

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA
SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TIPICOS DE CUSCO**

TESIS

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACH. CHILLIHUANI CHILLIHUANI, VIRGILIO

CUSCO-PERÚ

2017

DEDICATORIA

A mis queridos padres: Gregorio Chillihuani Espetea y Valentina Chillihuani Merma, que, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Virgilio Chillihuani Ch.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios, por guiar mi camino, darme sabiduría y perseverancia para lograr alcanzar esta importante meta en mi vida.

A los docentes de mi querida facultad, a todos los ingenieros que me impartieron enseñanzas y me encaminaron a la investigación en ingeniería, agradezco en especial al Dr. Ing°. José Felipe Marin Loayza, M.Sc. Ing°. Martin Washington Esquivel Zamora y M. Sc. Ing°. Carlos Fernandez Baca Vidal, quienes me ayudaron a llevar adelante la tesis.

De manera especial mi sincero agradecimiento al Mgt.Ing. Ignacio Fructuoso Solis Quispe, Asesor del presente proyecto de investigación, por haberme guiado y orientado tan acertadamente durante el desarrollo del proyecto.

A todas las personas que de distinta manera colaboraron hasta la culminación del este trabajo de investigación.

El Autor.

RESUMEN

El tema desarrollado en el presente trabajo de investigación está referido al diseño, construcción e implementación de un equipo de corte directo a gran escala en el laboratorio con 30 cm de diámetro y 25 cm de altura, para la cuantificación de los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos. El diseño del equipo y la ejecución de los ensayos fueron establecidos teniendo como referencia la norma ASTM D 3080.

La evaluación de los parámetros de resistencia de los suelos gravosos ensayados con el equipo de corte directo a gran escala se efectuó mediante el criterio propuesto por coulomb (1776). Este equipo a diferencia del equipo convencional permite ensayar suelos gravosos con partículas de tamaño máximo 38.1mm, conformados en distintos estados de compactación.

Los instrumentos usados en este equipo fueron calibrados en el laboratorio de la facultad de ingeniería civil, esto con la finalidad de reducir los efectos externos que puedan influir en los resultados de los ensayos.

En el programa de investigación se ensayó cuatros tipos de suelos gravosos, que según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) fueron clasificados como: grava mal graduada (GP) procedente de la cantera de Tipon, grava limosa (GM) procedente de la cantera de Larapa, grava bien graduada (GW) procedente de la cantera de Huambutio y grava bien graduada (GW) dela cantera de Collana.

Todos los ensayos fueron realizados usando una velocidad de corte de 2 mm/min. La secuencia del esfuerzo vertical aplicado a cada muestra fue de 0.5, 1.00 y 2.00 kg/cm².

La medición del esfuerzo tangencial, las deformaciones horizontal y vertical fueron registrados usando el programa “ANALISIS DE GRAVA” que permite registrar los datos y mostrar el comportamiento de los especímenes sometidos a corte mediante gráficos en tiempo real.

Los datos obtenidos se presentan mediante tablas y gráficos. Estos resultados demuestran que una de las principales variables que controlan la variación de la resistencia cortante es la densidad del material conformado, sin embargo, también existe otras variables que posiblemente influyen en la variación del ángulo de fricción del suelo gravoso, tales como la calidad de las gravas presentes en la muestra, rotura y fragilidad de las partículas, forma redondeada o angulosa de las partículas, tipo de gradación del suelo gravoso, rigidez de la muestra conformada, entre otros.

La cohesión aparente varia en el intervalo de 0.20 a 0.66 kg/cm² en las cuatro muestras ensayadas, mientras que el ángulo de fricción interna varia en un intervalo de 35. 2° a 52. 4° para las cuatro muestras ensayadas. En estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso.

Finalmente apoyándose en la base de datos generados por diferentes investigadores en el mundo para este tipo de materiales, se concluye que los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos, obtenidos con el equipo diseñado e implementado, son confiables.

ABSTRACT

The topic developed in this research project it is concerned with the design, construction and carrying out in a large scale a direct shear equipment in the laboratory with a diameter of 30 centimeters and 25 centimeters in height to quantify the parameters of resistance shear of the gravel. The design and the process of the trials were established taking as a reference the ASTM D 3080 standards.

The assessment of the parameters of resistance shear of the gravel tested with the large scale direct cutting equipment was carried out using the criteria of Coulumb (1776). This equipment unlike the conventional equipment allows to test gravels with particles with a maximum size of 38.1 mm, that have been Compacted in different states of relative compactness.

