	0.076	0.0535	100895	0.438732394
Promedio	40.700	21.46	19.2417	102.800	54.2000	48.60000	0.0814	0.0573	94948	0.44028169
Des. Est	1.611153	0.807520	0.852836	4.069398	2.039608	2.154066	0.006216	0.004378	5923.2	0.006552

Secuencia 5										
Presión de Confinamiento = 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	42.363	25.735	16.629	107.0000	65.0000	42.00000	0.127	0.0894	72677	0.474647887
97	42.363	25.735	16.629	107.0000	65.0000	42.00000	0.127	0.0894	72677	0.474647887
98	42.363	26.131	16.233	107.0000	66.0000	41.00000	0.127	0.0894	73795	0.474647887
99	41.967	23.755	18.212	106.0000	60.0000	46.00000	0.102	0.0718	83529	0.483098592
100	45.135	26.527	18.608	114.0000	67.0000	47.00000	0.114	0.0803	83456	0.492253521
Promedio	42.838	25.58	17.2621	108.200	64.6000	43.60000	0.1194	0.0841	77227	0.479859155
Des. Est	1.158360	0.956782	0.956782	2.925748	2.416609	2.416609	0.010052	0.007079	5132.3	0.007008

Secuencia 6										
Presión de Confinamiento = 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	23.359	6.731	16.629	59.0000	17.0000	42.00000	0.013	0.0092	185692	0.492253521
97	23.359	6.731	16.629	59.0000	17.0000	42.00000	0.013	0.0092	185692	0.492253521
98	22.963	6.335	16.629	58.0000	16.0000	42.00000	0.013	0.0092	174769	0.492253521
99	23.359	6.731	16.629	59.0000	17.0000	42.00000	0.013	0.0092	185692	0.492253521
100	23.359	5.939	17.420	59.0000	15.0000	44.00000	0.013	0.0092	163846	0.492253521
Promedio	23.280	6.49	16.7870	58.800	16.4000	42.40000	0.013	0.0092	179138	0.492253521
Des. Est	0.158368	0.316735	0.316735	0.400000	0.800000	0.800000	0.000000	0.000000	8738.5	0.000000

Secuencia 7										
Presión de Confinamiento = 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	28.902	11.482	17.420	73.0000	29.0000	44.00000	0.076	0.0535	54184	0.492253521
97	31.278	13.461	17.816	79.0000	34.0000	45.00000	0.063	0.0444	76635	0.501408451
98	29.298	12.273	17.025	74.0000	31.0000	43.00000	0.076	0.0535	57921	0.492253521
99	28.902	11.878	17.025	73.0000	30.0000	43.00000	0.064	0.0451	66562	0.492253521
100	28.902	11.086	17.816	73.0000	28.0000	45.00000	0.064	0.0451	62125	0.492253521
Promedio	29.456	12.04	17.4204	74.400	30.4000	44.00000	0.0686	0.0483	63486	0.494084507
Des. Est	0.923434	0.815248	0.354121	2.332381	2.059126	0.894427	0.006053	0.004263	7767.9	0.003662

Secuencia 8										
Presión de Confinamiento = 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador = 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	34.049	16.629	17.420	86.0000	42.0000	44.00000	0.089	0.0627	67011	0.509859155
97	34.049	17.025	17.025	86.0000	43.0000	43.00000	0.101	0.0711	60455	0.501408451
98	34.445	16.629	17.816	87.0000	42.0000	45.00000	0.089	0.0627	67011	0.509859155
99	34.445	17.025	17.420	87.0000	43.0000	44.00000	0.101	0.0711	60455	0.501408451
100	34.841	16.629	18.212	88.0000	42.0000	46.00000	0.089	0.0627	67011	0.509859155
Promedio	34.366	16.79	17.5788	86.800	42.4000	44.40000	0.0938	0.0661	64389	0.506478873
Des. Est	0.296279	0.193960	0.403760	0.748331	0.489898	1.019804	0.005879	0.004140	3211.7	0.004140

Secuencia 9 Presión de Confinamiento = 27.6 kPa Máximo esfuerzo desviador = 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	43.947	24.943	19.004	111.0000	63.0000	48.00000	0.079	0.0556	113241	0.545774648
97	40.384	21.776	18.608	102.0000	55.0000	47.00000	0.088	0.0620	88750	0.537323944
98	39.592	21.776	17.816	100.0000	55.0000	45.00000	0.089	0.0627	87753	0.528169014
99	39.592	21.380	18.212	100.0000	54.0000	46.00000	0.063	0.0444	121714	0.537323944
100	39.592	21.380	18.212	100.0000	54.0000	46.00000	0.089	0.0627	86157	0.528169014
Promedio	40.621	22.25	18.3707	102.600	56.2000	46.40000	0.0816	0.0575	99523	0.535352113
Des. Est	1.690904	1.357720	0.403760	4.270831	3.429286	1.019804	0.010032	0.007065	14925.5	0.006627

Secuencia 10 Presión de Confinamiento = 27.6 kPa Máximo esfuerzo desviador = 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	47.510	29.298	18.212	120.0000	74.0000	46.00000	0.115	0.0810	91374	0.608450704
97	47.114	28.110	19.004	119.0000	71.0000	48.00000	0.102	0.0718	98843	0.617605634
98	47.114	28.902	18.212	119.0000	73.0000	46.00000	0.115	0.0810	90139	0.608450704
99	53.053	31.674	21.380	134.0000	80.0000	54.00000	0.127	0.0894	89449	0.626760563
100	49.490	28.902	20.588	125.0000	73.0000	52.00000	0.127	0.0894	81622	0.617605634
Promedio	48.856	29.38	19.4792	123.400	74.2000	49.20000	0.1172	0.0825	90285	0.615774648
Des. Est	2.275761	1.211280	1.286585	5.748043	3.059412	3.249615	0.009304	0.006552	5480.8	0.006851

Secuencia 11 Presión de Confinamiento = 13.8 kPa Máximo esfuerzo desviador = 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	23.359	6.335	17.025	59.0000	16.0000	43.00000	0.013	0.0092	174769	0.617605634
97	23.755	6.731	17.025	60.0000	17.0000	43.00000	0.013	0.0092	185692	0.617605634
98	23.359	6.335	17.025	59.0000	16.0000	43.00000	0.013	0.0092	174769	0.617605634
99	23.359	6.731	16.629	59.0000	17.0000	42.00000	0.013	0.0092	185692	0.617605634
100	24.943	7.522	17.420	63.0000	19.0000	44.00000	0.013	0.0092	207538	0.617605634
Promedio	23.755	6.73	17.0245	60.000	17.0000	43.00000	0.013	0.0092	185692	0.617605634
Des. Est	0.613355	0.433708	0.250401	1.549193	1.095445	0.632456	0.000000	0.000000	11965.6	0.000000

Secuencia 12 Presión de Confinamiento = 13.8 kPa Máximo esfuerzo desviador = 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	29.298	11.878	17.420	74.0000	30.0000	44.00000	0.051	0.0359	83529	0.617605634
97	29.298	11.878	17.420	74.0000	30.0000	44.00000	0.051	0.0359	83529	0.617605634
98	30.090	12.669	17.420	76.0000	32.0000	44.00000	0.051	0.0359	89098	0.617605634
99	29.298	11.878	17.420	74.0000	30.0000	44.00000	0.051	0.0359	83529	0.617605634
100	29.298	11.086	18.212	74.0000	28.0000	46.00000	0.051	0.0359	77961	0.617605634
Promedio	29.456	11.88	17.5788	74.400	30.0000	44.40000	0.051	0.0359	83529	0.617605634
Des. Est	0.316735	0.500803	0.316735	0.800000	1.264911	0.800000	0.000000	0.000000	3521.9	0.000000

Secuencia 13 Presión de Confinamiento = 13.8 kPa Máximo esfuerzo desviador = 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	35.237	17.420	17.816	89.0000	44.0000	45.00000	0.089	0.0627	70202	0.617605634
97	34.841	17.420	17.420	88.0000	44.0000	44.00000	0.076	0.0535	82211	0.617605634
98	34.841	17.420	17.420	88.0000	44.0000	44.00000	0.076	0.0535	82211	0.617605634
99	36.820	19.004	17.816	93.0000	48.0000	45.00000	0.089	0.0627	76584	0.617605634
100	34.841	16.233	18.608	88.0000	41.0000	47.00000	0.076	0.0535	76605	0.617605634
Promedio	35.316	17.50	17.8164	89.200	44.2000	45.00000	0.0812	0.0572	77563	0.617605634
Des. Est	0.767716	0.881754	0.433708	1.939072	2.227106	1.095445	0.006369	0.004485	4455.4	0.000000

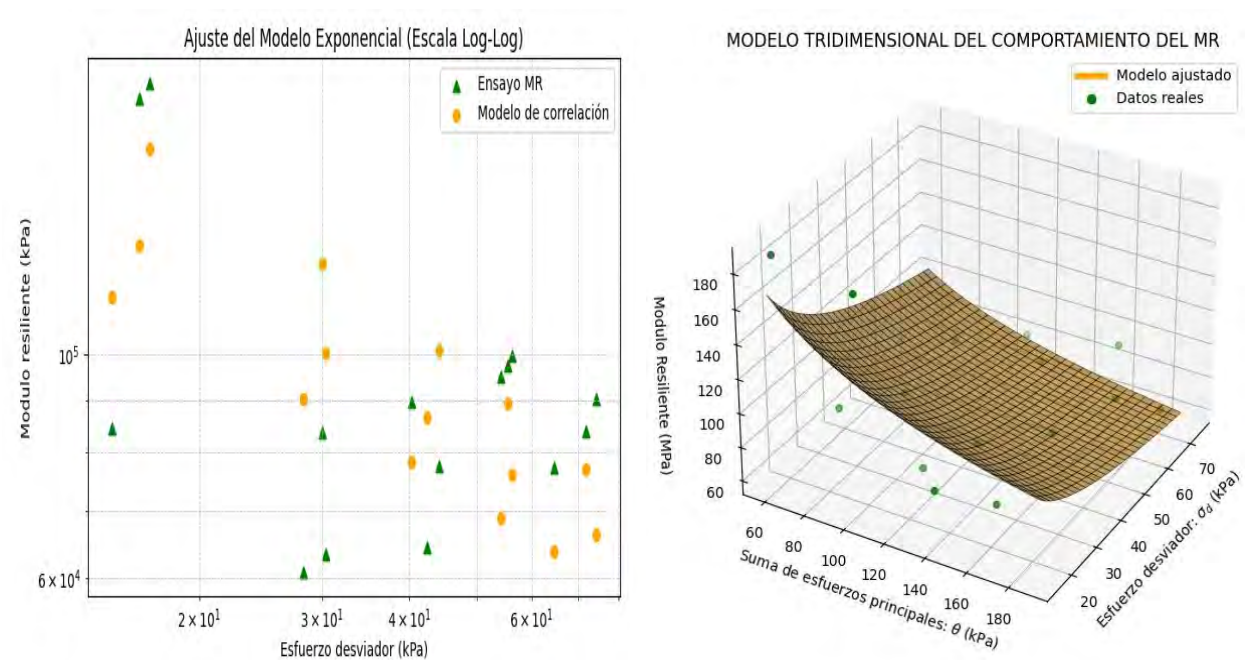
Secuencia 14 Presión de Confinamiento = 13.8 kPa Máximo esfuerzo desviador = 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	40.384	22.171	18.212	102.0000	56.0000	46.00000	0.076	0.0535	104632	0.626760563
97	39.988	21.776	18.212	101.0000	55.0000	46.00000	0.076	0.0535	102763	0.626760563
98	40.384	22.171	18.212	102.0000	56.0000	46.00000	0.089	0.0627	89348	0.626760563
99	40.384	22.171	18.212	102.0000	56.0000	46.00000	0.076	0.0535	104632	0.626760563
100	39.988	21.380	18.608	101.0000	54.0000	47.00000	0.089	0.0627	86157	0.617605634
Promedio	40.225	21.93	18.2915	101.600	55.4000	46.20000	0.0812	0.0572	97506	0.624929577
Des. Est	0.193960	0.316735	0.158368	0.489898	0.800000	0.400000	0.006369	0.004485	8056.4	0.003662

Secuencia 15 Presión de Confinamiento = 13.8 kPa Máximo esfuerzo desviador = 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	45.135	28.902	16.233	114.0000	73.0000	41.00000	0.115	0.0810	90139	0.635211268
97	45.135	28.506	16.629	114.0000	72.0000	42.00000	0.115	0.0810	88904	0.635211268
98	45.135	28.902	16.233	114.0000	73.0000	41.00000	0.127	0.0894	81622	0.635211268
99	45.135	26.131	19.004	114.0000	66.0000	48.00000	0.114	0.0803	82211	0.635211268
100	52.261	29.694	22.567	132.0000	75.0000	57.00000	0.140	0.0986	76071	0.644366197
Promedio	46.560	28.43	18.1331	117.600	71.8000	45.80000	0.1222	0.0861	83789	0.637042254
Des. Est	2.850618	1.211280	2.445743	7.200000	3.059412	6.177378	0.010107	0.007118	5162.2	0.003662

Anexo K.1.4.1: Resumen de las secuencias para hallar el Módulo Resiliente para suelo natural

Datos iniciales de la muestra: Diámetro = 71 mm, Altura = 142 mm, LVDT inicial = 10.947										
Número de Secuencia	Presión de Confinamiento S3	Esfuerzo desviador máximo Teórico	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Des. Estándar Esfuerzo desviador	Suma de esfuerzos principales	Deform resiliente media	Des. Estándar de Tensión resiliente	Módulo resiliente medio	Des. Estándar de Módulo resiliente	
	kPa	kPa	kPa		kPa	%		kPa		
1	41.40	13.80	15.0000	1.2000	139.20	0.018	0.0003	84457	6078.73	
2	41.40	27.60	28.2000	0.4000	152.40	0.046	0.0035	60938	3805.49	
3	41.40	41.40	40.4000	0.6325	164.60	0.045	0.0000	89637	2262.69	
4	41.40	55.20	54.2000	4.0694	178.40	0.057	0.0044	94948	5923.15	
5	41.40	68.90	64.6000	2.9257	188.80	0.084	0.0071	77227	5132.28	
6	27.60	13.80	16.4000	0.4000	99.20	0.009	0.0000	179138	8738.46	
7	27.60	27.60	30.4000	2.3324	113.20	0.048	0.0043	63486	7767.92	
8	27.60	41.40	42.4000	0.7483	125.20	0.066	0.0041	64389	3211.67	
9	27.60	55.20	56.2000	4.2708	139.00	0.057	0.0071	99523	14925.55	
10	27.60	68.90	74.2000	5.7480	157.00	0.083	0.0066	90285	5480.78	
11	13.80	13.80	17.0000	1.5492	58.40	0.009	0.0000	185692	11965.63	
12	13.80	27.60	30.0000	0.8000	71.40	0.036	0.0000	83529	3521.91	
13	13.80	41.40	44.2000	1.9391	85.60	0.057	0.0045	77563	4455.44	
14	13.80	55.20	55.4000	0.4899	96.80	0.057	0.0045	97506	8056.38	
15	13.80	68.90	71.8000	7.2000	113.20	0.086	0.0071	83789	5162.15	

Anexo K.1.4.2: Gráficas del Modelo tridimensional del MR y el ajuste del modelo exponencial



Anexo K.1.5: Resultado final del Módulo Resiliente para el suelo natural

Layers						
Layer	Thickness (mm)	Depth (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction	
1	80	80	2482	0.35	1	+
2	200	280	207	0.4	1	-
3	160	440	125	0.4	1	+
4	0	∞	85.72	0.40	1	-

Loads					
Load	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	80	750	184.263

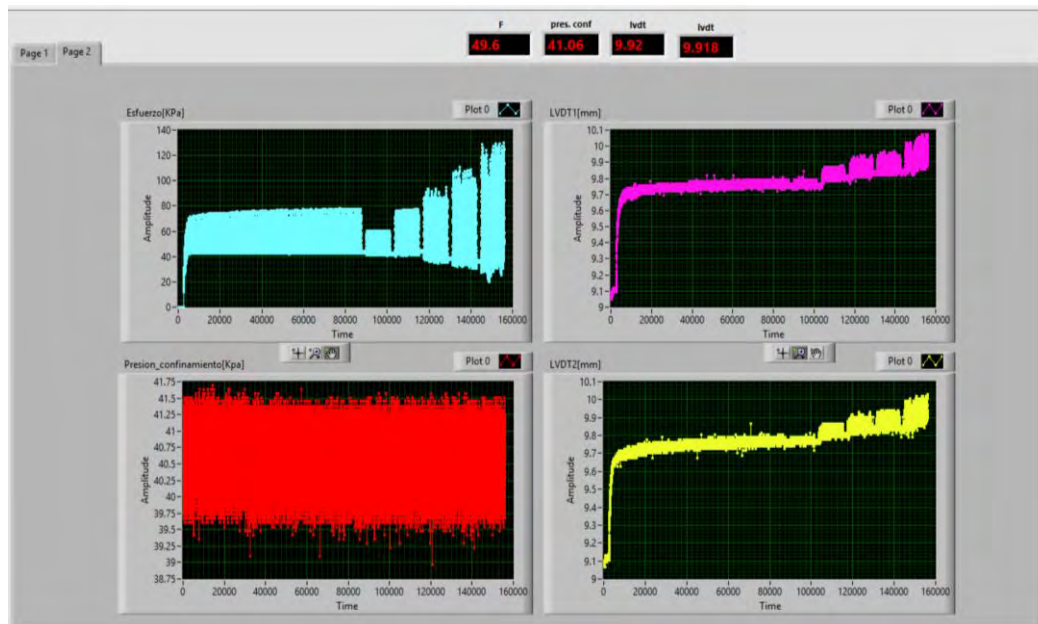
$\sigma_1 = 79.60$	$\sigma_2 = 2.34$	$\sigma_3 = 2.34$
$k_1 = 1381.9704$	$k_2 = -0.4350$	$k_3 = -0.3060$
$P_a = 69.6 \text{ kPa}$	$\theta = 84.28$	$\sigma_d = 77.26$

$$MR = 1381.9704 \times P_a \times \left[\frac{84.28}{P_a} \right]^{-0.4350} \times \left[\frac{77.26}{P_a} \right]^{-0.3060}$$

MR = 85.72 MPa

Anexo K.2: Módulo Resiliente del suelo + 15% de RAP

Anexo K.2.1: Para una presión de confinamiento de $P = 41.4$ kPa



Secuencia 0

Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa

Ciclo	LVDT max	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
746	9.793	9.755	78.0000	44.00000
747	9.780	9.755	72.0000	44.00000
748	9.793	9.755	78.0000	44.00000
749	9.780	9.755	72.0000	44.00000
750	9.780	9.755	72.0000	44.00000

Secuencia 1

Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.793	9.755	58.0000	42.00000
97	9.780	9.755	58.0000	42.00000
98	9.780	9.755	58.0000	42.00000
99	9.793	9.755	60.0000	42.00000
100	9.780	9.755	58.0000	42.00000

Secuencia 2

Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.856	9.806	72.0000	43.00000
97	9.869	9.806	77.0000	44.00000
98	9.869	9.806	73.0000	43.00000
99	9.856	9.806	72.0000	43.00000
100	9.856	9.806	73.0000	43.00000

Secuencia 3

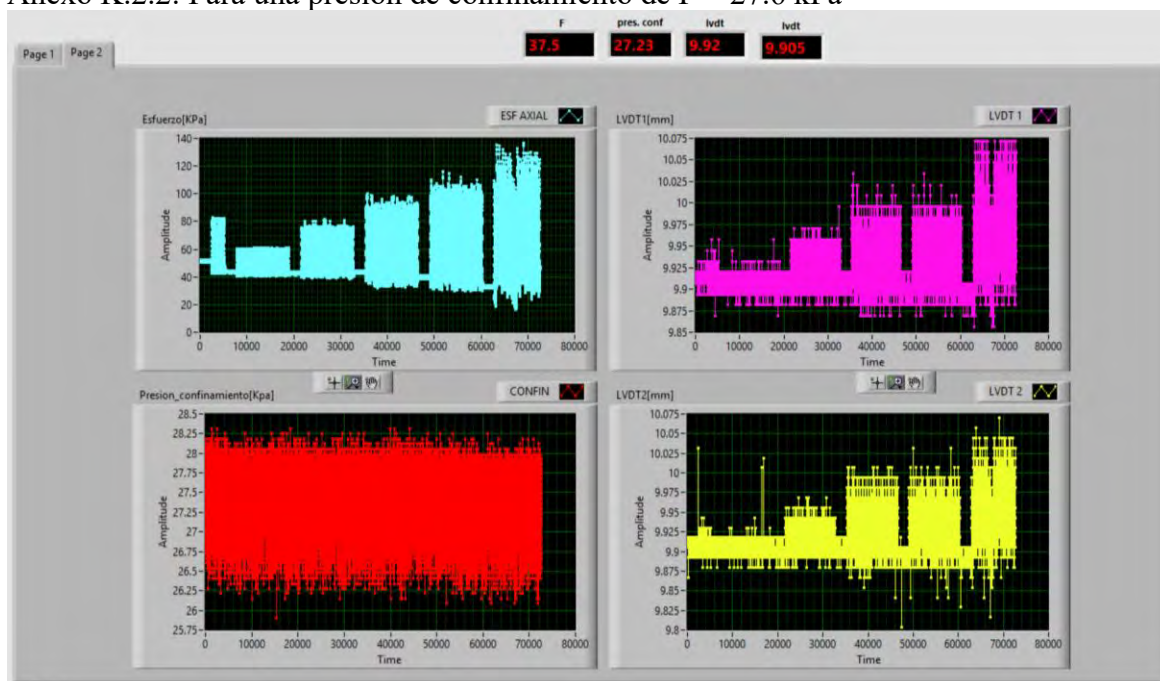
Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.932	9.844	88.0000	43.00000
97	9.932	9.844	86.0000	42.00000
98	9.920	9.844	85.0000	41.00000
99	9.920	9.831	84.0000	40.00000
100	9.920	9.831	84.0000	40.00000

Secuencia 4				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.945	9.856	100.0000	42.00000
97	9.932	9.844	97.0000	40.00000
98	9.932	9.844	95.0000	39.00000
99	9.920	9.844	93.0000	38.00000
100	9.920	9.844	93.0000	38.00000

Secuencia 5				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.021	9.907	113.0000	45.00000
97	10.072	9.920	130.0000	48.00000
98	10.059	9.894	121.0000	42.00000
99	10.021	9.907	114.0000	44.00000
100	10.059	9.920	127.0000	47.00000

Anexo K.2.2: Para una presión de confinamiento de P = 27.6 kPa



Secuencia 6				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.92	9.907	60.0000	42.00000
97	9.932	9.907	61.0000	42.00000
98	9.92	9.907	61.0000	42.00000
99	9.92	9.907	60.0000	42.00000
100	9.932	9.907	61.0000	42.00000

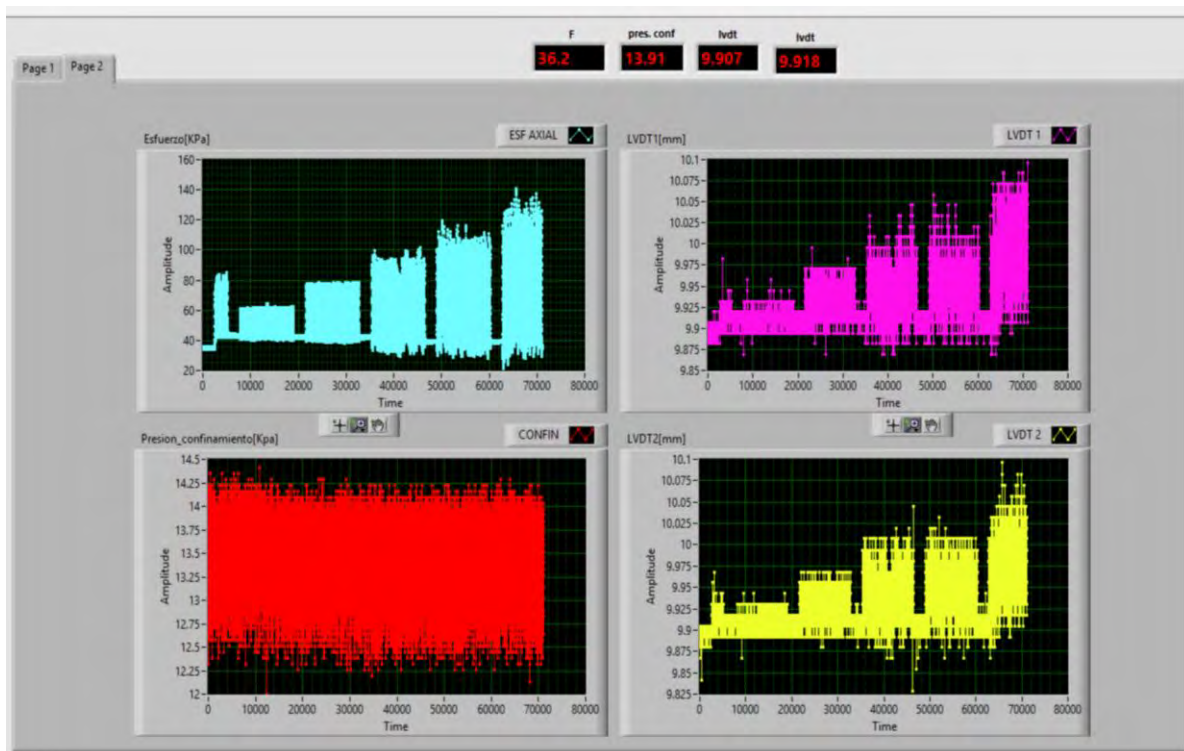
Secuencia 7				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.958	9.907	75.0000	42.00000
97	9.996	9.907	75.0000	42.00000
98	9.958	9.907	76.0000	43.00000
99	9.958	9.907	76.0000	43.00000
100	9.958	9.907	76.0000	43.00000

Secuencia 8				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.983	9.894	87.0000	38.00000
97	9.971	9.894	86.0000	37.00000
98	9.996	9.920	93.0000	45.00000
99	9.996	9.907	92.0000	43.00000
100	9.983	9.894	90.0000	41.00000

Secuencia 9				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.996	9.920	105.0000	46.00000
97	9.996	9.907	106.0000	43.00000
98	9.996	9.907	102.0000	39.00000
99	9.983	9.894	99.0000	37.00000
100	9.983	9.894	95.0000	35.00000

Secuencia 10				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.059	9.907	119.0000	37.00000
97	10.034	9.920	112.0000	41.00000
98	10.072	9.945	131.0000	48.00000
99	10.059	9.920	120.0000	42.00000
100	10.059	9.907	117.0000	34.00000

Anexo K.2.3: Para una presión de confinamiento de P = 13.8 kPa



Secuencia 11				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.932	9.92	62.0000	42.00000
97	9.932	9.92	62.0000	42.00000
98	9.932	9.92	62.0000	42.00000
99	9.932	9.92	62.0000	42.00000
100	9.932	9.92	62.0000	43.00000

Secuencia 13				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.983	9.894	88.0000	38.00000
97	9.983	9.894	86.0000	37.00000
98	9.996	9.932	94.0000	37.00000
99	9.996	9.920	93.0000	42.00000
100	9.996	9.907	90.0000	40.00000

Secuencia 12				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.971	9.92	78.0000	42.00000
97	9.971	9.92	78.0000	42.00000
98	9.958	9.92	77.0000	42.00000
99	9.971	9.92	78.0000	42.00000
100	9.971	9.92	78.0000	43.00000

Secuencia 14				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	9.971	9.907	96.0000	40.00000
97	10.021	9.932	111.0000	46.00000
98	10.021	9.920	107.0000	44.00000
99	9.996	9.920	105.0000	41.00000
100	9.996	9.907	102.0000	39.00000

Secuencia 15				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.072	9.958	132.0000	48.00000
97	10.085	9.932	126.0000	43.00000
98	10.059	9.945	121.0000	45.00000
99	10.097	9.971	138.0000	48.00000
100	10.072	9.971	127.0000	48.00000

Anexo K.2.4: Resultados del Módulo Resiliente para suelo + 15% de RAP compactación al 95%

Secuencia 0										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
746	30.882	13.461	17.420	78.0000	34.0000	44.00000	0.038	0.0268	127053	0.482394366
747	28.506	11.086	17.420	72.0000	28.0000	44.00000	0.025	0.0176	159040	0.482394366
748	30.882	13.461	17.420	78.0000	34.0000	44.00000	0.038	0.0268	127053	0.482394366
749	28.506	11.086	17.420	72.0000	28.0000	44.00000	0.025	0.0176	159040	0.482394366
750	28.506	11.086	17.420	72.0000	28.0000	44.00000	0.025	0.0176	159040	0.482394366
Promedio	29.456	12.04	17.4204	74.400	30.4000	44.00000	0.0302	0.0213	146245	0.482394366
Des. Est	1.163760	1.163760	0.000000	2.939388	2.939388	0.000000	0.006369	0.004485	15670.5	0.000000

Secuencia 1										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	22.963	6.335	16.629	58.0000	16.0000	42.00000	0.038	0.0268	59789	0.482394366
97	22.963	6.335	16.629	58.0000	16.0000	42.00000	0.025	0.0176	90880	0.482394366
98	22.963	6.335	16.629	58.0000	16.0000	42.00000	0.025	0.0176	90880	0.482394366
99	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.038	0.0268	67263	0.482394366
100	22.963	6.335	16.629	58.0000	16.0000	42.00000	0.025	0.0176	90880	0.482394366
Promedio	23.122	6.49	16.6286	58.400	16.4000	42.00000	0.0302	0.0213	79939	0.482394366
Des. Est	0.316735	0.316735	0.000000	0.800000	0.800000	0.000000	0.006369	0.004485	13607.3	0.000000

Secuencia 2										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	28.506	11.482	17.025	72.0000	29.0000	43.00000	0.050	0.0352	82360	0.518309859
97	30.486	13.065	17.420	77.0000	33.0000	44.00000	0.063	0.0444	74381	0.518309859
98	28.902	11.878	17.025	73.0000	30.0000	43.00000	0.063	0.0444	67619	0.518309859
99	28.506	11.482	17.025	72.0000	29.0000	43.00000	0.050	0.0352	82360	0.518309859
100	28.902	11.878	17.025	73.0000	30.0000	43.00000	0.050	0.0352	85200	0.518309859
Promedio	29.060	11.96	17.1037	73.400	30.2000	43.20000	0.0552	0.0389	78384	0.518309859
Des. Est	0.734321	0.581880	0.158368	1.854724	1.469694	0.400000	0.006369	0.004485	6480.5	0.000000

Secuencia 3										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	34.841	17.816	17.025	88.0000	45.0000	43.00000	0.088	0.0620	72614	0.545070423
97	34.049	17.420	16.629	86.0000	44.0000	42.00000	0.088	0.0620	71000	0.545070423
98	33.653	17.420	16.233	85.0000	44.0000	41.00000	0.076	0.0535	82211	0.545070423
99	33.257	17.420	15.837	84.0000	44.0000	40.00000	0.089	0.0627	70202	0.535915493
100	33.257	17.420	15.837	84.0000	44.0000	40.00000	0.089	0.0627	70202	0.535915493
Promedio	33.812	17.50	16.3119	85.400	44.2000	41.20000	0.086	0.0606	73246	0.541408451
Des. Est	0.592558	0.158368	0.461717	1.496663	0.400000	1.166190	0.005020	0.003535	4568.1	0.004485

Secuencia 4										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	39.592	22.963	16.629	100.0000	58.0000	42.00000	0.089	0.0627	92539	0.553521127
97	38.404	22.567	15.837	97.0000	57.0000	40.00000	0.088	0.0620	91977	0.545070423
98	37.612	22.171	15.441	95.0000	56.0000	39.00000	0.088	0.0620	90364	0.545070423
99	36.820	21.776	15.045	93.0000	55.0000	38.00000	0.076	0.0535	102763	0.545070423
100	36.820	21.776	15.045	93.0000	55.0000	38.00000	0.076	0.0535	102763	0.545070423
Promedio	37.850	22.25	15.5992	95.600	56.2000	39.40000	0.0834	0.0587	96081	0.546760563
Des. Est	1.050492	0.461717	0.592558	2.653300	1.166190	1.496663	0.006053	0.004263	5502.3	0.003380

Secuencia 5										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	44.739	26.923	17.816	113.0000	68.0000	45.00000	0.114	0.0803	84702	0.58943662
97	51.469	32.465	19.004	130.0000	82.0000	48.00000	0.152	0.1070	76605	0.598591549
98	47.906	31.278	16.629	121.0000	79.0000	42.00000	0.165	0.1162	67988	0.58028169
99	45.135	27.714	17.420	114.0000	70.0000	44.00000	0.114	0.0803	87193	0.58943662
100	50.282	31.674	18.608	127.0000	80.0000	47.00000	0.139	0.0979	81727	0.598591549
Promedio	47.906	30.01	17.8955	121.000	75.8000	45.20000	0.1368	0.0963	79643	0.591267606
Des. Est	2.685255	2.245249	0.845452	6.782330	5.670979	2.135416	0.020351	0.014332	6811.8	0.006851

Secuencia 6										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.58943662
97	24.151	7.522	16.629	61.0000	19.0000	42.00000	0.025	0.0176	107920	0.58943662
98	24.151	7.522	16.629	61.0000	19.0000	42.00000	0.013	0.0092	207538	0.58943662
99	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.58943662
100	24.151	7.522	16.629	61.0000	19.0000	42.00000	0.025	0.0176	107920	0.58943662
Promedio	23.993	7.36	16.6286	60.600	18.6000	42.00000	0.0178	0.0125	163322	0.58943662
Des. Est	0.193960	0.193960	0.000000	0.489898	0.489898	0.000000	0.005879	0.004140	45410.9	0.000000

Secuencia 7										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	29.694	13.065	16.629	75.0000	33.0000	42.00000	0.051	0.0359	91882	0.58943662
97	29.694	13.065	16.629	75.0000	33.0000	42.00000	0.089	0.0627	52652	0.58943662
98	30.090	13.065	17.025	76.0000	33.0000	43.00000	0.051	0.0359	91882	0.58943662
99	30.090	13.065	17.025	76.0000	33.0000	43.00000	0.051	0.0359	91882	0.58943662
100	30.090	13.065	17.025	76.0000	33.0000	43.00000	0.051	0.0359	91882	0.58943662
Promedio	29.931	13.07	16.8662	75.600	33.0000	42.60000	0.0586	0.0413	84036	0.58943662
Des. Est	0.193960	0.000000	0.193960	0.489898	0.000000	0.489898	0.015200	0.010704	15692.3	0.000000

Secuencia 8										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	34.445	19.400	15.045	87.0000	49.0000	38.00000	0.089	0.0627	78180	0.58028169
97	34.049	19.400	14.649	86.0000	49.0000	37.00000	0.077	0.0542	90364	0.58028169
98	36.820	19.004	17.816	93.0000	48.0000	45.00000	0.076	0.0535	89684	0.598591549
99	36.425	19.400	17.025	92.0000	49.0000	43.00000	0.089	0.0627	78180	0.58943662
100	35.633	19.400	16.233	90.0000	49.0000	41.00000	0.089	0.0627	78180	0.58028169
Promedio	35.474	19.32	16.1535	89.600	48.8000	40.80000	0.084	0.0592	82917	0.585774648
Des. Est	1.079924	0.158368	1.185115	2.727636	0.400000	2.993326	0.006132	0.004318	5806.4	0.007324