The instruments used in this equipment were calibrated in the Laboratory of the Faculty of Civil Engineering of the University San Antonio Abad del Cusco, in order to reduce the external effects that may influence the results of the trial.

In this research program, four types of gravels were tested. According to the unified soil classification system (SUCS) were classified as: Poorly graded gravel(GP) from the Tipon quarry; Silt gravel (GM) from the Larapa quarry, Well graded gravel (GM) from the Huambutio quarry and Well graded gravel (GW) from the Collana quarry.

All of these trials were carried out using a shearing speed of 2 mm/min. and the vertical prwessure applied to ach sample was 0.5, 1.00 and 2.00 kg/cm².

The measurement of the horizontal force and the deformations horizontal and vertical were recorded using the “ANALISIS DE GRAVA” program to collect the data and show the behavior of the specimen subjected to a cutting process using real-time graphics.

The data obtained are presented in this research through tables and graphics. The results demonstrate that one of the main variables controlling the variation of the shear strength is the density of the conformed material

However, there are also other variables that may influence the variation of the soil friction angle, such as the quality of gravel present in the sample, fracture and fragility of the particles, rounded or angular shape of the particles, gravel gradation type. and finally, the stiffness of the conformed sample among many others.

The apparent cohesion varies in range of 0.20 to 0.66 kg/cm² in the four samples tested, while the internal friction angle varies over a range of 35.2 ° to 52.4° for the four samples tested. In state of relative compactness very loose, medium and very dense.

To conclude, based on the database generated by different researchers in the world for this type of material, it is concluded that the parameters of shearing strength of the soils obtained were trustworthy.

ÍNDICE GENERAL

Introduccion	1
CAPITULO I.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION.....	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Objetivos de la investigacion.....	3
1.2.1. Objetivos generales.....	3
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Justificacion	4
1.4. Metodologia utilizada	5
1.4.1. Tipo de investigación.....	5
1.4.2. Procedimiento de la investigacion	5
CAPITULO II	6
2. MARCO TEORICO	6
2.1. Antecedentes del estudio	6
2.2. Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos	8
2.3. Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos friccionantes.....	8
2.4. Teoria de falla de mohr-coulomb	9
2.5. Ensayo de corte directo estandar	10
2.5.1. Ensayo de corte directo	10
2.5.2. Componentes de un equipo de corte directo	11
2.5.3. Tipos de ensayo de corte directo.....	13
2.5.4. Determinacion de los parametros de resistencia	14
2.5.5. Ventajas y desventajas del ensayo de corte directo	14
2.5.6. Pruebas y analisis en el laboratorio.....	15

5. DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE PARA DIFERENTES ESTADOS DE COMPACIDAD RELATIVA EN LOS SUELOS GRAVOSOS TIPICOS DEL CUSCO	76
5.1. Introduccion.....	76
5.2. Cantera de tipon-oropesa-cusco.....	77
5.2.1. Descripcion	77
5.2.2. Caracteristicas fisicas y mecanicas	78
5.2.3. Conformacion de la muestra	79
5.2.4. Ejecucion del ensayo de corte.....	80
5.2.5. Resultados del ensayo de corte	80
5.3. Cantera de larapa-san jeronimo-cusco.....	85
5.3.1. Descripcion.....	85
5.3.2. Caracteristicas fisicas y mecanicas	86
5.3.3. Conformacion de la muestra	87
5.3.4. Ejecucion del ensayo de corte	88
5.3.5. Resultados del ensayo de corte.....	88
5.4. Cantera huambutio-cusco	93
5.4.1. Descripcion.....	93
5.4.2. Caracteristicas fisicas y mecanicas	94
5.4.3. Conformacion de la muestra	95
5.4.4. Ejecucion del ensayo de corte	96
5.4.5. Resultados del ensayo de corte.....	96
5.5. Cantera collana-san jeronimo-cusco.....	101
5.5.1. Descripcion.....	101
5.5.2. Caracteristicas fisicas y mecanicas	102
5.5.3. Conformacion de la muestra	103

5.5.4.	Ejecucion del ensayo de corte	104
5.5.5.	Resultados del ensayo de corte.....	104
CAPITULO VI.....		109
6.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	109
6.1.	Analisis de resultados	109
6.1.1.	Granulometria.....	109
6.1.2.	Envolvente de falla.....	111
6.1.3.	Comportamiento del esfuerzo cortante vs deformacion horizontal	113
6.1.4.	Comportamiento del asentamiento vs deformacion horizontal.....	117
6.1.5.	Variacion de los parametros de resistencia cortante	119
6.2.	Discusion de resultados	122
Conclusiones		129
Recomendaciones.....		131
ANEXOS.....		132
ANEXO A		133
dimensiones de los componentes del equipo de corte directo para suelos gravosos.....		133
ANEXO B		142
Hojas de detalle de los ensayos de corte		142
Bibliografia.....		179