Secuencia 9										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	41.572	23.359	18.212	105.0000	59.0000	46.00000	0.076	0.0535	110237	0.598591549
97	41.967	24.943	17.025	106.0000	63.0000	43.00000	0.089	0.0627	100517	0.58943662
98	40.384	24.943	15.441	102.0000	63.0000	39.00000	0.089	0.0627	100517	0.58943662
99	39.196	24.547	14.649	99.0000	62.0000	37.00000	0.089	0.0627	98921	0.58028169
100	37.612	23.755	13.857	95.0000	60.0000	35.00000	0.089	0.0627	95730	0.58028169
Promedio	40.146	24.31	15.8368	101.400	61.4000	40.00000	0.0864	0.0608	101184	0.587605634
Des. Est	1.595510	0.643293	1.583677	4.029888	1.624808	4.000000	0.005200	0.003662	4851.9	0.006851

Secuencia 10										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	47.114	32.465	14.649	119.0000	82.0000	37.00000	0.152	0.1070	76605	0.58943662
97	44.343	28.110	16.233	112.0000	71.0000	41.00000	0.114	0.0803	88439	0.598591549
98	51.865	32.861	19.004	131.0000	83.0000	48.00000	0.127	0.0894	92803	0.616197183
99	47.510	30.882	16.629	120.0000	78.0000	42.00000	0.139	0.0979	79683	0.598591549
100	46.323	32.861	13.461	117.0000	83.0000	34.00000	0.152	0.1070	77539	0.58943662
Promedio	47.431	31.44	15.9951	119.800	79.4000	40.40000	0.1368	0.0963	83014	0.598450704
Des. Est	2.471246	1.816057	1.883843	6.241795	4.586938	4.758151	0.014716	0.010363	6440.3	0.009772

Secuencia 11										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	24.547	7.918	16.629	62.0000	20.0000	42.00000	0.012	0.0085	236667	0.598591549
97	24.547	7.918	16.629	62.0000	20.0000	42.00000	0.012	0.0085	236667	0.598591549
98	24.547	7.918	16.629	62.0000	20.0000	42.00000	0.012	0.0085	236667	0.598591549
99	24.547	7.918	16.629	62.0000	20.0000	42.00000	0.012	0.0085	236667	0.598591549
100	24.547	7.522	17.025	62.0000	19.0000	43.00000	0.012	0.0085	224833	0.598591549
Promedio	24.547	7.84	16.7078	62.000	19.8000	42.20000	0.012	0.0085	234300	0.598591549
Des. Est	0.000000	0.158368	0.158368	0.000000	0.400000	0.400000	0.000000	0.000000	4733.3	0.000000

Secuencia 12										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	30.882	14.253	16.629	78.0000	36.0000	42.00000	0.051	0.0359	100235	0.598591549
97	30.882	14.253	16.629	78.0000	36.0000	42.00000	0.051	0.0359	100235	0.598591549
98	30.486	13.857	16.629	77.0000	35.0000	42.00000	0.038	0.0268	130789	0.598591549
99	30.882	14.253	16.629	78.0000	36.0000	42.00000	0.051	0.0359	100235	0.598591549
100	30.882	13.857	17.025	78.0000	35.0000	43.00000	0.051	0.0359	97451	0.598591549
Promedio	30.803	14.09	16.7078	77.800	35.6000	42.20000	0.0484	0.0341	105789	0.598591549
Des. Est	0.158368	0.193960	0.158368	0.400000	0.489898	0.400000	0.005200	0.003662	12546.5	0.000000

Secuencia 13 Presión de Confinamiento: 13.8 kPa Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	34.841	19.796	15.045	88.0000	50.0000	38.00000	0.089	0.0627	79775	0.58028169
97	34.049	19.400	14.649	86.0000	49.0000	37.00000	0.089	0.0627	78180	0.58028169
98	37.216	22.567	14.649	94.0000	57.0000	37.00000	0.064	0.0451	126469	0.607042254
99	36.820	20.192	16.629	93.0000	51.0000	42.00000	0.076	0.0535	95289	0.598591549
100	35.633	19.796	15.837	90.0000	50.0000	40.00000	0.089	0.0627	79775	0.58943662
Promedio	35.712	20.35	15.3617	90.200	51.4000	38.80000	0.0814	0.0573	91898	0.591126761
Des. Est	1.185115	1.136502	0.767716	2.993326	2.870540	1.939072	0.010052	0.007079	18378.0	0.010461

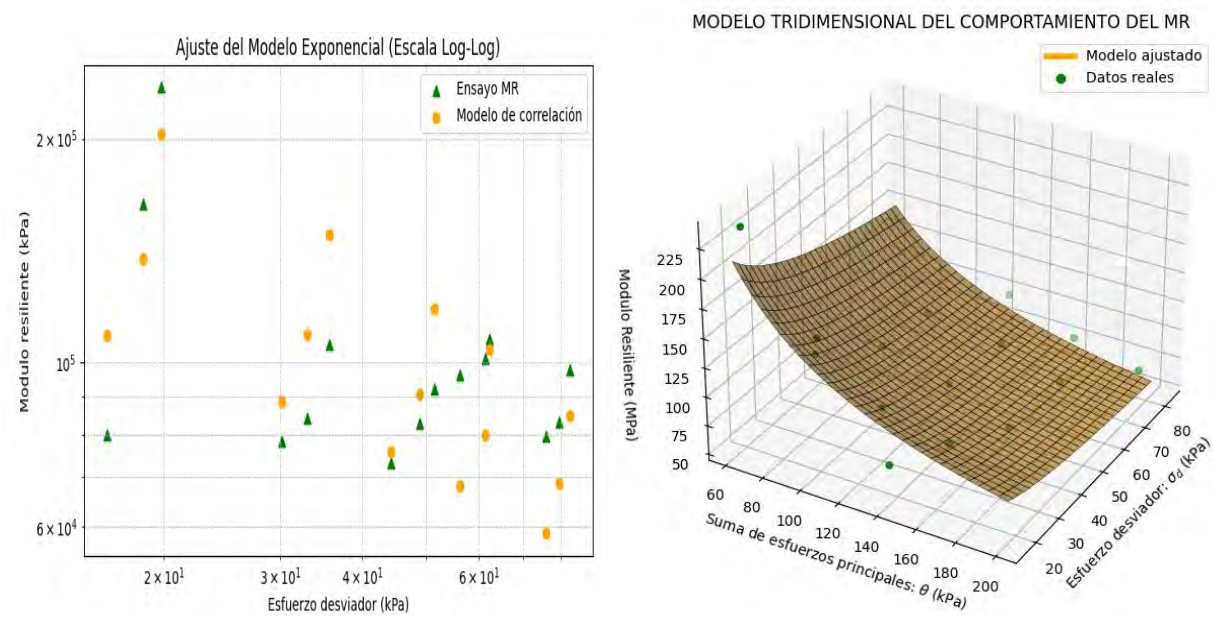
Secuencia 14 Presión de Confinamiento: 13.8 kPa Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	38.008	22.171	15.837	96.0000	56.0000	40.00000	0.064	0.0451	124250	0.58943662
97	43.947	25.735	18.212	111.0000	65.0000	46.00000	0.089	0.0627	103708	0.607042254
98	42.363	24.943	17.420	107.0000	63.0000	44.00000	0.101	0.0711	88574	0.598591549
99	41.572	25.339	16.233	105.0000	64.0000	41.00000	0.076	0.0535	119579	0.598591549
100	40.384	24.943	15.441	102.0000	63.0000	39.00000	0.089	0.0627	100517	0.58943662
Promedio	41.255	24.63	16.6286	104.200	62.2000	42.00000	0.0838	0.0590	107326	0.596619718
Des. Est	1.993798	1.261983	1.032431	5.035871	3.187475	2.607681	0.012671	0.008923	13020.3	0.006627

Secuencia 15 Presión de Confinamiento: 13.8 kPa Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	52.261	33.257	19.004	132.0000	84.0000	48.00000	0.114	0.0803	104632	0.625352113
97	49.886	32.861	17.025	126.0000	83.0000	43.00000	0.153	0.1077	77033	0.607042254
98	47.906	30.090	17.816	121.0000	76.0000	45.00000	0.114	0.0803	94667	0.616197183
99	54.637	35.633	19.004	138.0000	90.0000	48.00000	0.126	0.0887	101429	0.634507042
100	50.282	31.278	19.004	127.0000	79.0000	48.00000	0.101	0.0711	111069	0.634507042
Promedio	50.994	32.62	18.3707	128.800	82.4000	46.40000	0.1216	0.0856	97766	0.623521127
Des. Est	2.286755	1.883843	0.815248	5.775812	4.758151	2.059126	0.017580	0.012380	11636.2	0.010676

Anexo K.2.4.1: Resumen de las secuencias para hallar el Módulo Resiliente para suelo +15% RAP

Datos iniciales de la muestra: Diámetro = 71 mm, Altura = 142 mm, LVDT inicial = 9.070 mm									
Número de Secuencia	Presión de Confinamiento S3	Esfuerzo desviador máximo Teórico	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Des. Estándar Esfuerzo desviador	Suma de esfuerzos principales	Deform. resiliente media	Des. Estándar de Tensión resiliente	Módulo resiliente medio	Des. Estándar de Módulo resiliente
	kPa	kPa	kPa		kPa	%		kPa	
1	41.40	13.80	16.4000	0.8000	140.60	0.021	0.0045	79939	13607.33
2	41.40	27.60	30.2000	1.8547	154.40	0.039	0.0045	78384	6480.49
3	41.40	41.40	44.2000	1.4967	168.40	0.061	0.0035	73246	4568.06
4	41.40	55.20	56.2000	2.6533	180.40	0.059	0.0043	96081	5502.27
5	41.40	68.90	75.8000	6.7823	200.00	0.096	0.0143	79643	6811.82
6	27.60	13.80	18.6000	0.4899	101.40	0.013	0.0041	163322	45410.92
7	27.60	27.60	33.0000	0.4899	115.80	0.041	0.0107	84036	15692.27
8	27.60	41.40	48.8000	2.7276	131.60	0.059	0.0043	82917	5806.40
9	27.60	55.20	61.4000	4.0299	144.20	0.061	0.0037	101184	4851.93
10	27.60	68.90	79.4000	6.2418	162.20	0.096	0.0104	83014	6440.32
11	13.80	13.80	19.8000	0.0000	61.20	0.008	0.0000	234300	4733.33
12	13.80	27.60	35.6000	0.4000	77.00	0.034	0.0037	105789	12546.53
13	13.80	41.40	51.4000	2.9933	92.80	0.057	0.0071	91898	18377.97
14	13.80	55.20	62.2000	5.0359	103.60	0.059	0.0089	107326	13020.29
15	13.80	68.90	82.4000	5.7758	123.80	0.119	0.0003	68988	3933.63

Anexo K.2.4.2: Gráficas del Modelo tridimensional del MR y el ajuste del modelo exponencial



Anexo K.2.5: Resultado final del Módulo Resiliente para el suelo + 15% RAP

Layers						
Layer	Thickness (mm)	Depth (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction	
1	80	80	2482	0.35	1	- +
2	200	280	207	0.4	1	- +
3	160	440	125	0.4	1	- +
4	0	∞	105.31	0.37	1	- +

Loads						
Load	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)	
1	0	0	80	750	184.263	- +

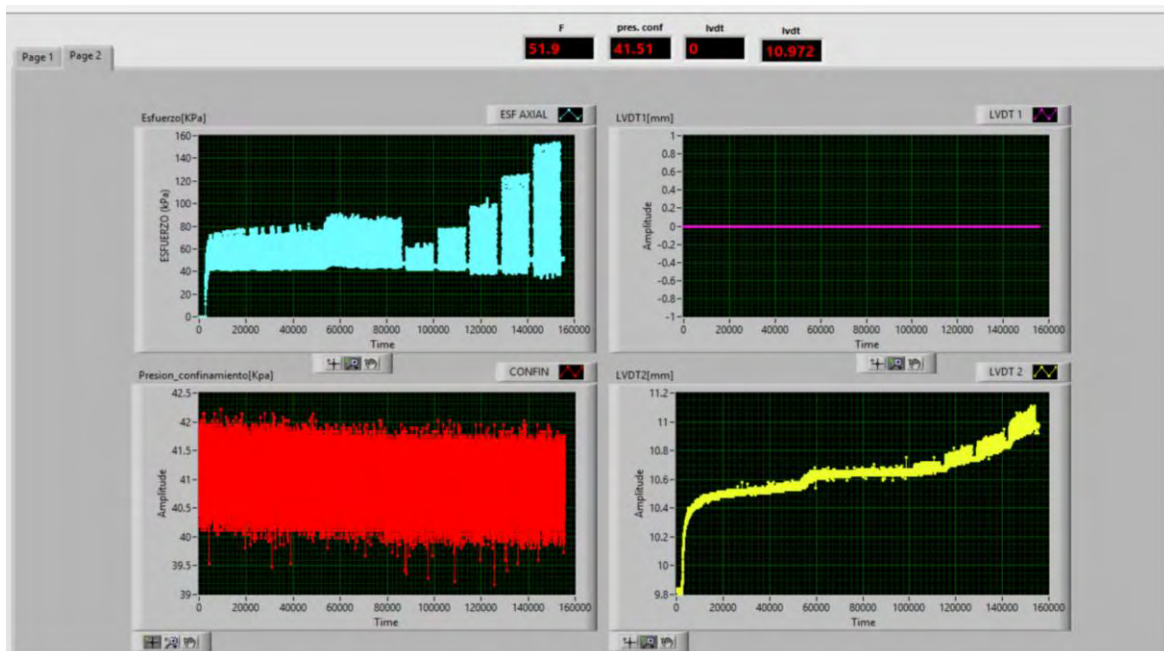
$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= 86.20 & \sigma_2 &= 4.09 & \sigma_3 &= 4.09 \\
 k_1 &= 2000.9755 & k_2 &= -0.7991 & k_3 &= -0.2183 \\
 Pa &= 69.6 \text{ kPa} & \theta &= 94.38 & \sigma_d &= 82.11
 \end{aligned}$$

$$MR = 2000.9755 \times Pa \times \left[\frac{94.38}{Pa} \right]^{-0.7991} \times \left[\frac{82.11}{Pa} \right]^{-0.2183}$$

$$\mathbf{MR = 105.31 \text{ MPa}}$$

Anexo K.3: Módulo Resiliente del suelo + 20% de RAP

Anexo K.3.1: Para una presión de confinamiento de P = 41.4 kPa



Secuencia 0				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
746	10.667	10.655	87.0000	47.00000
747	10.667	10.655	83.0000	47.00000
748	10.667	10.655	82.0000	46.00000
749	10.667	10.655	87.0000	47.00000
750	10.667	10.655	82.0000	48.00000

Secuencia 1				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.667	10.642	59.0000	42.00000
97	10.667	10.642	59.0000	43.00000
98	10.667	10.642	59.0000	42.00000
99	10.667	10.642	64.0000	44.00000
100	10.667	10.642	63.0000	45.00000

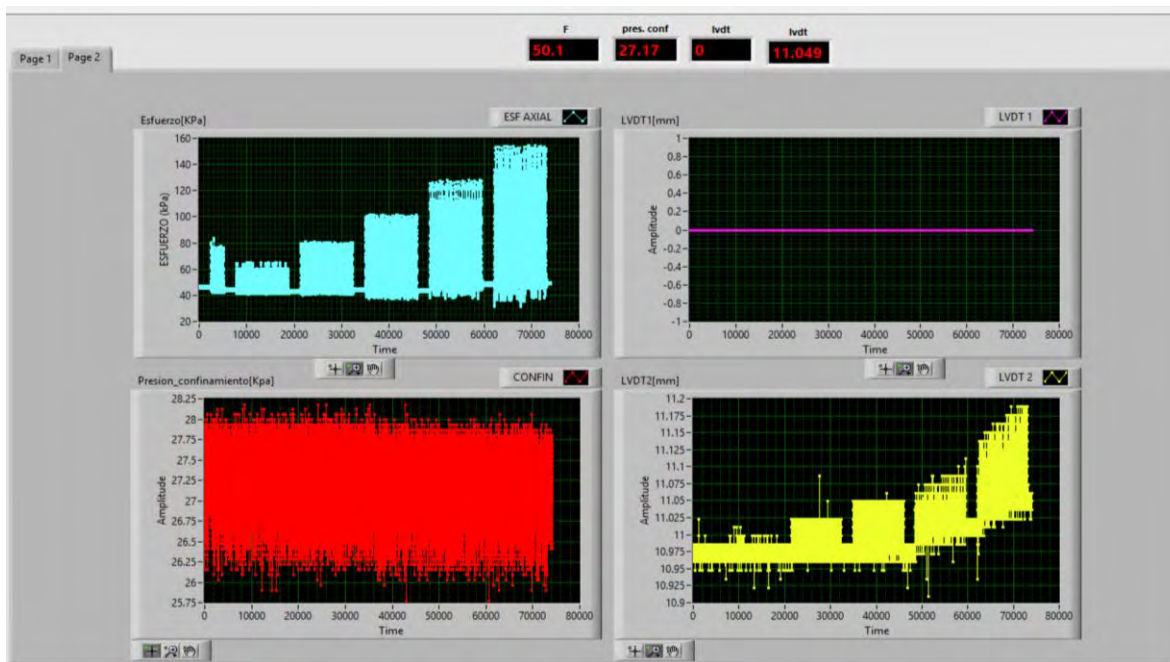
Secuencia 2				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.718	10.68	77.0000	44.00000
97	10.718	10.68	78.0000	44.00000
98	10.718	10.68	77.0000	43.00000
99	10.718	10.68	77.0000	44.00000
100	10.718	10.68	78.0000	45.00000

Secuencia 3				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.820	10.744	96.0000	43.00000
97	10.820	10.744	95.0000	43.00000
98	10.833	10.744	99.0000	45.00000
99	10.820	10.744	95.0000	43.00000
100	10.833	10.744	94.0000	45.00000