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Resistencia al corte de los suelos. -----	9
Figura 2 Envolvente de falla de Mohr y los criterios de falla de Mohr-Coulomb. -----	10
Figura 3 Esquema del aparato de corte directo -----	10
Figura 4 Colocación de la muestra de suelo fino en la caja de corte -----	11
Figura 5 Curva intrínseca -----	14
Figura 6 Esquema general del equipo de corte directo diseñado e implementado para suelos gravosos. -----	22
Figura 7 Anillo de polietileno. -----	25
Figura 8 a) ensayo de prueba en la primera etapa en donde la caja de corte, disco transmisor de carga ni el brazo de palanca es reforzado, b) disco distribuidor de carga axial con refuerzo. -----	26
Figura 9 brazo de palanca. -----	27
Figura 10 registro de la fuerza tangencial con la adaptación de un manómetro en el gato hidráulico. -----	29
Figura 11 Registro de deformaciones con el vernier digital. -----	30
Figura 12 Plataforma de acero con el soporte de caja de corte. -----	30
Figura 13 Dimensiones del soporte de la plataforma de acero (unidad de medida en cm). -----	31
Figura 14 Dimensiones y características de la caja de corte superior (unidad de medida en cm). -----	33
Figura 15 Dimensiones y características de la caja de corte inferior (unidad de medida en cm). -----	34
Figura 16 Dimensiones y características de la plataforma móvil (unidad de medida en cm). -----	35
Figura 17 Adaptación del inyector de presión al gato hidráulico. -----	36
Figura 18 Dimensiones y características del brazo de palanca (unidad de medida en cm). -----	38
Figura 19 Dimensiones y características del disco transmisor de carga normal (unidad de medida en cm). -----	39
Figura 20 Conjunto de pesas para la fuerza normal. -----	40
Figura 21 Dimensiones y características del soporte posterior (unidad de medida en cm). -----	41
Figura 22 Dimensiones y características del soporte de la caja de corte y brazo de palanca (unidad de medida en cm). -----	42
Figura 23 Medición de la fuerza tangencial con la celda de carga. -----	43
Figura 24 Vernier para la medición de la deformación tangencial. -----	44
Figura 25 Vernier para la medición de la deformación vertical. -----	44
Figura 26 Principio de Funcionamiento -----	45
Figura 27 Terminales característicos de una celda de carga. -----	45
Figura 28 Aspecto físico de una celda de carga y terminales de salida. -----	46
Figura 29 HX711, Circuito integrado convertidor de señal analógica a digital. -----	46
Figura 30 Tarjeta de desarrollo Arduino Nano -----	47
Figura 31 Segmento del Código realizado en Arduino. -----	47

Figura 32 Vernier Digital.	48
Figura 33 Conexiones realizadas sobre el calibrador para la captura de datos.	48
Figura 34 Acondicionamiento de señal de salida del vernier.	49
Figura 35 Convertidor de tensión para el funcionamiento del vernier (de 5V a 1.5V). Indicador LED. Conexionado de circuito HX711.	49
Figura 36 Terminales de conexión con calibrador digital y terminales del Arduino Nano	49
Figura 37 Diseño de circuito impreso.....	50
Figura 38 Simulación de aspecto final del circuito diseñado.....	50
Figura 39 Calibración de a celda de carga.	51
Figura 40 Resultados de la calibracion de la celda de carga.....	52
Figura 41 Menú principal del programa “Análisis de Grava”	53
Figura 42 Gráficos del ensayo de corte. a) Deformación horizontal vs deformación vertical, b) tiempo vs deformación horizontal.	55
Figura 43 a) Instalación de la caja de corte superior sobre la caja inferior, b) fijación de las cajas de corte mediante pernos, c) colocación de espaciadores entre las cajas de corte.....	57
Figura 44 a) Anillo de polietileno (plástico) de 11 cm de altura, b) Colocación del anillo de polietileno en la caja de corte superior.	58
Figura 45 Conformado de muestra. a) Mediante varillado, b) mediante el impacto, c) mediante vibrado con el martillo de goma.	59
Figura 46 Preparación de la cara superior del espécimen. a) cara superior del espécimen en donde se observa la no uniformidad, b) colocación del manto de polietileno, c) nivelación de la cara superior de la muestra con una capa de arena fina de 1cm de espesor.....	60
Figura 47 Colocación del espécimen conformado en la plataforma móvil de corte. a) Levantado de la caja de corte con la muestra conformada, b) fijado de la caja de corte a la plataforma móvil.	61
Figura 48 Colocación del disco distribuidor de carga y la bola de acero.	62
Figura 49 Fijación de la caja de corte superior.	62
Figura 50 Colocación del brazo de palanca. a) Empernado del brazo de la palanca, b) Nivelación del brazo de palanca.	63
Figura 51 a) Fijación de botón de celda a la caja de corte inferior, b) Fijación de botón de celda al gato hidráulico, c) Colocado de la celda de carga.	64
Figura 52 a) Colocación del vernier para medir la deformación vertical, b) Colocación del vernier para la medición de la deformación horizontal.	65
Figura 53 Puerto de conexión para la recolección de datos en el ensayo de corte.	66
Figura 54 a) Programa Análisis de Grava, b) Archivo CalipierLoadCelV2.	67
Figura 55 Menú principal del programa “Análisis de Grava”	67

Figura 56 Colocado de pesas para la fuerza normal.-----	70
Figura 57 a) Aplicación de la Fuerza tangencial mediante el inyector de presión, b) Falla del espécimen. -----	71
Figura 58 Registro de datos del ensayo de corte. -----	73
Figura 59 Graficas del ensayo de corte.-----	73
Figura 60 Determinacion de los parámetros de resistencia cortante-----	75
Figura 61 Imágenes de la cantera de Tipon. -----	77
Figura 62 Curva granulométrica del material extraído de la cantera de Tipon. -----	79
Figura 63 Envolverte de falla de resistencia máxima de la muestra de Tipon ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso. -----	82
Figura 64 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Tipon ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	83
Figura 65 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Tipon ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	84
Figura 66 Imágenes de la cantera de Larapa.-----	86
Figura 67 Curva granulométrica del material extraído de la cantera de Larapa. -----	87
Figura 68 Envolverte de falla de resistencia máxima de la muestra de Larapa ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso. -----	90
Figura 69 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Larapa ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	91
Figura 70 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Larapa ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	92
Figura 71 Imágenes de la cantera de Huambutio. -----	93
Figura 72 Curva granulométrica del material extraído de la cantera de Huambutio.-----	95
Figura 73 Envolverte de falla de resistencia máxima de la muestra de Huambutio ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	98
Figura 74 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Huambutio ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso. -----	99
Figura 75 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Huambutio ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	100
Figura 76 Imágenes de la cantera de Collana.-----	101
Figura 77 Curva granulométrica del material extraído de la cantera de Collana.-----	103
Figura 78 Envolverte de falla de resistencia máxima de la muestra de Collana ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso. -----	106
Figura 79 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Collana ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	107

Figura 80 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Collana ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	108
Figura 81 Curva de distribución granulométrica de los suelos gravosos utilizados en la investigación. -----	110
Figura 82 Envolvente de falla en el corte de la muestra M-1 conformados con densidad relativa muy suelto, medio y muy denso -----	111
Figura 83 Envolvente de falla en el corte de la muestra M-2 conformados con densidad relativa muy suelto, medio y muy denso -----	112
Figura 84 Envolvente de falla en el corte de la muestra M-3 conformados con densidad relativa muy suelto, medio y muy denso. -----	112
Figura 85 Envolvente de falla en el corte de la muestra M-4 conformados con densidad relativa muy suelto, medio y muy denso. -----	113
Figura 86 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Tipon (M-1) ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso. -----	115
Figura 87 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Larapa (M-2) ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso. -----	115
Figura 88 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Huambutio (M-3) ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso. -----	116
Figura 89 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Collana (M-4) ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso. -----	116
Figura 90 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Tipon ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	117
Figura 91 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Larapa ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	118
Figura 92 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Huambutio ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	118
Figura 93 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Collana ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.-----	119
Figura 94 Recopilación de resultados de ángulo de fricción interna de ensayos de diversos estudios. (Indraratna, 1993). -----	126