Secuencia 4				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.909	10.833	123.0000	47.00000
97	10.896	10.833	112.0000	47.00000
98	10.922	10.833	124.0000	47.00000
99	10.896	10.833	113.0000	46.00000
100	10.922	10.845	126.0000	51.00000

Secuencia 5				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.100	10.972	150.0000	49.00000
97	11.074	10.972	135.0000	47.00000
98	11.112	10.985	154.0000	49.00000
99	11.074	10.972	137.0000	46.00000
100	11.112	10.985	152.0000	51.00000

Anexo K.3.2: Para una presión de confinamiento de $P = 27.6$ kPa



Secuencia 6

Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.985	10.972	60.0000	42.00000
97	10.985	10.972	60.0000	42.00000
98	10.985	10.972	60.0000	42.00000
99	10.985	10.972	60.0000	42.00000
100	10.985	10.972	60.0000	44.00000

Secuencia 7

Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.023	10.972	80.0000	42.00000
97	11.023	10.972	78.0000	43.00000
98	11.023	10.972	79.0000	43.00000
99	11.023	10.972	79.0000	43.00000
100	11.023	10.972	81.0000	45.00000

Secuencia 8

Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.049	10.985	97.0000	45.00000
97	11.049	10.985	102.0000	44.00000
98	11.049	10.972	100.0000	43.00000
99	11.049	10.972	98.0000	42.00000
100	11.049	10.972	100.0000	44.00000

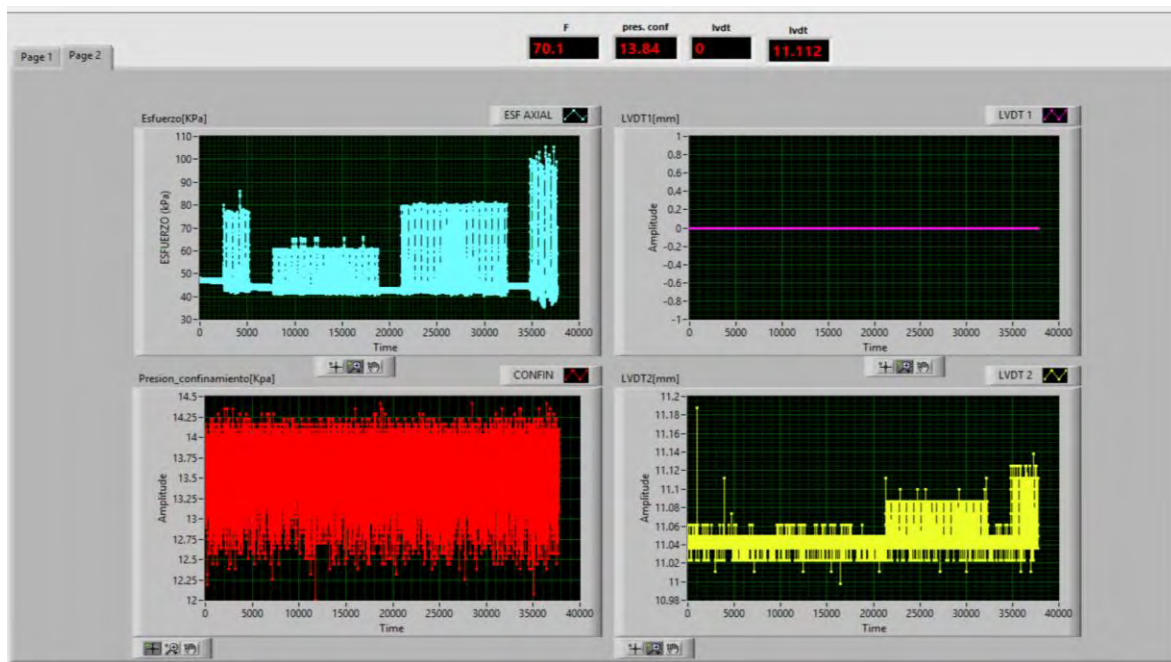
Secuencia 9

Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.087	11.011	128.0000	49.00000
97	11.061	11.011	115.0000	46.00000
98	11.100	11.011	128.0000	46.00000
99	11.061	11.011	114.0000	46.00000
100	11.112	11.011	128.0000	48.00000

Secuencia 10				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_l máx.	σ_l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.188	11.049	154.0000	50.00000
97	11.167	11.049	138.0000	45.00000
98	11.188	11.049	148.0000	49.00000
99	11.163	11.049	137.0000	48.00000
100	11.188	11.049	152.0000	50.00000

Anexo K.3.3: Para una presión de confinamiento de P = 13.8 kPa



Secuencia 11				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_l máx.	σ_l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.061	11.049	61.0000	42.00000
97	11.061	11.049	61.0000	42.00000
98	11.061	11.049	60.0000	42.00000
99	11.061	11.049	61.0000	42.00000
100	11.061	11.049	61.0000	43.00000

Secuencia 12				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_l máx.	σ_l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.087	11.049	80.0000	43.00000
97	11.100	11.049	80.0000	43.00000
98	11.087	11.049	80.0000	43.00000
99	11.112	11.049	80.0000	43.00000
100	11.087	11.049	81.0000	45.00000

Anexo K.3.4: Resultados del Módulo Resiliente para suelo + 20% de RAP compactación al 95%

Secuencia 0										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
746	34.445	15.837	18.608	87.0000	40.0000	47.00000	0.012	0.0085	473333	0.581690141
747	32.861	14.253	18.608	83.0000	36.0000	47.00000	0.012	0.0085	426000	0.581690141
748	32.465	14.253	18.212	82.0000	36.0000	46.00000	0.012	0.0085	426000	0.581690141
749	34.445	15.837	18.608	87.0000	40.0000	47.00000	0.012	0.0085	473333	0.581690141
750	32.465	13.461	19.004	82.0000	34.0000	48.00000	0.012	0.0085	402333	0.581690141
Promedio	33.336	14.73	18.6082	84.200	37.2000	47.00000	0.012	0.0085	440200	0.581690141
Des. Est	0.916619	0.950206	0.250401	2.315167	2.400000	0.632456	0.000000	0.000000	28400.0	0.000000

Secuencia 1										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	23.359	6.731	16.629	59.0000	17.0000	42.00000	0.025	0.0176	96560	0.572535211
97	23.359	6.335	17.025	59.0000	16.0000	43.00000	0.025	0.0176	90880	0.572535211
98	23.359	6.731	16.629	59.0000	17.0000	42.00000	0.025	0.0176	96560	0.572535211
99	25.339	7.918	17.420	64.0000	20.0000	44.00000	0.025	0.0176	113600	0.572535211
100	24.943	7.127	17.816	63.0000	18.0000	45.00000	0.025	0.0176	102240	0.572535211
Promedio	24.072	6.97	17.1037	60.800	17.6000	43.20000	0.025	0.0176	99968	0.572535211
Des. Est	0.881754	0.537051	0.461717	2.227106	1.356466	1.166190	0.000000	0.000000	7704.7	0.000000

Secuencia 2										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	30.486	13.065	17.420	77.0000	33.0000	44.00000	0.038	0.0268	123316	0.599295775
97	30.882	13.461	17.420	78.0000	34.0000	44.00000	0.038	0.0268	127053	0.599295775
98	30.486	13.461	17.025	77.0000	34.0000	43.00000	0.038	0.0268	127053	0.599295775
99	30.486	13.065	17.420	77.0000	33.0000	44.00000	0.038	0.0268	123316	0.599295775
100	30.882	13.065	17.816	78.0000	33.0000	45.00000	0.038	0.0268	123316	0.599295775
Promedio	30.644	13.22	17.4204	77.400	33.4000	44.00000	0.038	0.0268	124811	0.599295775
Des. Est	0.193960	0.193960	0.250401	0.489898	0.489898	0.632456	0.000000	0.000000	1830.7	0.000000

Secuencia 3										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	38.008	20.984	17.025	96.0000	53.0000	43.00000	0.076	0.0535	99026	0.644366197
97	37.612	20.588	17.025	95.0000	52.0000	43.00000	0.076	0.0535	97158	0.644366197
98	39.196	21.380	17.816	99.0000	54.0000	45.00000	0.089	0.0627	86157	0.644366197
99	37.612	20.588	17.025	95.0000	52.0000	43.00000	0.076	0.0535	97158	0.644366197
100	37.216	19.400	17.816	94.0000	49.0000	45.00000	0.089	0.0627	78180	0.644366197
Promedio	37.929	20.59	17.3413	95.800	52.0000	43.80000	0.0812	0.0572	91536	0.644366197
Des. Est	0.681165	0.662500	0.387920	1.720465	1.673320	0.979796	0.006369	0.004485	8082.5	0.000000

Secuencia 4										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	48.698	30.090	18.608	123.0000	76.0000	47.00000	0.076	0.0535	142000	0.707042254
97	44.343	25.735	18.608	112.0000	65.0000	47.00000	0.063	0.0444	146508	0.707042254
98	49.094	30.486	18.608	124.0000	77.0000	47.00000	0.089	0.0627	122854	0.707042254
99	44.739	26.527	18.212	113.0000	67.0000	46.00000	0.063	0.0444	151016	0.707042254
100	49.886	29.694	20.192	126.0000	75.0000	51.00000	0.077	0.0542	138312	0.715492958
Promedio	47.352	28.51	18.8458	119.600	72.0000	47.60000	0.0736	0.0518	140138	0.708732394
Des. Est	2.330212	1.971662	0.690309	5.885576	4.979960	1.743560	0.009790	0.006894	9637.9	0.003380

Secuencia 5										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	59.388	39.988	19.400	150.0000	101.0000	49.00000	0.128	0.0901	112047	0.804929577
97	53.449	34.841	18.608	135.0000	88.0000	47.00000	0.102	0.0718	122510	0.804929577
98	60.972	41.572	19.400	154.0000	105.0000	49.00000	0.127	0.0894	117402	0.814084507
99	54.241	36.029	18.212	137.0000	91.0000	46.00000	0.102	0.0718	126686	0.804929577
100	60.180	39.988	20.192	152.0000	101.0000	51.00000	0.127	0.0894	112929	0.814084507
Promedio	57.646	38.48	19.1625	145.600	97.2000	48.40000	0.1172	0.0825	118315	0.808591549
Des. Est	3.153466	2.582899	0.690309	7.964923	6.523803	1.743560	0.012416	0.008744	5600.1	0.004485

Secuencia 6										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.804929577
97	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.804929577
98	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.804929577
99	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.804929577
100	23.755	6.335	17.420	60.0000	16.0000	44.00000	0.013	0.0092	174769	0.804929577
Promedio	23.755	6.97	16.7870	60.000	17.6000	42.40000	0.013	0.0092	192246	0.804929577
Des. Est	0.000000	0.316735	0.316735	0.000000	0.800000	0.800000	0.000000	0.000000	8738.5	0.000000

Secuencia 7										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	31.674	15.045	16.629	80.0000	38.0000	42.00000	0.051	0.0359	105804	0.804929577
97	30.882	13.857	17.025	78.0000	35.0000	43.00000	0.051	0.0359	97451	0.804929577
98	31.278	14.253	17.025	79.0000	36.0000	43.00000	0.051	0.0359	100235	0.804929577
99	31.278	14.253	17.025	79.0000	36.0000	43.00000	0.051	0.0359	100235	0.804929577
100	32.069	14.253	17.816	81.0000	36.0000	45.00000	0.051	0.0359	100235	0.804929577
Promedio	31.436	14.33	17.1037	79.400	36.2000	43.20000	0.051	0.0359	100792	0.804929577
Des. Est	0.403760	0.387920	0.387920	1.019804	0.979796	0.979796	0.000000	0.000000	2728.1	0.000000

Secuencia 8										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	38.404	20.588	17.816	97.0000	52.0000	45.00000	0.064	0.0451	115375	0.814084507
97	40.384	22.963	17.420	102.0000	58.0000	44.00000	0.064	0.0451	128688	0.814084507
98	39.592	22.567	17.025	100.0000	57.0000	43.00000	0.077	0.0542	105117	0.804929577
99	38.800	22.171	16.629	98.0000	56.0000	42.00000	0.077	0.0542	103273	0.804929577
100	39.592	22.171	17.420	100.0000	56.0000	44.00000	0.077	0.0542	103273	0.804929577
Promedio	39.354	22.09	17.2621	99.400	55.8000	43.60000	0.0718	0.0506	111145	0.808591549
Des. Est	0.690309	0.807520	0.403760	1.743560	2.039608	1.019804	0.006369	0.004485	9858.2	0.004485

Secuencia 9										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	50.678	31.278	19.400	128.0000	79.0000	49.00000	0.076	0.0535	147605	0.832394366
97	45.531	27.318	18.212	115.0000	69.0000	46.00000	0.050	0.0352	195960	0.832394366
98	50.678	32.465	18.212	128.0000	82.0000	46.00000	0.089	0.0627	130831	0.832394366
99	45.135	26.923	18.212	114.0000	68.0000	46.00000	0.050	0.0352	193120	0.832394366
100	50.678	31.674	19.004	128.0000	80.0000	48.00000	0.101	0.0711	112475	0.832394366
Promedio	48.540	29.93	18.6082	122.600	75.6000	47.00000	0.0732	0.0515	155998	0.832394366
Des. Est	2.621452	2.330212	0.500803	6.621178	5.885576	1.264911	0.020527	0.014456	33385.7	0.000000

Secuencia 10										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	60.972	41.176	19.796	154.0000	104.0000	50.00000	0.139	0.0979	106245	0.85915493
97	54.637	36.820	17.816	138.0000	93.0000	45.00000	0.118	0.0831	111915	0.85915493
98	58.596	39.196	19.400	148.0000	99.0000	49.00000	0.139	0.0979	101137	0.85915493
99	54.241	35.237	19.004	137.0000	89.0000	48.00000	0.114	0.0803	110860	0.85915493
100	60.180	40.384	19.796	152.0000	102.0000	50.00000	0.139	0.0979	104201	0.85915493
Promedio	57.725	38.56	19.1625	145.800	97.4000	48.40000	0.1298	0.0914	106872	0.85915493
Des. Est	2.792845	2.219974	0.734321	7.054077	5.607138	1.854724	0.011338	0.007985	4043.6	0.000000

Secuencia 11										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	24.151	7.522	16.629	61.0000	19.0000	42.00000	0.012	0.0085	224833	0.85915493
97	24.151	7.522	16.629	61.0000	19.0000	42.00000	0.012	0.0085	224833	0.85915493
98	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.012	0.0085	213000	0.85915493
99	24.151	7.522	16.629	61.0000	19.0000	42.00000	0.012	0.0085	224833	0.85915493
100	24.151	7.127	17.025	61.0000	18.0000	43.00000	0.012	0.0085	213000	0.85915493
Promedio	24.072	7.36	16.7078	60.800	18.6000	42.20000	0.012	0.0085	220100	0.85915493
Des. Est	0.158368	0.193960	0.158368	0.400000	0.489898	0.400000	0.000000	0.000000	5797.1	0.000000

Secuencia 12										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	31.674	14.649	17.025	80.0000	37.0000	43.00000	0.038	0.0268	138263	0.85915493
97	31.674	14.649	17.025	80.0000	37.0000	43.00000	0.051	0.0359	103020	0.85915493
98	31.674	14.649	17.025	80.0000	37.0000	43.00000	0.038	0.0268	138263	0.85915493
99	31.674	14.649	17.025	80.0000	37.0000	43.00000	0.063	0.0444	83397	0.85915493
100	32.069	14.253	17.816	81.0000	36.0000	45.00000	0.038	0.0268	134526	0.85915493
Promedio	31.753	14.57	17.1829	80.200	36.8000	43.40000	0.0456	0.0321	119494	0.85915493
Des. Est	0.158368	0.158368	0.316735	0.400000	0.400000	0.800000	0.010052	0.007079	22382.8	0.000000

Secuencia 13										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	38.008	21.776	16.233	96.0000	55.0000	41.00000	0.076	0.0535	102763	0.85915493
97	38.008	21.776	16.233	96.0000	55.0000	41.00000	0.063	0.0444	123968	0.85915493
98	38.008	21.776	16.233	96.0000	55.0000	41.00000	0.063	0.0444	123968	0.85915493
99	37.612	21.776	15.837	95.0000	55.0000	40.00000	0.063	0.0444	123968	0.85915493
100	37.612	22.171	15.441	95.0000	56.0000	39.00000	0.063	0.0444	126222	0.85915493
Promedio	37.850	21.85	15.9951	95.600	55.2000	40.40000	0.0656	0.0462	120178	0.85915493
Des. Est	0.193960	0.158368	0.316735	0.489898	0.400000	0.800000	0.005200	0.003662	8751.1	0.000000

Secuencia 14										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	49.886	30.882	19.004	126.0000	78.0000	48.00000	0.102	0.0718	108588	0.867605634
97	44.739	26.527	18.212	113.0000	67.0000	46.00000	0.077	0.0542	123558	0.867605634
98	50.678	31.674	19.004	128.0000	80.0000	48.00000	0.089	0.0627	127640	0.867605634
99	44.739	27.714	17.025	113.0000	70.0000	43.00000	0.077	0.0542	129091	0.867605634
100	50.282	30.486	19.796	127.0000	77.0000	50.00000	0.102	0.0718	107196	0.867605634
Promedio	48.065	29.46	18.6082	121.400	74.4000	47.00000	0.0894	0.0630	119215	0.867605634
Des. Est	2.726961	1.981179	0.936916	6.887670	5.003998	2.366432	0.011182	0.007875	9431.5	0.000000