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estados del suelo según su densidad relativa -----	18
Tabla 2 esfuerzos iniciales y factor de conversión de pesas a considerar. -----	27
Tabla 3 Esfuerzo normal inicial y la constante de conversión de fuerza. -----	69
Tabla 4 Características físicas del suelo gravoso de Tipon. -----	78
Tabla 5 Clasificación del estado de suelo de acuerdo a la compacidad relativa. -----	80
Tabla 6 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos del suelo gravoso de Tipon. -----	81
Tabla 7 Características físicas del suelo gravoso de Larapa. -----	86
Tabla 8 Clasificación del estado de suelo de acuerdo a la compacidad relativa. -----	88
Tabla 9 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos del suelo gravoso de Larapa. -----	89
Tabla 10 Características físicas del suelo gravoso de Huambutio. -----	94
Tabla 11 Clasificación del estado de suelo de acuerdo a la compacidad relativa. -----	96
Tabla 12 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos del suelo gravoso de Huambutio. -----	97
Tabla 13 Características físicas del suelo gravoso de Collana. -----	102
Tabla 14 Clasificación del estado de suelo de acuerdo a la compacidad relativa. -----	104
Tabla 15 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos del suelo gravoso de Collana. -----	105
Tabla 16 Variación de los parámetros de resistencia cortante para las muestras M-1, M-2, M-3 Y M-4 ensayados en estados de densidad relativa muy suelto, medio y muy denso. -----	121
Tabla 17 Parámetros de resistencia al corte determinados mediante ensayos de corte directo "In Situ" -----	124
Tabla 18 valores de ángulo de rozamiento interno en suelos granulares (Hough 1957, citado por Basurto Ravichagua). -----	124
Tabla 19 variación del ángulo de fricción en gravas con diferentes pruebas desarrollados en varios países. -----	125
Tabla 20 Resultados de los ensayos de Corte Directo a Gran Escala desarrollado en CIDMID-UNI -----	126

INTRODUCCION

En países como el nuestro que se encuentran situados al lado de la Cordillera de los Andes, existe una significativa presencia de depósitos de materiales gruesos que van desde grava hasta grandes bloques. Para la caracterización geomecánica de estos materiales gruesos es común que se presente la dificultad de no poder realizar ensayos de resistencia, por la escasa existencia de equipos capaces de ensayar suelos granulares con partículas de tamaño máximo mayor a 1". Bajo estas condiciones, no es inusual que se opte por no realizar ensayos y trabajar básicamente con información disponible en la literatura. Viendo esta situación se realiza el diseño e implementación de un equipo de corte directo de 30 cm de diámetro y una altura de 25 cm, capaz de ensayar materiales con tamaño máximo de 1.5". Es importante señalar que, en general, debido a las excelentes propiedades mecánicas de los suelos granulares gruesos, una adecuada evaluación de las propiedades de estos suelos puede generar importantes optimizaciones en los diseños geotécnicos.

El diseño e implementación del equipo pasa por dimensionar cada una de las partes componentes del mismo, posteriormente se construye e implementa en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Asimismo, se realiza un programa de recolección de datos que permite visualizar el registro de datos en tiempo real, así como el comportamiento del espécimen durante el corte mediante gráficos.

En capítulos posteriores se expondrá conceptos básicos con respecto a la teoría del ensayo mismo, desde las teorías que dieron origen al ensayo de corte directo, hasta las conclusiones alcanzados en variados estudios a través del tiempo.

En el primer capítulo se presenta aspectos generales referentes al programa de investigación, mientras en el segundo capítulo, se presenta el fundamento teórico, los conceptos generales y los antecedentes de la investigación.

En el tercer capítulo se profundiza en el equipo de corte directo, donde se muestra las características, el dimensionamiento, instrumentación y la programación para la recolección y muestra de datos en tiempo real durante el ensayo. En el cuarto capítulo se presenta el protocolo de ensayo de corte directo en donde se detalla el procedimiento de ensamblado de caja de corte,

proceso de aplicación de fuerza normal, aplicación de fuerza tangencial, la configuración del programa denominado “ANALISIS DE GRAVA” que permite la recolección de datos y el proceso de desmontaje del equipo.

Posteriores detalles de la investigación serán expuestos en el capítulo quinto, desde la extracción de muestras, propiedades índices de las muestras, proceso de ejecución del ensayo de corte realizados en estados de compacidad relativa: muy suelto, medio y muy denso. Con la finalidad de determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para especímenes conformados con distintas densidades relativas.

Finalmente, se presenta los resultados mediante cuadros y gráficos, además se presenta las conclusiones obtenidas que posiblemente servirán como antecedentes para trabajos posteriores relacionados con la materia.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la evaluación y caracterización del comportamiento de suelos granulares es habitual encontrarse con la dificultad de realizar ensayos de corte directo a gran escala, debido a la escasez de equipos de estas características o el alto costo económico que significa para algunos proyectos.

El ensayo de corte directo “In -Situ”, representa una alternativa importante para la evaluación de los parámetros de resistencia de los suelos gravosos, sin embargo, su dificultad y el alto costo, por el tamaño que requiere la muestra a ser ensayada y las grandes cargas de reacción necesarios, limitan la utilización de esta metodología.

En general, es usual revisar la información disponible en la literatura y utilizar parámetros de resistencia conservadores, lo cual descarta una posible optimización del diseño geotécnico de obras. Por lo tanto, es esencial disponer de equipos para realizar ensayos a gran escala. Así mismo en la ciudad del Cusco no se cuenta con equipos de corte directo a gran escala para suelos gravosos y obviamente al no tener equipos adecuados es imposible determinar los parámetros de resistencia cortante y realizar investigaciones en los suelos gravosos.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.2.1. OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar e implementar un equipo de corte directo a mayor escala para la cuantificación de los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos típicos del Cusco conformado con densidad relativa muy suelto, medio y muy denso.
- Formular las especificaciones que se deben tener en cuenta para realizar el ensayo de corte directo a mayor dimensión.

1.3. JUSTIFICACION

Es necesario realizar esta investigación porque cuando se efectúan proyectos donde se involucran suelos granulares surge el problema de la falta de equipos para ensayar especímenes de grandes dimensiones.

En el Perú muchas ciudades se ubican sobre suelos gravosos, siendo necesaria mayor investigación de estos materiales. Es importante la implementación de los laboratorios con equipos adecuados y el desarrollo de exploración con equipos gigantes.

En nuestro medio, la ejecución de pruebas de campo y laboratorio se dificultan por la carencia de equipos adecuados que permitan un análisis real del conglomerado. Si bien es cierto que existen algunos equipos para pruebas de campo, aún resulta insuficiente para el avance en el estudio de estos materiales. Para lo cual se propone en el presente trabajo de Tesis la implementación del laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UNSAAC con el equipo de corte directo para suelos gravosos.

Finalmente con el diseño e implementación del equipo de corte directo para suelos gravosos se podrá determinar los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos del Cusco con lo cual se podrá efectuar diseños técnicos y económicos óptimos que representen una alternativa ingenieril confiable porque generalmente se utilizan valores asumidos o inferidos de los parámetros C y ϕ que se referencian en los diversos textos o artículos técnicos, debido a que los equipos existentes en nuestro medio son de dimensiones reducidas que no permiten el trabajo en suelos gravosos. Esto conlleva a utilizar parámetros conservadores y además aplicar factores de seguridad compatibles con la limitada información disponible.

1.4. METODOLOGIA UTILIZADA

1.4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación Experimental Aplicativa

1.4.2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION

a) PRIMERA ETAPA

- Revisión Bibliográfica

b) SEGUNDA ETAPA

- Elaboración de un prototipo del equipo de corte directo a mayor escala que el equipo estándar.
- Dimensionamiento y construcción de los componentes del equipo de corte directo.
- Colocación de los instrumentos a utilizar tales como: gato hidráulico, inyector de presión, celda de carga y los vernieres digitales.
- Desarrollo de componente de instrumentación y software de medición.
- Implementación de un programa que permita el registro de datos y la visualización del comportamiento del espécimen durante el ensayo de corte.
- Instalación del equipo en el laboratorio de la facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil.

c) TERCERA ETAPA

- Realización de los ensayos de corte directo en los suelos gravoso típicos del cusco.
- Determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos típicos del Cusco conformados en estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso.
- Establecer especificaciones generales para futuros ensayos de suelos gravosos con el equipo diseñado.

d) CUARTA ETAPA

- Análisis e interpretación de los resultados.
- Presentación de Resultado.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Actualmente, a nivel mundial se observa un creciente interés por el estudio de las gravas y se está implementando el equipamiento de laboratorios con equipos apropiados.

Taylor y Leps (1938; citado por Daniel Basurto Ravichagua,2010), ejecutaron ensayos comparativos de corte directo en arena seca (Ottawa) utilizando dos tipos de caja de corte cuadrada, una pequeña (76 mm) y otra mediana (305 mm), para evaluar la influencia de las dimensiones del espécimen sobre el ángulo de fricción. Ellos reportaron que el valor del ángulo de fricción, utilizando la caja de corte mediana fue 0.5° en promedio más pequeños que el ángulo de fricción medida en la caja de menor dimensión.