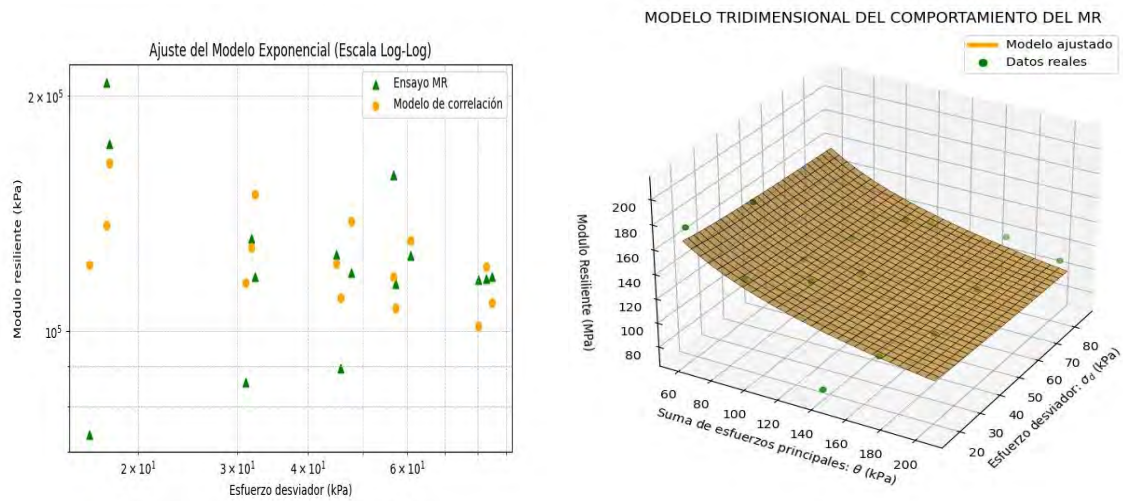
Secuencia 15										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	51.469	36.029	15.441	130.0000	91.0000	39.00000	0.127	0.0894	101748	0.867605634
97	49.490	36.029	13.461	125.0000	91.0000	34.00000	0.127	0.0894	101748	0.85915493
98	53.449	34.841	18.608	135.0000	88.0000	47.00000	0.101	0.0711	123723	0.885915493
99	53.845	37.216	16.629	136.0000	94.0000	42.00000	0.127	0.0894	105102	0.876760563
100	58.200	38.800	19.400	147.0000	98.0000	49.00000	0.114	0.0803	122070	0.895070423
Promedio	53.291	36.58	16.7078	134.600	92.4000	42.20000	0.1192	0.0839	110878	0.876901408
Des. Est	2.905087	1.339120	2.145283	7.337575	3.382307	5.418487	0.010400	0.007324	9902.8	0.012749

Anexo K.3.4.1: Resumen de las secuencias para hallar el Módulo Resiliente para suelo +20% RAP

Datos iniciales de la muestra: Diámetro = 71 mm, Altura = 142 mm, LVDT inicial = 9.829 mm

Número de Secuencia	Presión de Confinamiento S3	Esfuerzo desviador máximo Teórico	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Des. Estándar Esfuerzo desviador	Suma de esfuerzos principales	Deform resiliente media	Des. Estándar de Tensión resiliente	Módulo resiliente medio	Des. Estándar de Módulo resiliente
	kPa	kPa	kPa		kPa	%		kPa	
1	41.40	13.80	17.6000	2.2271	141.80	0.018	0.0000	99968	7704.73
2	41.40	27.60	33.4000	0.4899	157.60	0.027	0.0000	124811	1830.67
3	41.40	41.40	52.0000	1.7205	176.20	0.057	0.0045	91536	8082.52
4	41.40	55.20	72.0000	5.8856	196.20	0.052	0.0069	140138	9637.90
5	41.40	68.90	97.2000	7.9649	221.40	0.083	0.0087	118315	5600.11
6	27.60	13.80	17.6000	0.0000	100.40	0.009	0.0000	192246	8738.46
7	27.60	27.60	36.2000	1.0198	119.00	0.036	0.0000	100792	2728.06
8	27.60	41.40	55.8000	1.7436	138.60	0.051	0.0045	111145	9858.15
9	27.60	55.20	75.6000	6.6212	158.40	0.052	0.0145	155998	33385.71
10	27.60	68.90	97.4000	7.0541	180.20	0.091	0.0080	106872	4043.64
11	13.80	13.80	18.6000	0.4000	60.00	0.008	0.0000	220100	5797.13
12	13.80	27.60	36.8000	0.4000	78.20	0.032	0.0071	119494	22382.78
13	13.80	41.40	55.2000	0.4899	96.60	0.046	0.0037	120178	8751.08
14	13.80	55.20	74.4000	6.8877	115.80	0.063	0.0079	119215	9431.54
15	13.80	68.90	92.4000	7.3376	133.80	0.084	0.0073	110878	9902.76

Anexo K.3.4.2: Gráficas del Modelo tridimensional del MR y el ajuste del modelo exponencial



Anexo J.3.5: Resultado final del Módulo Resiliente para el suelo + 20% RAP

Layers						
Layer	Thickness (mm)	Depth (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction	
1	60	60	2482	0.35	1	+
2	180	240	207	0.4	1	-
3	150	390	125	0.4	1	+
4	0	∞	123.8	0.31	1	-

Loads					
Load	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	80	750	184.263

$$\sigma_1 = 96.9$$

$$\sigma_2 = 8.42$$

$$\sigma_3 = 8.42$$

$$k_1 = 2166.5556$$

$$k_2 = -0.3458$$

$$k_3 = -0.1153$$

$$P_a = 69.6 \text{ kPa}$$

$$\theta = 113.74$$

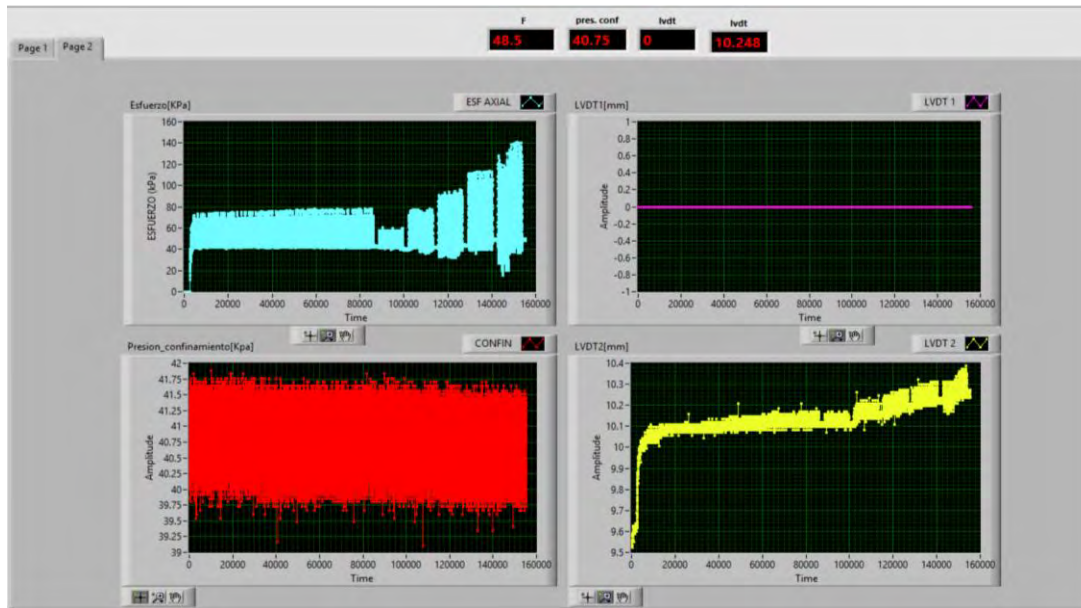
$$\sigma_d = 88.48$$

$$MR = 2166.5556 \times P_a \times \left[\frac{113.74}{P_a} \right]^{-0.3458} \times \left[\frac{88.48}{P_a} \right]^{-0.1153}$$

$$\mathbf{MR = 123.77 \text{ MPa}}$$

Anexo K.4: Módulo Resiliente del suelo + 25% de RAP

Anexo K.4.1: Para una presión de confinamiento de $P = 41.4$ kPa



Secuencia 0

Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
746	10.159	10.121	71.0000	44.00000
747	10.146	10.121	71.0000	44.00000
748	10.159	10.121	72.0000	43.00000
749	10.146	10.121	71.0000	43.00000
750	10.172	10.121	71.0000	44.00000

Secuencia 1

Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.146	10.121	58.0000	42.00000
97	10.159	10.134	57.0000	41.00000
98	10.159	10.134	60.0000	42.00000
99	10.159	10.134	58.0000	42.00000
100	10.146	10.134	57.0000	41.00000

Secuencia 2

Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.21	10.182	75.0000	42.00000
97	10.223	10.182	72.0000	42.00000
98	10.223	10.182	78.0000	43.00000
99	10.223	10.182	72.0000	43.00000
100	10.248	10.169	71.0000	43.00000

Secuencia 3

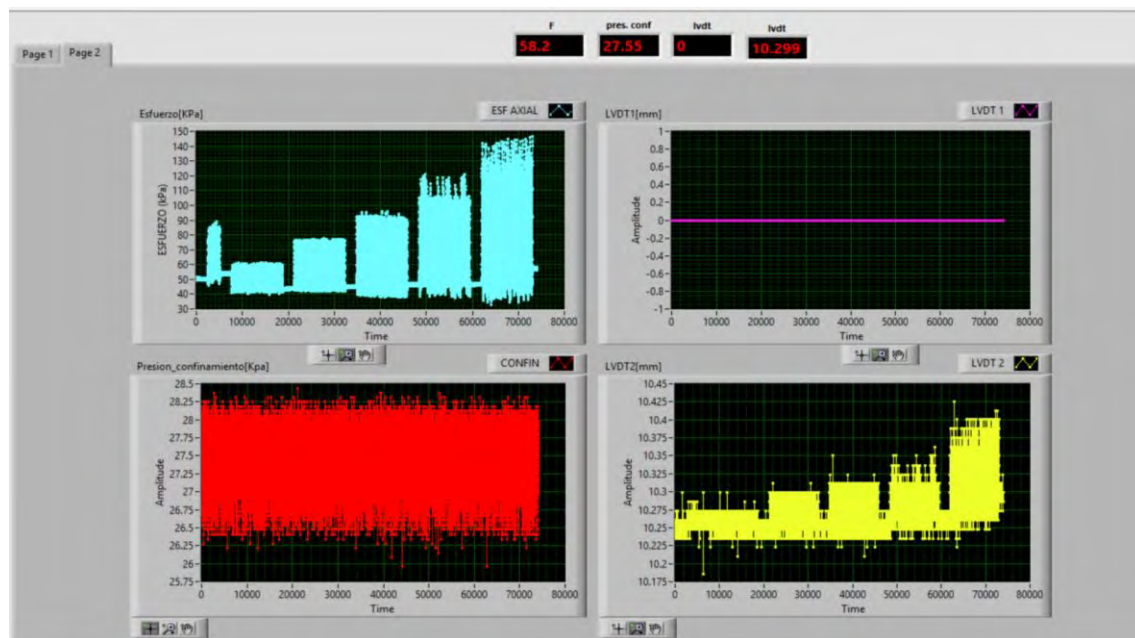
Presión Confinamiento $P = 41.4$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.273	10.235	96.0000	46.00000
97	10.273	10.223	91.0000	45.00000
98	10.273	10.223	89.0000	44.00000
99	10.273	10.223	87.0000	44.00000
100	10.273	10.223	89.0000	44.00000

Secuencia 4				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.286	10.228	100.0000	46.00000
97	10.299	10.228	102.0000	45.00000
98	10.286	10.228	101.0000	46.00000
99	10.312	10.24	113.0000	50.00000
100	10.299	10.228	106.0000	49.00000

Secuencia 5				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.388	10.283	140.0000	55.00000
97	10.375	10.283	134.0000	48.00000
98	10.35	10.283	125.0000	48.00000
99	10.35	10.283	128.0000	46.00000
100	10.337	10.283	120.0000	49.00000

Anexo K.4.2: Para una presión de confinamiento de P = 27.6 kPa



Secuencia 6				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.273	10.261	60.0000	42.00000
97	10.273	10.261	60.0000	42.00000
98	10.273	10.261	60.0000	42.00000
99	10.273	10.261	60.0000	42.00000
100	10.273	10.261	60.0000	44.00000

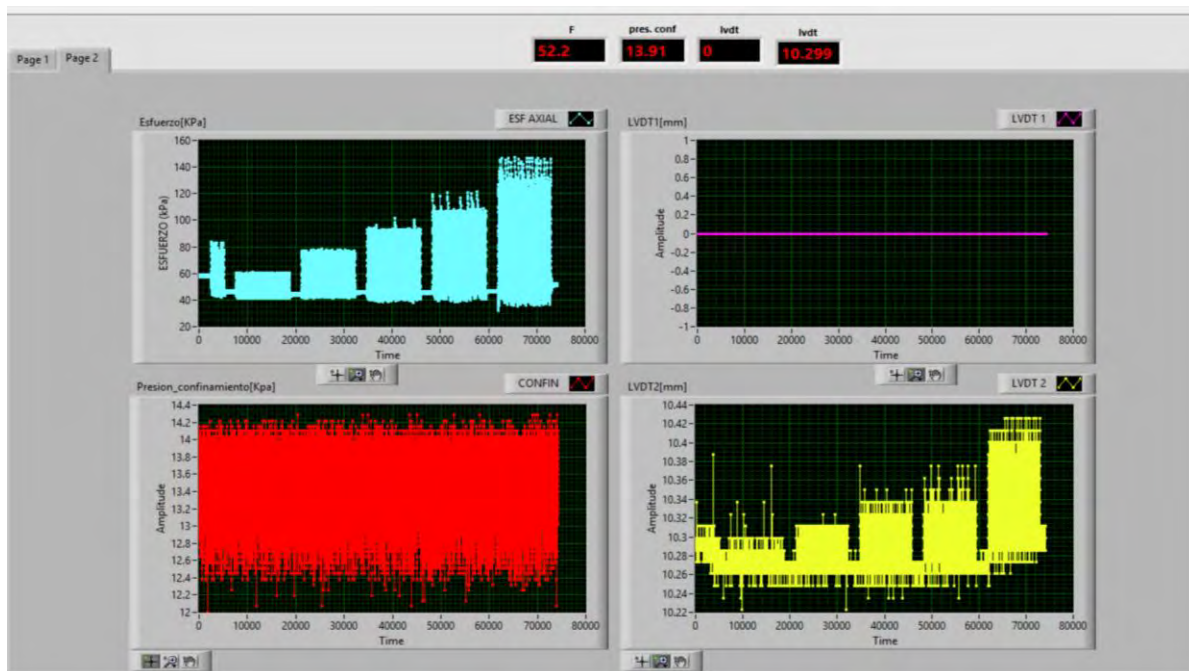
Secuencia 7				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.299	10.276	76.0000	43.00000
97	10.286	10.276	76.0000	44.00000
98	10.299	10.276	76.0000	44.00000
99	10.299	10.261	75.0000	44.00000
100	10.299	10.276	76.0000	45.00000

Secuencia 8				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm		kPa	kPa
96	10.312	10.261	90.0000	44.00000
97	10.312	10.261	89.0000	45.00000
98	10.312	10.261	90.0000	44.00000
99	10.312	10.261	90.0000	44.00000
100	10.312	10.261	89.0000	46.00000

Secuencia 9				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm		kPa	kPa
96	10.312	10.261	104.0000	46.00000
97	10.312	10.261	101.0000	46.00000
98	10.312	10.261	102.0000	46.00000
99	10.312	10.261	106.0000	46.00000
100	10.312	10.261	103.0000	48.00000

Secuencia 10				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm		kPa	kPa
96	10.413	10.332	146.0000	55.00000
97	10.401	10.332	135.0000	51.00000
98	10.401	10.306	131.0000	47.00000
99	10.388	10.306	124.0000	48.00000
100	10.401	10.332	147.0000	58.00000

Anexo K.4.3: Para una presión de confinamiento de P = 13.8 kPa



Secuencia 11				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_l máx.	σ_l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.286	10.273	60.0000	42.00000
97	10.299	10.273	61.0000	42.00000
98	10.286	10.273	60.0000	42.00000
99	10.286	10.273	60.0000	42.00000
100	10.286	10.273	60.0000	44.00000

Secuencia 12				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_l máx.	σ_l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.312	10.288	76.0000	44.00000
97	10.312	10.288	76.0000	43.00000
98	10.312	10.288	77.0000	43.00000
99	10.312	10.288	76.0000	43.00000
100	10.312	10.288	75.0000	46.00000

Secuencia 13				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_l máx.	σ_l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.324	10.288	93.0000	44.00000
97	10.324	10.288	91.0000	45.00000
98	10.337	10.288	94.0000	45.00000
99	10.324	10.288	92.0000	44.00000
100	10.35	10.288	93.0000	46.00000

Secuencia 14				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_l máx.	σ_l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.337	10.273	109.0000	46.00000
97	10.337	10.273	106.0000	46.00000
98	10.375	10.273	108.0000	46.00000
99	10.337	10.273	105.0000	46.00000
100	10.337	10.273	107.0000	47.00000

Secuencia 15				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_l máx.	σ_l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.401	10.332	128.0000	48.00000
97	10.401	10.332	128.0000	47.00000
98	10.401	10.332	124.0000	48.00000
99	10.426	10.344	146.0000	52.00000
100	10.426	10.344	134.0000	51.00000

Anexo K.4.4: Resultados del Módulo Resiliente para suelo + 25% de RAP compactación al 95%

Secuencia 0										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
746	28.110	10.690	17.420	71.0000	27.0000	44.00000	0.038	0.0268	100895	0.411971831
747	28.110	10.690	17.420	71.0000	27.0000	44.00000	0.025	0.0176	153360	0.411971831
748	28.506	11.482	17.025	72.0000	29.0000	43.00000	0.038	0.0268	108368	0.411971831
749	28.110	11.086	17.025	71.0000	28.0000	43.00000	0.025	0.0176	159040	0.411971831
750	28.110	10.690	17.420	71.0000	27.0000	44.00000	0.051	0.0359	75176	0.411971831
Promedio	28.189	10.93	17.2621	71.200	27.6000	43.60000	0.0354	0.0249	119368	0.411971831
Des. Est	0.158368	0.316735	0.193960	0.400000	0.800000	0.489898	0.009728	0.006851	32076.4	0.000000