Palmeira y Milligan (1989), ejecutaron ensayos de corte directo en arenas secas (Leighton Buzzard) en una caja de corte de 1 metro cubico, utilizaron también una caja mediana de 252 mm por 152 mm y espesor 152mm, y una caja de corte convencional de 60 mm de sección cuadrada y de espesor 32 mm, para analizar el efecto de escala. El tamaño de las partículas de las arenas varió de 0.6 a 1.2 mm. Ellos reportaron valores de ángulo de fricción de 49° a 50° para muestras ensayadas en las tres cajas.

Félix De La Rosa (1974), realizó ensayos de corte directo “in situ” en el conglomerado de Lima, como parte de los estudios geotécnicos para el Metro de Lima.

Milagros Galindo Sánchez (2014), realizó una investigación sobre la resistencia al corte de escolleras en un cajón cuadrada de 1x1m², para ello realizó una serie de ensayos con materiales extraídos de varias zonas de España al Laboratorio de Geotecnia de CEDEX. Ella concluyó que el valor de ángulo de rozamiento sería de 42° para escolleras que no han sido compactadas y de 47° para escolleras que han sido compactados.

Edil y Benson (2007), ejecutaron ensayos de corte directo en una caja mediana cuadrada de 305 mm de lado y en la caja de corte convencional (64 mm), también cuadrada. El material granular utilizado para el ensayo en la caja mediana contiene partículas gravosas de 0 a 30% (mayores a 4.75 mm, pero menores que 25.4 mm), mientras la caja convencional contiene partículas menores a 4.75 mm. Ellos reportaron que el ángulo de fricción medido en el mismo material en ambas cajas en su mayoría defiere en el rango de $\pm 2^\circ$.

Daniel Basurto Ravichagua (2010), realizo un trabajo de investigación referido al diseño, construcción e implementación de un equipo de corte directo a gran escala de 0.60x0.60x0.60 m en el laboratorio de CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería-Lima-Perú. En dicho programa de investigación ensayó suelos gravosos extraídos de diferentes zonas de Lima.

En nuestro medio existe investigaciones acerca del estudio de la resistencia al corte de los suelos gravosos desarrollado por el Ing. MSc. Carlos Fernández Baca Vidal, publicado en GEO LIMA 98. En donde concluyó que el valor del ángulo de fricción interna es de: 34.7° para grava angular medianamente compacta con 8% de finos(limo) sin arena, 36° para grava angular amarilla parda medianamente compacta con 30% de limos y 28° para grava angular de esquisto pizarroso con limo, gris oscuro ($w= 17.63\%$).

Aun así, es limitada el estudio de este tema por la falta de equipos apropiados para la realización de ensayos especiales de resistencia como el corte directo y triaxial¹, la mayor parte de los equipos existentes en nuestro medio son de dimensiones reducidas y apropiados para el ensayo en suelos finos y arenas. Es así que en los laboratorios de suelos de nuestra ciudad del Cusco no se cuenta con equipo de corte directo para la evaluación de los suelos gravosos.

¹ El ensayo Triaxial constituye el método más versátil en el estudio de las propiedades esfuerzo-deformación.

2.2. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS

La resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él. (Braja M. Das, 2001.p.207).

Crespo Villalaz (2004) afirma que una muestra de suelo sometida a un esfuerzo de corte tiende a producir un desplazamiento de las partículas entre sí o de una parte de la masa del suelo con respecto al resto del mismo.

La resistencia al corte del suelo no puede considerarse como un parámetro único y constante, ya que depende de su naturaleza, estructura, enlaces, nivel de deformaciones, etc., así como, muy especialmente, de su estado tensional y de la presión del fluido que rellena sus poros (agua o agua y aire). (González de Vallejo, 2002.p.74)

2.3. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS FRICCIONANTES

La explicación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos friccionantes parte de los mecanismos de la fricción mecánica, presentados en la figura 1, pero para una aplicación más estricta de esta ley a una masa de partículas discretas, hay que considerarlos actuando en los puntos de contacto. Cuanto mayor sean las partículas menos serán los puntos de contacto, si todas las demás circunstancias prevalecen y, por lo tanto, mayores serán las concentraciones de presión en ellos. Análogamente, los puntos de contacto aumentan con la mejor distribución granulométrica. Las presiones en los puntos de contacto cobran importancia si se relacionan con la resistencia individual de los granos del material, pues bajo aquellas, estos pueden llegar a deformarse o a romperse.