Secuencia 1										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	22.963	6.335	16.629	58.0000	16.0000	42.00000	0.025	0.0176	90880	0.411971831
97	22.567	6.335	16.233	57.0000	16.0000	41.00000	0.025	0.0176	90880	0.421126761
98	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.025	0.0176	102240	0.421126761
99	22.963	6.335	16.629	58.0000	16.0000	42.00000	0.025	0.0176	90880	0.421126761
100	22.567	6.335	16.233	57.0000	16.0000	41.00000	0.012	0.0085	189333	0.421126761
Promedio	22.963	6.49	16.4702	58.000	16.4000	41.60000	0.0224	0.0158	112843	0.419295775
Des. Est	0.433708	0.316735	0.193960	1.095445	0.800000	0.489898	0.005200	0.003662	38497.6	0.003662

Secuencia 2										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	29.694	13.065	16.629	75.0000	33.0000	42.00000	0.028	0.0197	167357	0.454929577
97	28.506	11.878	16.629	72.0000	30.0000	42.00000	0.041	0.0289	103902	0.454929577
98	30.882	13.857	17.025	78.0000	35.0000	43.00000	0.041	0.0289	121220	0.454929577
99	28.506	11.482	17.025	72.0000	29.0000	43.00000	0.041	0.0289	100439	0.454929577
100	28.110	11.086	17.025	71.0000	28.0000	43.00000	0.079	0.0556	50329	0.445774648
Promedio	29.140	12.27	16.8662	73.600	31.0000	42.60000	0.046	0.0324	108649	0.453098592
Des. Est	1.020212	1.032431	0.193960	2.576820	2.607681	0.489898	0.017251	0.012149	37671.8	0.003662

Secuencia 3										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	38.008	19.796	18.212	96.0000	50.0000	46.00000	0.038	0.0268	186842	0.492253521
97	36.029	18.212	17.816	91.0000	46.0000	45.00000	0.050	0.0352	130640	0.483802817
98	35.237	17.816	17.420	89.0000	45.0000	44.00000	0.050	0.0352	127800	0.483802817
99	34.445	17.025	17.420	87.0000	43.0000	44.00000	0.050	0.0352	122120	0.483802817
100	35.237	17.816	17.420	89.0000	45.0000	44.00000	0.050	0.0352	127800	0.483802817
Promedio	35.791	18.13	17.6580	90.400	45.8000	44.60000	0.0476	0.0335	139040	0.485492958
Des. Est	1.216445	0.916619	0.316735	3.072458	2.315167	0.800000	0.004800	0.003380	24060.6	0.003380

Secuencia 4										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	39.592	21.380	18.212	100.0000	54.0000	46.00000	0.058	0.0408	132207	0.487323944
97	40.384	22.567	17.816	102.0000	57.0000	45.00000	0.071	0.0500	114000	0.487323944
98	39.988	21.776	18.212	101.0000	55.0000	46.00000	0.058	0.0408	134655	0.487323944
99	44.739	24.943	19.796	113.0000	63.0000	50.00000	0.072	0.0507	124250	0.495774648
100	41.967	22.567	19.400	106.0000	57.0000	49.00000	0.071	0.0500	114000	0.487323944
Promedio	41.334	22.65	18.6874	104.400	57.2000	47.20000	0.066	0.0465	123822	0.489014085
Des. Est	1.883843	1.236891	0.767716	4.758151	3.124100	1.939072	0.006542	0.004607	8726.9	0.003380

Secuencia 5										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	55.429	33.653	21.776	140.0000	85.0000	55.00000	0.105	0.0739	114952	0.526056338
97	53.053	34.049	19.004	134.0000	86.0000	48.00000	0.092	0.0648	132739	0.526056338
98	49.490	30.486	19.004	125.0000	77.0000	48.00000	0.067	0.0472	163194	0.526056338
99	50.678	32.465	18.212	128.0000	82.0000	46.00000	0.067	0.0472	173791	0.526056338
100	47.510	28.110	19.400	120.0000	71.0000	49.00000	0.054	0.0380	186704	0.526056338
Promedio	51.232	31.75	19.4792	129.400	80.2000	49.20000	0.077	0.0542	154276	0.526056338
Des. Est	2.761235	2.202962	1.211280	6.974238	5.564171	3.059412	0.018644	0.013130	26540.9	0.000000

Secuencia 6										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.012	0.0085	213000	0.51056338
97	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.012	0.0085	213000	0.51056338
98	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.012	0.0085	213000	0.51056338
99	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.012	0.0085	213000	0.51056338
100	23.755	6.335	17.420	60.0000	16.0000	44.00000	0.012	0.0085	189333	0.51056338
Promedio	23.755	6.97	16.7870	60.000	17.6000	42.40000	0.012	0.0085	208267	0.51056338
Des. Est	0.000000	0.316735	0.316735	0.000000	0.800000	0.800000	0.000000	0.000000	9466.7	0.000000

Secuencia 7										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	30.090	13.065	17.025	76.0000	33.0000	43.00000	0.023	0.0162	203739	0.521126761
97	30.090	12.669	17.420	76.0000	32.0000	44.00000	0.010	0.0070	454400	0.521126761
98	30.090	12.669	17.420	76.0000	32.0000	44.00000	0.023	0.0162	197565	0.521126761
99	29.694	12.273	17.420	75.0000	31.0000	44.00000	0.038	0.0268	115842	0.51056338
100	30.090	12.273	17.816	76.0000	31.0000	45.00000	0.023	0.0162	191391	0.521126761
Promedio	30.011	12.59	17.4204	75.800	31.8000	44.00000	0.0234	0.0165	232588	0.519014085
Des. Est	0.158368	0.296279	0.250401	0.400000	0.748331	0.632456	0.008868	0.006245	115400.3	0.004225

Secuencia 8										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	35.633	18.212	17.420	90.0000	46.0000	44.00000	0.051	0.0359	128078	0.51056338
97	35.237	17.420	17.816	89.0000	44.0000	45.00000	0.051	0.0359	122510	0.51056338
98	35.633	18.212	17.420	90.0000	46.0000	44.00000	0.051	0.0359	128078	0.51056338
99	35.633	18.212	17.420	90.0000	46.0000	44.00000	0.051	0.0359	128078	0.51056338
100	35.237	17.025	18.212	89.0000	43.0000	46.00000	0.051	0.0359	119725	0.51056338
Promedio	35.474	17.82	17.6580	89.600	45.0000	44.60000	0.051	0.0359	125294	0.51056338
Des. Est	0.193960	0.500803	0.316735	0.489898	1.264911	0.800000	0.000000	0.000000	3521.9	0.000000

Secuencia 9										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	41.176	22.963	18.212	104.0000	58.0000	46.00000	0.051	0.0359	161490	0.51056338
97	39.988	21.776	18.212	101.0000	55.0000	46.00000	0.051	0.0359	153137	0.51056338
98	40.384	22.171	18.212	102.0000	56.0000	46.00000	0.051	0.0359	155922	0.51056338
99	41.967	23.755	18.212	106.0000	60.0000	46.00000	0.051	0.0359	167059	0.51056338
100	40.780	21.776	19.004	103.0000	55.0000	48.00000	0.051	0.0359	153137	0.51056338
Promedio	40.859	22.49	18.3707	103.200	56.8000	46.40000	0.051	0.0359	158149	0.51056338
Des. Est	0.681165	0.767716	0.316735	1.720465	1.939072	0.800000	0.000000	0.000000	5399.0	0.000000

Secuencia 10										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	57.804	36.029	21.776	146.0000	91.0000	55.00000	0.081	0.0570	159531	0.56056338
97	53.449	33.257	20.192	135.0000	84.0000	51.00000	0.069	0.0486	172870	0.56056338
98	51.865	33.257	18.608	131.0000	84.0000	47.00000	0.095	0.0669	125558	0.542253521
99	49.094	30.090	19.004	124.0000	76.0000	48.00000	0.082	0.0577	131610	0.542253521
100	58.200	35.237	22.963	147.0000	89.0000	58.00000	0.069	0.0486	183159	0.56056338
Promedio	54.083	33.57	20.5086	136.600	84.8000	51.80000	0.0792	0.0558	154546	0.553239437
Des. Est	3.493076	2.055732	1.649611	8.822698	5.192302	4.166533	0.009683	0.006819	22564.2	0.008970

Secuencia 11										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.519014085
97	24.151	7.522	16.629	61.0000	19.0000	42.00000	0.026	0.0183	103769	0.519014085
98	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.519014085
99	23.755	7.127	16.629	60.0000	18.0000	42.00000	0.013	0.0092	196615	0.519014085
100	23.755	6.335	17.420	60.0000	16.0000	44.00000	0.013	0.0092	174769	0.519014085
Promedio	23.834	7.05	16.7870	60.200	17.8000	42.40000	0.0156	0.0110	173677	0.519014085
Des. Est	0.158368	0.387920	0.316735	0.400000	0.979796	0.800000	0.005200	0.003662	35963.3	0.000000

Secuencia 12										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	30.090	12.669	17.420	76.0000	32.0000	44.00000	0.024	0.0169	189333	0.529577465
97	30.090	13.065	17.025	76.0000	33.0000	43.00000	0.024	0.0169	195250	0.529577465
98	30.486	13.461	17.025	77.0000	34.0000	43.00000	0.024	0.0169	201167	0.529577465
99	30.090	13.065	17.025	76.0000	33.0000	43.00000	0.024	0.0169	195250	0.529577465
100	29.694	11.482	18.212	75.0000	29.0000	46.00000	0.024	0.0169	171583	0.529577465
Promedio	30.090	12.75	17.3413	76.000	32.2000	43.80000	0.024	0.0169	190517	0.529577465
Des. Est	0.250401	0.681165	0.461717	0.632456	1.720465	1.166190	0.000000	0.000000	10179.4	0.000000

Secuencia 13										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	36.820	19.400	17.420	93.0000	49.0000	44.00000	0.036	0.0254	193278	0.529577465
97	36.029	18.212	17.816	91.0000	46.0000	45.00000	0.036	0.0254	181444	0.529577465
98	37.216	19.400	17.816	94.0000	49.0000	45.00000	0.049	0.0345	142000	0.529577465
99	36.425	19.004	17.420	92.0000	48.0000	44.00000	0.036	0.0254	189333	0.529577465
100	36.820	18.608	18.212	93.0000	47.0000	46.00000	0.062	0.0437	107645	0.529577465
Promedio	36.662	18.92	17.7372	92.600	47.8000	44.80000	0.0438	0.0308	162740	0.529577465
Des. Est	0.403760	0.461717	0.296279	1.019804	1.166190	0.748331	0.010400	0.007324	33030.9	0.000000

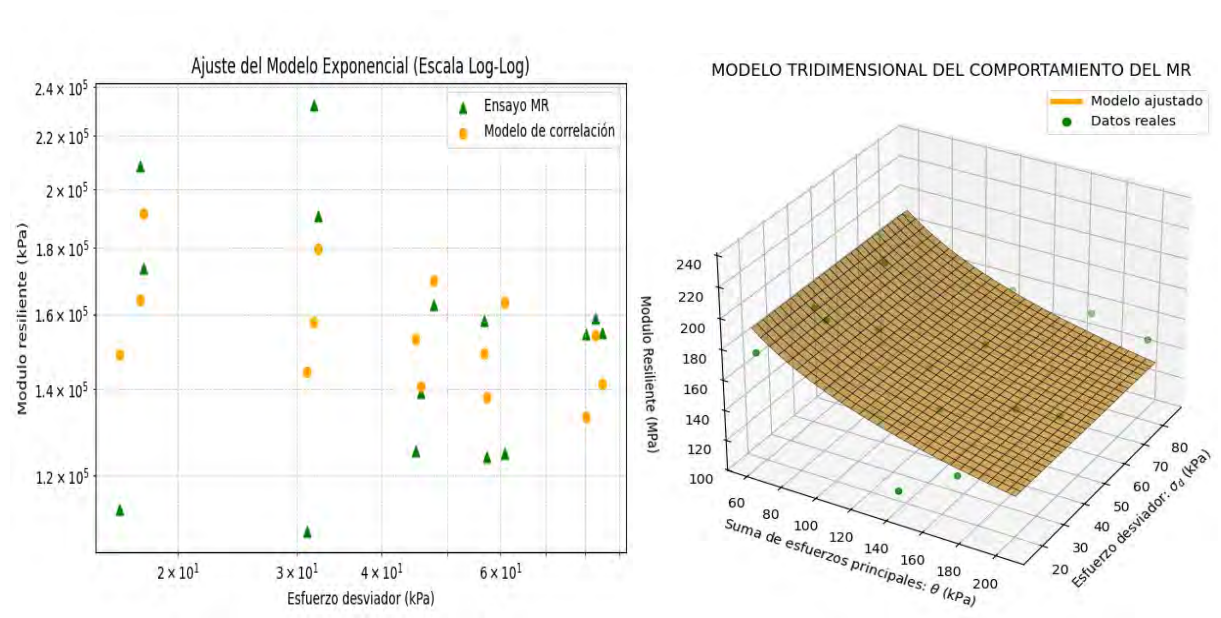
Secuencia 14										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	43.155	24.943	18.212	109.0000	63.0000	46.00000	0.064	0.0451	139781	0.519014085
97	41.967	23.755	18.212	106.0000	60.0000	46.00000	0.064	0.0451	133125	0.519014085
98	42.759	24.547	18.212	108.0000	62.0000	46.00000	0.102	0.0718	86314	0.519014085
99	41.572	23.359	18.212	105.0000	59.0000	46.00000	0.064	0.0451	130906	0.519014085
100	42.363	23.755	18.608	107.0000	60.0000	47.00000	0.064	0.0451	133125	0.519014085
Promedio	42.363	24.07	18.2915	107.000	60.8000	46.20000	0.0716	0.0504	124650	0.519014085
Des. Est	0.559914	0.581880	0.158368	1.414214	1.469694	0.400000	0.015200	0.010704	19398.0	0.000000

Secuencia 15										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	50.678	31.674	19.004	128.0000	80.0000	48.00000	0.069	0.0486	164638	0.56056338
97	50.678	32.069	18.608	128.0000	81.0000	47.00000	0.069	0.0486	166696	0.56056338
98	49.094	30.090	19.004	124.0000	76.0000	48.00000	0.069	0.0486	156406	0.56056338
99	57.804	37.216	20.588	146.0000	94.0000	52.00000	0.082	0.0577	162780	0.569014085
100	53.053	32.861	20.192	134.0000	83.0000	51.00000	0.082	0.0577	143732	0.569014085
Promedio	52.261	32.78	19.4792	132.000	82.8000	49.20000	0.0742	0.0523	158850	0.563943662
Des. Est	3.046263	2.393920	0.767716	7.694154	6.046487	1.939072	0.006369	0.004485	8307.1	0.004140

Anexo K.4.4.1: Resumen de las secuencias para hallar el Módulo Resiliente para suelo +25% RAP

Datos iniciales de la muestra: Diámetro = 71 mm, Altura = 142 mm, LVDT inicial = 9.536 mm									
Número de Secuencia	Presión de Confinamiento S3	Esfuerzo desviador máximo Teórico	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Des. Estándar Esfuerzo desviador	Suma de esfuerzos principales	Deform resiliente media	Des. Estándar de Tensión resiliente	Módulo resiliente medio	Des. Estándar de Módulo resiliente
	kPa	kPa	kPa		kPa	%		kPa	
1	41.40	13.80	16.4000	1.0954	140.60	0.016	0.0037	112843	38497.57
2	41.40	27.60	31.0000	2.5768	155.20	0.032	0.0121	108649	37671.76
3	41.40	41.40	45.8000	3.0725	170.00	0.034	0.0034	139040	24060.60
4	41.40	55.20	57.2000	4.7582	181.40	0.046	0.0046	123822	8726.86
5	41.40	68.90	80.2000	6.9742	204.40	0.054	0.0131	154276	26540.94
6	27.60	13.80	17.6000	0.0000	100.40	0.008	0.0000	208267	9466.67
7	27.60	27.60	31.8000	0.4000	114.60	0.016	0.0062	232588	115400.34
8	27.60	41.40	45.0000	0.4899	127.80	0.036	0.0000	125294	3521.91
9	27.60	55.20	56.8000	1.7205	139.60	0.036	0.0000	158149	5398.98
10	27.60	68.90	84.8000	8.8227	167.60	0.056	0.0068	154546	22564.18
11	13.80	13.80	17.8000	0.4000	59.20	0.011	0.0037	173677	35963.31
12	13.80	27.60	32.2000	0.6325	73.60	0.017	0.0000	190517	10179.42
13	13.80	41.40	47.8000	1.0198	89.20	0.031	0.0073	162740	33030.91
14	13.80	55.20	60.8000	1.4142	102.20	0.050	0.0107	124650	19398.02
15	13.80	68.90	82.8000	7.6942	124.20	0.052	0.0045	158850	8307.07

Anexo K.4.4.2: Gráficas del Modelo tridimensional del MR y el ajuste del modelo exponencial



Anexo K.4.5: Resultado final del Módulo Resiliente para el suelo + 25% RAP

Layers					
Layer	Thickness (mm)	Depth (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	60	60	2482	0.35	1
2	170	230	207	0.4	1
3	150	380	125	0.4	1
4	0	∞	154	0.27	1

Loads					
Load	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	80	750	184.263

$$\sigma_1 = 104.00$$

$$\sigma_2 = 10.3$$

$$\sigma_3 = 10.3$$

$$k_1 = 2624.0636$$

$$k_2 = -0.2925$$

$$k_3 = 0.0003$$

$$P_a = 69.6 \text{ kPa}$$

$$\theta = 124.60$$

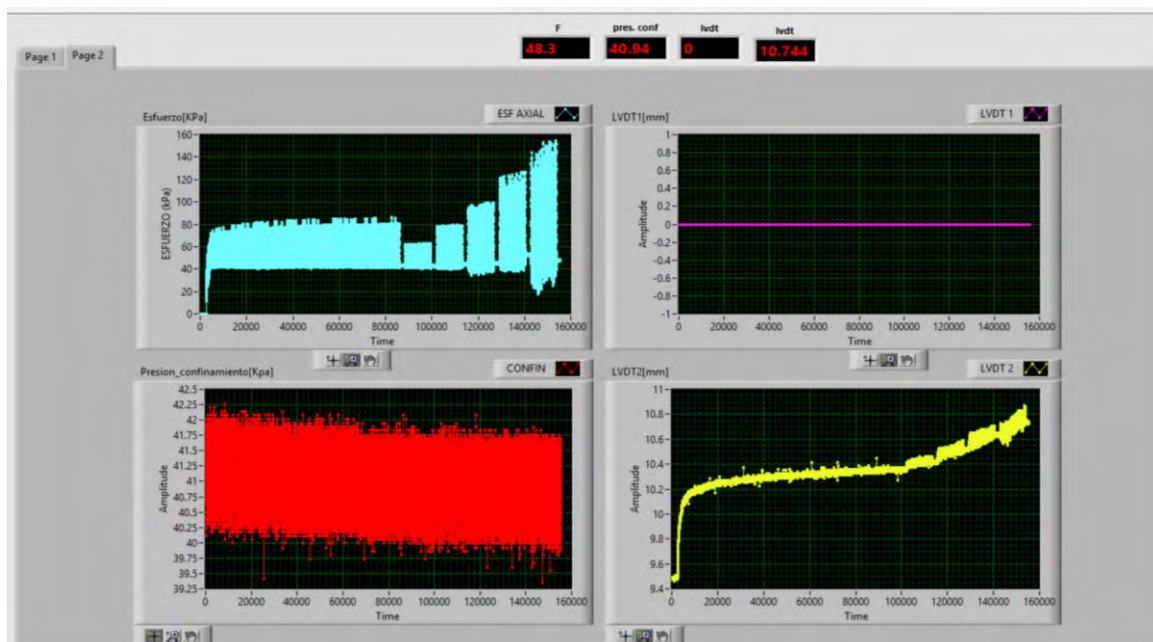
$$\sigma_d = 93.70$$

$$MR = 2624.0636 \times P_a \times \left[\frac{124.60}{P_a} \right]^{-0.2925} \times \left[\frac{93.70}{P_a} \right]^{0.0003}$$

$$MR = 154.04 \text{ MPa}$$

Anexo K.5: Módulo Resiliente del suelo + 30% de RAP

Anexo K.5.1: Para una presión de confinamiento de $P = 41.4 \text{ kPa}$



Secuencia 0				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
746	10.375	10.35	80.0000	44.00000
747	10.388	10.35	80.0000	44.00000
748	10.375	10.35	80.0000	44.00000
749	10.362	10.35	79.0000	44.00000
750	10.375	10.35	80.0000	44.00000

Secuencia 1				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.375	10.36	62.0000	42.00000
97	10.375	10.36	62.0000	42.00000
98	10.375	10.36	62.0000	42.00000
99	10.375	10.36	62.0000	42.00000
100	10.375	10.36	63.0000	43.00000

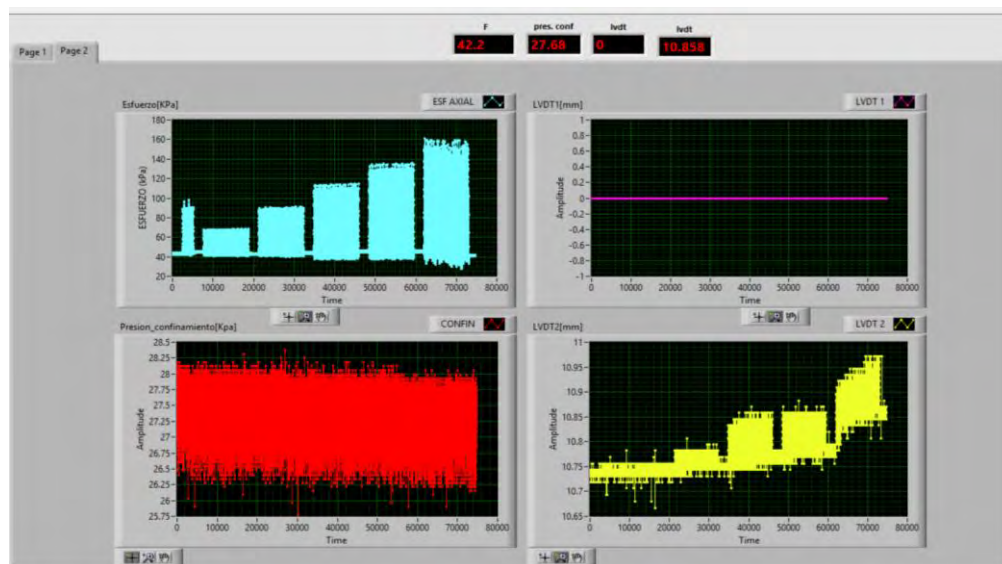
Secuencia 2				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.464	10.403	79.0000	44.00000
97	10.464	10.403	78.0000	44.00000
98	10.464	10.403	79.0000	43.00000
99	10.426	10.403	79.0000	43.00000
100	10.426	10.413	78.0000	46.00000

Secuencia 3				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.566	10.535	93.0000	44.00000
97	10.591	10.535	100.0000	44.00000
98	10.578	10.522	96.0000	44.00000
99	10.566	10.535	95.0000	44.00000
100	10.591	10.535	99.0000	46.00000

Secuencia 4				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.680	10.629	114.0000	46.00000
97	10.706	10.642	126.0000	50.00000
98	10.693	10.642	119.0000	48.00000
99	10.693	10.629	118.0000	46.00000
100	10.706	10.642	127.0000	53.00000

Secuencia 5				
Presión Confinamiento P = 41.4 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.833	10.751	143.0000	44.00000
97	10.833	10.751	140.0000	44.00000
98	10.871	10.751	155.0000	46.00000
99	10.845	10.751	144.0000	48.00000
100	10.858	10.763	152.0000	48.00000

Anexo K.5.2: Para una presión de confinamiento de $P = 27.6$ kPa



Secuencia 6

Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.756	10.731	67.0000	42.00000
97	10.756	10.731	67.0000	42.00000
98	10.756	10.731	68.0000	42.00000
99	10.756	10.744	67.0000	42.00000
100	10.756	10.731	68.0000	44.00000

Secuencia 7

Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.782	10.731	89.0000	43.00000
97	10.795	10.731	90.0000	43.00000
98	10.782	10.731	89.0000	43.00000
99	10.782	10.731	89.0000	43.00000
100	10.782	10.744	90.0000	44.00000

Secuencia 8

Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.858	10.779	110.0000	44.00000
97	10.858	10.792	110.0000	44.00000
98	10.845	10.779	110.0000	44.00000
99	10.845	10.792	104.0000	44.00000
100	10.858	10.779	115.0000	46.00000

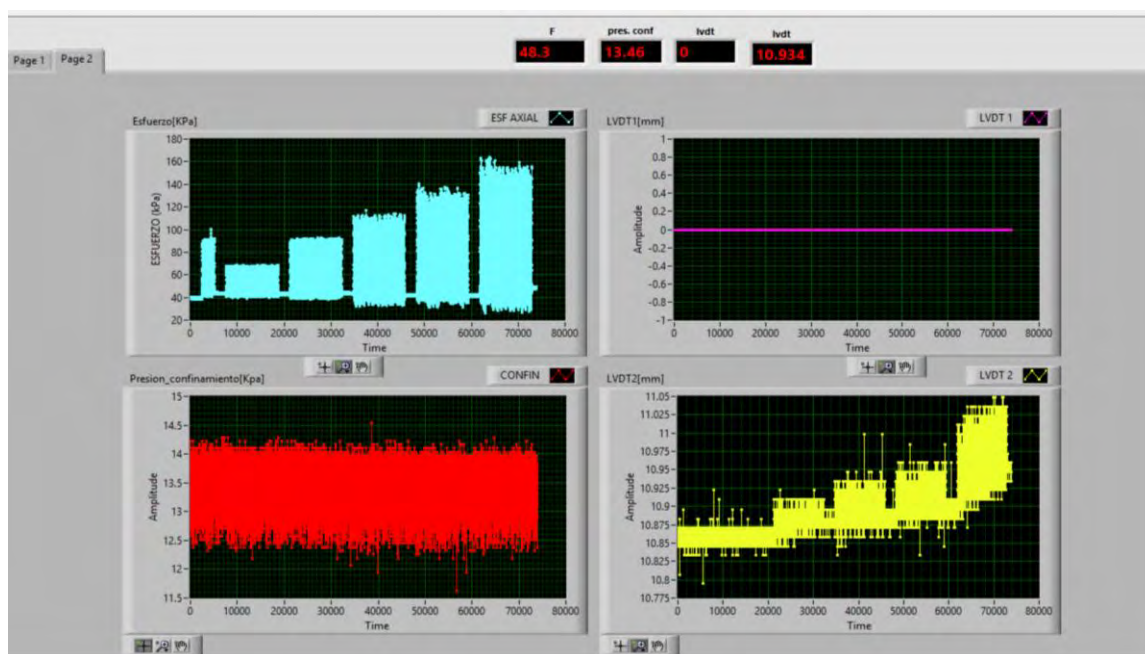
Secuencia 9

Presión Confinamiento $P = 27.6$ kPa

Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.858	10.782	129.0000	44.00000
97	10.858	10.782	136.0000	45.00000
98	10.858	10.782	128.0000	44.00000
99	10.858	10.782	128.0000	44.00000
100	10.858	10.782	134.0000	46.00000

Secuencia 10				
Presión Confinamiento P = 27.6 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.972	10.858	150.0000	42.00000
97	10.960	10.858	152.0000	42.00000
98	10.972	10.858	155.0000	42.00000
99	10.960	10.883	146.0000	47.00000
100	10.972	10.858	150.0000	42.00000

Anexo K.5.3: Para una presión de confinamiento de P = 13.8 kPa



Secuencia 11				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.871	10.852	68.0000	42.00000
97	10.871	10.852	67.0000	42.00000
98	10.883	10.852	68.0000	42.00000
99	10.871	10.852	67.0000	41.00000
100	10.871	10.852	68.0000	42.00000

Secuencia 12				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ_1 máx.	σ_1 inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.896	10.858	91.0000	43.00000
97	10.909	10.858	91.0000	43.00000
98	10.909	10.858	91.0000	43.00000
99	10.909	10.858	91.0000	43.00000
100	10.909	10.883	91.0000	44.00000

Secuencia 13				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ l máx.	σ l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.922	10.883	106.0000	39.00000
97	10.922	10.883	106.0000	39.00000
98	10.922	10.883	104.0000	42.00000
99	10.934	10.883	112.0000	44.00000
100	10.934	10.883	113.0000	43.00000

Secuencia 14				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ l máx.	σ l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	10.96	10.896	130.0000	42.00000
97	10.947	10.896	130.0000	42.00000
98	10.947	10.896	131.0000	42.00000
99	10.985	10.896	131.0000	43.00000
100	10.960	10.896	131.0000	42.00000

Secuencia 15				
Presión Confinamiento P = 13.8 kPa				
Ciclo	LVDT máx.	LVDT i	σ l máx.	σ l inferior
			Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado
	mm	mm	kPa	kPa
96	11.036	10.934	146.0000	40.00000
97	11.036	10.934	146.0000	39.00000
98	11.036	10.934	145.0000	39.00000
99	11.036	10.947	145.0000	46.00000
100	11.036	10.960	156.0000	49.00000

Anexo K.5.4: Resultados del Módulo Resiliente para suelo + 30% de RAP compactación al 95%

Secuencia 0										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
746	31.674	14.253	17.420	80.0000	36.0000	44.00000	0.025	0.0176	204480	0.60000
747	31.674	14.253	17.420	80.0000	36.0000	44.00000	0.038	0.0268	134526	0.60000
748	31.674	14.253	17.420	80.0000	36.0000	44.00000	0.025	0.0176	204480	0.60000
749	31.278	13.857	17.420	79.0000	35.0000	44.00000	0.012	0.0085	414167	0.60000
750	31.674	14.253	17.420	80.0000	36.0000	44.00000	0.025	0.0176	204480	0.60000
Promedio	31.594	14.17	17.4204	79.800	35.8000	44.00000	0.025	0.0176	232427	0.600000
Des. Est	0.158368	0.158368	0.000000	0.400000	0.400000	0.000000	0.008222	0.005790	94822.9	0.000000

Secuencia 1										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	24.547	7.918	16.629	62.0000	20.0000	42.00000	0.015	0.0106	189333	0.60704
97	24.547	7.918	16.629	62.0000	20.0000	42.00000	0.015	0.0106	189333	0.60704
98	24.547	7.918	16.629	62.0000	20.0000	42.00000	0.015	0.0106	189333	0.60704
99	24.547	7.918	16.629	62.0000	20.0000	42.00000	0.015	0.0106	189333	0.60704
100	24.943	7.918	17.025	63.0000	20.0000	43.00000	0.015	0.0106	189333	0.60704
Promedio	24.626	7.92	16.7078	62.200	20.0000	42.20000	0.015	0.0106	189333	0.607042
Des. Est	0.158368	0.000000	0.158368	0.400000	0.000000	0.400000	0.000000	0.000000	0.0	0.000000

Secuencia 2										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	31.278	13.857	17.420	79.0000	35.0000	44.00000	0.061	0.0430	81475	0.637323944
97	30.882	13.461	17.420	78.0000	34.0000	44.00000	0.061	0.0430	79148	0.637323944
98	31.278	14.253	17.025	79.0000	36.0000	43.00000	0.061	0.0430	83803	0.637323944
99	31.278	14.253	17.025	79.0000	36.0000	43.00000	0.023	0.0162	222261	0.637323944
100	30.882	12.669	18.212	78.0000	32.0000	46.00000	0.013	0.0092	349538	0.644366197
Promedio	31.119	13.70	17.4204	78.600	34.6000	44.00000	0.0438	0.0308	163245	0.638732394
Des. Est	0.193960	0.592558	0.433708	0.489898	1.496663	1.095445	0.021302	0.015001	107942.4	0.002817

Secuencia 3										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	36.820	19.400	17.420	93.0000	49.0000	44.00000	0.031	0.0218	224452	0.73028169
97	39.592	22.171	17.420	100.0000	56.0000	44.00000	0.056	0.0394	142000	0.73028169
98	38.008	20.588	17.420	96.0000	52.0000	44.00000	0.056	0.0394	131857	0.721126761
99	37.612	20.192	17.420	95.0000	51.0000	44.00000	0.031	0.0218	233613	0.73028169
100	39.196	20.984	18.212	99.0000	53.0000	46.00000	0.056	0.0394	134393	0.73028169
Promedio	38.246	20.67	17.5788	96.600	52.2000	44.40000	0.046	0.0324	173263	0.728450704
Des. Est	1.020212	0.916619	0.316735	2.576820	2.315167	0.800000	0.012247	0.008625	45749.5	0.003662

Secuencia 4										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	45.135	26.923	18.212	114.0000	68.0000	46.00000	0.051	0.0359	189333	0.796478873
97	49.886	30.090	19.796	126.0000	76.0000	50.00000	0.064	0.0451	168625	0.805633803
98	47.114	28.110	19.004	119.0000	71.0000	48.00000	0.051	0.0359	197686	0.805633803
99	46.718	28.506	18.212	118.0000	72.0000	46.00000	0.064	0.0451	159750	0.796478873
100	50.282	29.298	20.984	127.0000	74.0000	53.00000	0.064	0.0451	164188	0.805633803
Promedio	47.827	28.59	19.2417	120.800	72.2000	48.60000	0.0588	0.0414	175916	0.801971831
Des. Est	1.962098	1.074102	1.050492	4.955805	2.712932	2.653300	0.006369	0.004485	14873.0	0.004485

Secuencia 5										
Presión de Confinamiento: 41.1 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	56.616	39.196	17.420	143.0000	99.0000	44.00000	0.082	0.0577	171439	0.882394366
97	55.429	38.008	17.420	140.0000	96.0000	44.00000	0.082	0.0577	166244	0.882394366
98	61.367	43.155	18.212	155.0000	109.0000	46.00000	0.120	0.0845	128983	0.882394366
99	57.012	38.008	19.004	144.0000	96.0000	48.00000	0.094	0.0662	145021	0.882394366
100	60.180	41.176	19.004	152.0000	104.0000	48.00000	0.095	0.0669	155453	0.89084507
Promedio	58.121	39.91	18.2123	146.800	100.8000	46.00000	0.0946	0.0666	153428	0.884084507
Des. Est	2.259169	1.993798	0.708242	5.706137	5.035871	1.788854	0.013879	0.009774	15237.8	0.003380

Secuencia 6										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	26.527	9.898	16.629	67.0000	25.0000	42.00000	0.025	0.0176	142000	0.868309859
97	26.527	9.898	16.629	67.0000	25.0000	42.00000	0.025	0.0176	142000	0.868309859
98	26.923	10.294	16.629	68.0000	26.0000	42.00000	0.025	0.0176	147680	0.868309859
99	26.527	9.898	16.629	67.0000	25.0000	42.00000	0.012	0.0085	295833	0.877464789
100	26.923	9.502	17.420	68.0000	24.0000	44.00000	0.025	0.0176	136320	0.868309859
Promedio	26.685	9.90	16.7870	67.400	25.0000	42.40000	0.0224	0.0158	172767	0.870140845
Des. Est	0.193960	0.250401	0.316735	0.489898	0.632456	0.800000	0.005200	0.003662	61638.1	0.003662

Secuencia 7										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	35.237	18.212	17.025	89.0000	46.0000	43.00000	0.051	0.0359	128078	0.868309859
97	35.633	18.608	17.025	90.0000	47.0000	43.00000	0.064	0.0451	104281	0.868309859
98	35.237	18.212	17.025	89.0000	46.0000	43.00000	0.051	0.0359	128078	0.868309859
99	35.237	18.212	17.025	89.0000	46.0000	43.00000	0.051	0.0359	128078	0.868309859
100	35.633	18.212	17.420	90.0000	46.0000	44.00000	0.038	0.0268	171895	0.877464789
Promedio	35.395	18.29	17.1037	89.400	46.2000	43.20000	0.051	0.0359	132082	0.870140845
Des. Est	0.193960	0.158368	0.158368	0.489898	0.400000	0.400000	0.008222	0.005790	21936.4	0.003662

Secuencia 8										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	43.551	26.131	17.420	110.0000	66.0000	44.00000	0.079	0.0556	118633	0.902112676
97	43.551	26.131	17.420	110.0000	66.0000	44.00000	0.066	0.0465	142000	0.911267606
98	43.551	26.131	17.420	110.0000	66.0000	44.00000	0.066	0.0465	142000	0.902112676
99	41.176	23.755	17.420	104.0000	60.0000	44.00000	0.053	0.0373	160755	0.911267606
100	45.531	27.318	18.212	115.0000	69.0000	46.00000	0.079	0.0556	124025	0.902112676
Promedio	43.472	25.89	17.5788	109.800	65.4000	44.40000	0.0686	0.0483	137483	0.905774648
Des. Est	1.380617	1.163760	0.316735	3.487119	2.939388	0.800000	0.009728	0.006851	14958.7	0.004485

Secuencia 9										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	51.074	33.653	17.420	129.0000	85.0000	44.00000	0.076	0.0535	158816	0.904225352
97	53.845	36.029	17.816	136.0000	91.0000	45.00000	0.076	0.0535	170026	0.904225352
98	50.678	33.257	17.420	128.0000	84.0000	44.00000	0.076	0.0535	156947	0.904225352
99	50.678	33.257	17.420	128.0000	84.0000	44.00000	0.076	0.0535	156947	0.904225352
100	53.053	34.841	18.212	134.0000	88.0000	46.00000	0.076	0.0535	164421	0.904225352
Promedio	51.865	34.21	17.6580	131.000	86.4000	44.60000	0.076	0.0535	161432	0.904225352
Des. Est	1.324999	1.079924	0.316735	3.346640	2.727636	0.800000	0.000000	0.000000	5096.4	0.000000

Secuencia 10										
Presión de Confinamiento: 27.6 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	59.388	42.759	16.629	150.0000	108.0000	42.00000	0.114	0.0803	134526	0.957746479
97	60.180	43.551	16.629	152.0000	110.0000	42.00000	0.102	0.0718	153137	0.957746479
98	61.367	44.739	16.629	155.0000	113.0000	42.00000	0.114	0.0803	140754	0.957746479
99	57.804	39.196	18.608	146.0000	99.0000	47.00000	0.077	0.0542	182571	0.975352113
100	59.388	42.759	16.629	150.0000	108.0000	42.00000	0.114	0.0803	134526	0.957746479
Promedio	59.625	42.60	17.0245	150.600	107.6000	43.00000	0.1042	0.0734	149103	0.961267606
Des. Est	1.163760	1.850261	0.791838	2.939388	4.673329	2.000000	0.014372	0.010121	18061.4	0.007042

Secuencia 11										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 13.8 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	26.923	10.294	16.629	68.0000	26.0000	42.00000	0.019	0.0134	194316	0.953521127
97	26.527	9.898	16.629	67.0000	25.0000	42.00000	0.019	0.0134	186842	0.953521127
98	26.923	10.294	16.629	68.0000	26.0000	42.00000	0.031	0.0218	119097	0.953521127
99	26.527	10.294	16.233	67.0000	26.0000	41.00000	0.019	0.0134	194316	0.953521127
100	26.923	10.294	16.629	68.0000	26.0000	42.00000	0.019	0.0134	194316	0.953521127
Promedio	26.764	10.21	16.5494	67.600	25.8000	41.80000	0.0214	0.0151	177777	0.953521127
Des. Est	0.193960	0.158368	0.158368	0.489898	0.400000	0.400000	0.004800	0.003380	29482.7	0.000000

Secuencia 12										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 27.6 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	36.029	19.004	17.025	91.0000	48.0000	43.00000	0.038	0.0268	179368	0.957746479
97	36.029	19.004	17.025	91.0000	48.0000	43.00000	0.051	0.0359	133647	0.957746479
98	36.029	19.004	17.025	91.0000	48.0000	43.00000	0.051	0.0359	133647	0.957746479
99	36.029	19.004	17.025	91.0000	48.0000	43.00000	0.051	0.0359	133647	0.957746479
100	36.029	18.608	17.420	91.0000	47.0000	44.00000	0.026	0.0183	256692	0.975352113
Promedio	36.029	18.92	17.1037	91.000	47.8000	43.20000	0.0434	0.0306	167400	0.961267606
Des. Est	0.000000	0.158368	0.158368	0.000000	0.400000	0.400000	0.010052	0.007079	48029.5	0.007042

Secuencia 13										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 41.4 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	41.967	26.527	15.441	106.0000	67.0000	39.00000	0.039	0.0275	243949	0.975352113
97	41.967	26.527	15.441	106.0000	67.0000	39.00000	0.039	0.0275	243949	0.975352113
98	41.176	24.547	16.629	104.0000	62.0000	42.00000	0.039	0.0275	225744	0.975352113
99	44.343	26.923	17.420	112.0000	68.0000	44.00000	0.051	0.0359	189333	0.975352113
100	44.739	27.714	17.025	113.0000	70.0000	43.00000	0.051	0.0359	194902	0.975352113
Promedio	42.838	26.45	16.3911	108.200	66.8000	41.40000	0.0438	0.0308	219575	0.975352113
Des. Est	1.425309	1.044507	0.815248	3.600000	2.638181	2.059126	0.005879	0.004140	23450.1	0.000000

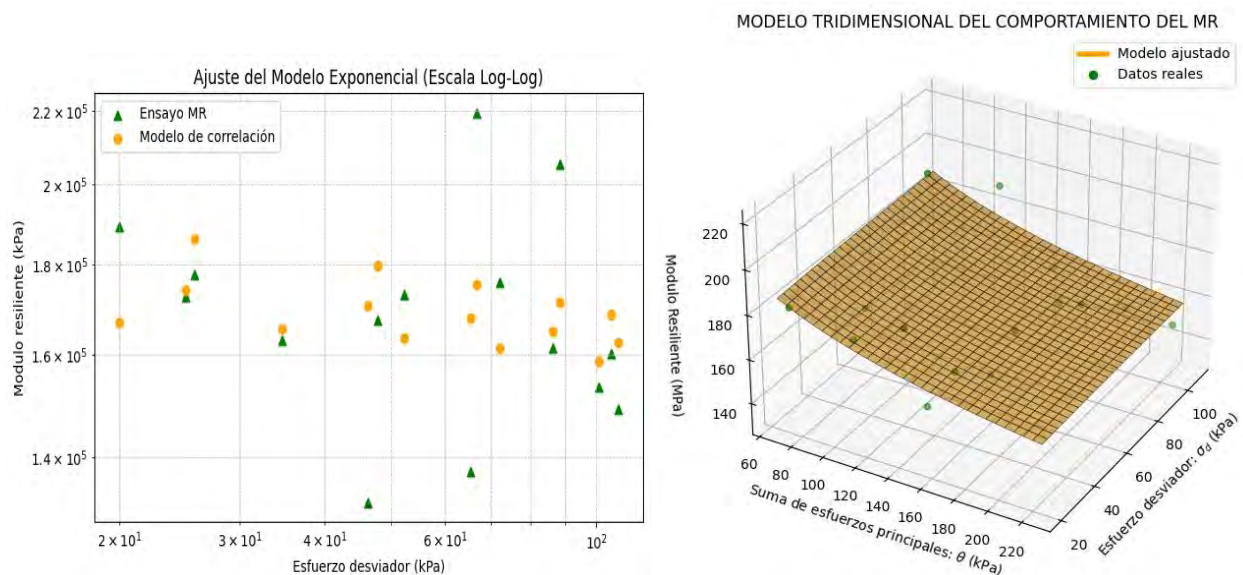
Secuencia 14										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 55.2 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	51.469	34.841	16.629	130.0000	88.0000	42.00000	0.064	0.0451	195250	0.984507042
97	51.469	34.841	16.629	130.0000	88.0000	42.00000	0.051	0.0359	245020	0.984507042
98	51.865	35.237	16.629	131.0000	89.0000	42.00000	0.051	0.0359	247804	0.984507042
99	51.865	34.841	17.025	131.0000	88.0000	43.00000	0.089	0.0627	140404	0.984507042
100	51.865	35.237	16.629	131.0000	89.0000	42.00000	0.064	0.0451	197469	0.984507042
Promedio	51.707	35.00	16.7078	130.600	88.4000	42.20000	0.0638	0.0449	205189	0.984507042
Des. Est	0.193960	0.193960	0.158368	0.489898	0.489898	0.400000	0.013877	0.009772	39390.2	0.000000

Secuencia 15										
Presión de Confinamiento: 13.8 kPa										
Máximo esfuerzo desviador: 68.9 kPa										
Ciclo	Carga máxima desviadora aplicada	Carga cíclica desviadora aplicada	Carga desviadora de contacto aplicada	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Esfuerzo desviador cíclico aplicado	Esfuerzo desviador de contacto aplicado	Deformación Recuperable	Deformación resiliente	Modulo resiliente	Tensión permanente
	kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	%	kPa	%
96	57.804	41.967	15.837	146.0000	106.0000	40.00000	0.102	0.0718	147569	1.011267606
97	57.804	42.363	15.441	146.0000	107.0000	39.00000	0.102	0.0718	148961	1.011267606
98	57.408	41.967	15.441	145.0000	106.0000	39.00000	0.102	0.0718	147569	1.011267606
99	57.408	39.196	18.212	145.0000	99.0000	46.00000	0.089	0.0627	157955	1.020422535
100	61.763	42.363	19.400	156.0000	107.0000	49.00000	0.076	0.0535	199921	1.029577465
Promedio	58.438	41.57	16.8662	147.600	105.0000	42.60000	0.0942	0.0663	160395	1.016760563
Des. Est	1.672261	1.200882	1.634336	4.223742	3.033150	4.127953	0.010400	0.007324	20139.7	0.007324

Anexo K.5.4.1: Resumen de las secuencias para hallar el Módulo Resiliente para suelo +30% RAP

Datos iniciales de la muestra: Diámetro = 71 mm, Altura = 142 mm, LVDT inicial = 9.498 mm									
Número de Secuencia	Presión de Confinamiento S3	Esfuerzo desviador máximo Teórico	Esfuerzo desviador máximo aplicado	Des. Estándar Esfuerzo desviador	Suma de esfuerzos principales	Deform. resiliente media	Des. Estándar de Tensión resiliente	Módulo resiliente medio	Des. Estándar de Módulo resiliente
	kPa	kPa	kPa		kPa	%		kPa	
1	41.40	13.80	20.0000	0.4000	144.20	0.011	0.0000	189333	0.000000
2	41.40	27.60	34.6000	0.4899	158.80	0.031	0.0150	163245	107942.36
3	41.40	41.40	52.2000	2.5768	176.40	0.032	0.0086	173263	45749.52
4	41.40	55.20	72.2000	4.9558	196.40	0.041	0.0045	175916	14872.97
5	41.40	68.90	100.8000	5.7061	225.00	0.067	0.0098	153428	15237.84
6	27.60	13.80	25.0000	0.4899	107.80	0.016	0.0037	172767	61638.11
7	27.60	27.60	46.2000	0.4899	129.00	0.036	0.0058	132082	21936.37
8	27.60	41.40	65.4000	3.4871	148.20	0.048	0.0069	137483	14958.71
9	27.60	55.20	86.4000	3.3466	169.20	0.054	0.0000	161432	5096.37
10	27.60	68.90	107.6000	2.9394	190.40	0.073	0.0101	149103	18061.39
11	13.80	13.80	25.8000	0.4899	67.20	0.015	0.0034	177777	29482.67
12	13.80	27.60	47.8000	0.0000	89.20	0.031	0.0071	167400	48029.45
13	13.80	41.40	66.8000	3.6000	108.20	0.031	0.0041	219575	23450.05
14	13.80	55.20	88.4000	0.4899	129.80	0.045	0.0098	205189	39390.17
15	13.80	68.90	105.0000	4.2237	146.40	0.066	0.0073	160395	20139.69

Anexo K.5.4.2: Gráficas del Modelo tridimensional del MR y el ajuste del modelo exponencial



Anexo K.5.5: Resultado final del Módulo Resiliente para el suelo + 30% RAP

Layers					
Layer	Thickness (mm)	Depth (mm)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction
1	60	60	2482	0.35	1
2	150	210	207	0.4	1
3	150	360	125	0.4	1
4	0	∞	171.6	0.26	1

Loads					
Load	X (mm)	Y (mm)	Load (kN)	Pressure (kPa)	Radius (mm)
1	0	0	80	750	184.263

$\sigma_1 = 108$	$\sigma_2 = 10.5$	$\sigma_3 = 10.5$
$k_1 = 2681.9344$	$k_2 = -0.1400$	$k_3 = 0.0074$
$P_a = 69.6 \text{ kPa}$	$\theta = 129.00$	$\sigma_d = 97.50$

$$MR = 2681.9344 \times P_a \times \left[\frac{129.00}{P_a} \right]^{-0.1400} \times \left[\frac{97.50}{P_a} \right]^{0.0074}$$

$$\mathbf{MR = 171.64 \text{ MPa}}$$

Anexo L: Panel fotográfico

Anexo L.1 Traslado, conservación y rotulado de muestras por calicata,



Anexo L.2 Ensayo de granulometría por tamizado



Anexo L.3 Ensayo de contenido de humedad



Anexo L.4 Ensayo de limites de consistencia





Anexo L.5 Ensayo de compactacion (proctor modificado)





Anexo L.6 Ensayo de CBR

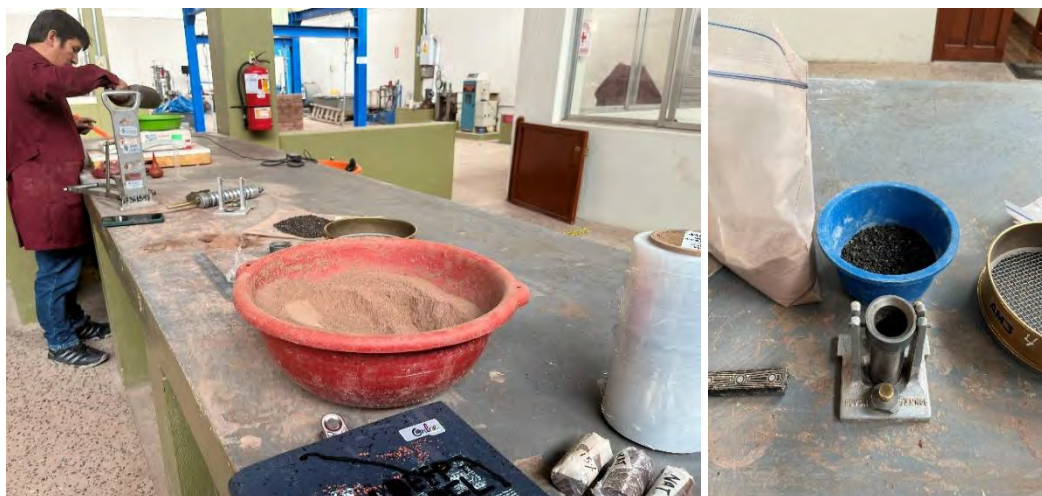




Anexo L.7 Ensayo de compresión no confinada



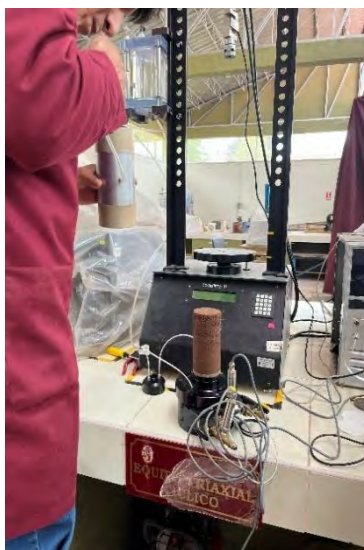
Anexo L.8 Módulo de Poisson





Anexo L.9 Ensayo del Módulo Resiliente





Anexo L.10 fotografías complementarias



Certificado de laboratorio de mecanica de suelos y materiales FIC



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN

EI QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

HACE CONSTAR:

Que los testistas; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. **CHOQUE PAZ, ANTONIO NICODEMO** y Bach. **CUSIHUAMAN MIRANDA, DANNY HASMANY**, hicieron uso del laboratorio para la ejecución de la tesis de investigación: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN SUELOS FINOS INCORPORANDO PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO A NIVEL DE SUBRASANTE, CUSCO – 2025”**

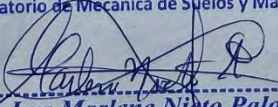
Los ensayos que realizaron son los siguientes:

ENSAYOS	NORMAS	CANT.
Propiedades Físicas		
Análisis granulométrico por tamizado	MTC E 107 y NTP 339.128	15
Contenido de humedad	MTC E 108 y NTP 339.127	15
Límite líquido	MTC E 110 y NTP 339.129	8
Límite plástico e índice de plasticidad	MTC E 111 y NTP 339.129	8
Clasificación de suelos	NTP 339.134 y ASTM D 2487	10
Propiedades Mecánicas		
Proctor modificado	MTC E 115 y NTP 339.141	5
Capacidad de soporte CBR	MTC E 132 y NTP 339.145	5
Módulo Resiliente	MTC E 128 y AASHTO T 307-99	5
Compresión no confinada	MTC E 121 y NTP 339.167	10
Módulo de Poisson	MTC E 121 y ASTM D 2166	10

Se le expide el presente certificado a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 12 de diciembre 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