La resistencia al esfuerzo cortante de una masa de suelo friccionante depende de las siguientes características del propio material: compacidad, forma de los granos, distribución granulométrica, resistencia individual de las partículas y tamaño de las partículas. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2010.p.392-393)

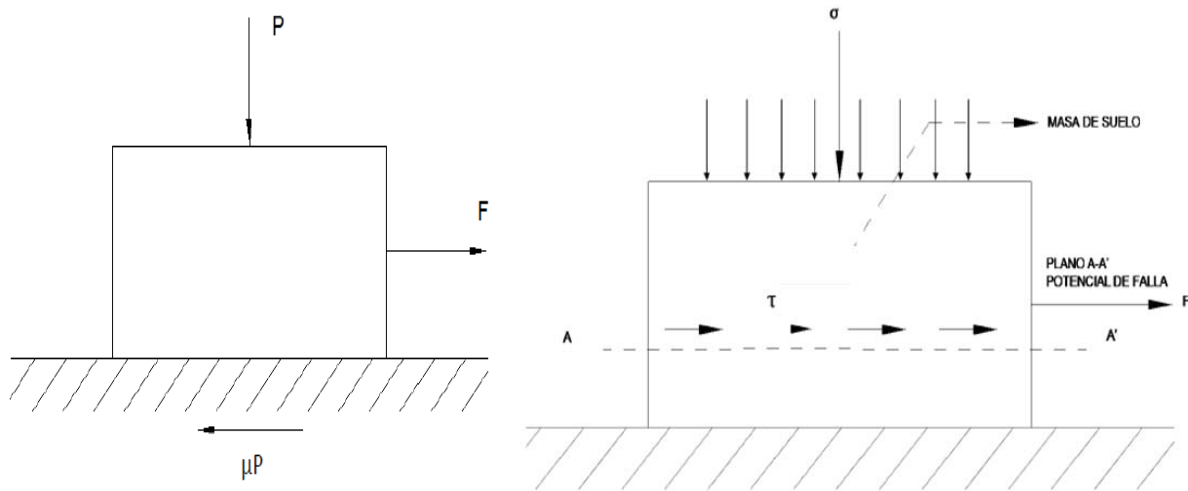


Figura 1 Resistencia al corte de los suelos.

2.4. TEORIA DE FALLA DE MOHR-COULOMB²

Mohr (1900) presentó una teoría sobre la ruptura de los materiales. Esta teoría afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no sólo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o bien de un esfuerzo máximo cortante.

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (2.1)$$

Donde: τ_f = esfuerzo cortante sobre el plano de falla.

$f(\sigma)$ = esfuerzo normal sobre el plano de falla.

La envolvente de falla definida por la ecuación (2.1) es una línea curva, como muestra la figura 2. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Esta relación se escribe como:

$$\tau_f = c + \sigma \tan(\phi) \quad (2.2)$$

Dónde: c = cohesión.

ϕ = ángulo de fricción interna

La ecuación precedente se llama criterio de falla de Mohr-Coulomb.

² Charles Coulomb (Angulema, Francia, 1736-Paris, 1806) Físico francés. Su celebridad se basa sobre todo en que enuncio la ley física que lleva su nombre (ley de Coulomb).

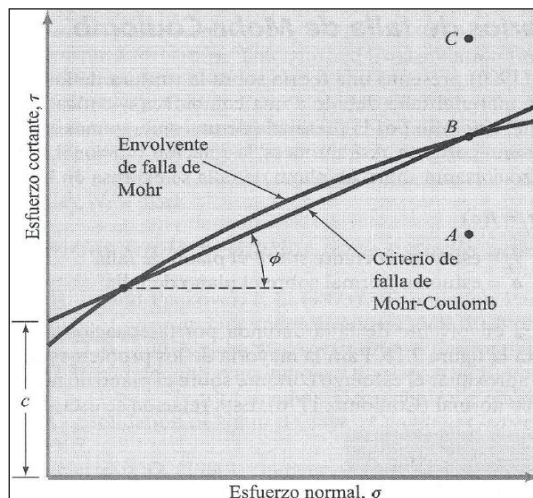


Figura 2 Envolvente de falla de Mohr y los criterios de falla de Mohr-Coulomb.

Fuente: Braja M. Das, 2001.p.207

2.5. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ESTANDAR

La norma ASTM-D3080 especifica lo siguiente:

2.5.1. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

El ensayo de corte directo consiste en colocar el espécimen de ensayo en el dispositivo de corte directo, aplicar un esfuerzo normal predeterminado, humedecer o drenar (o ambos) al espécimen de ensayo, consolidar la muestra bajo el esfuerzo normal, sacar los seguros de los marcos que sujetan al espécimen de ensayo, y desplazar un marco con respecto al otro a una velocidad constante de deformación por corte y medir la fuerza tangencial y el desplazamiento horizontal mientras que la muestra es cortada.

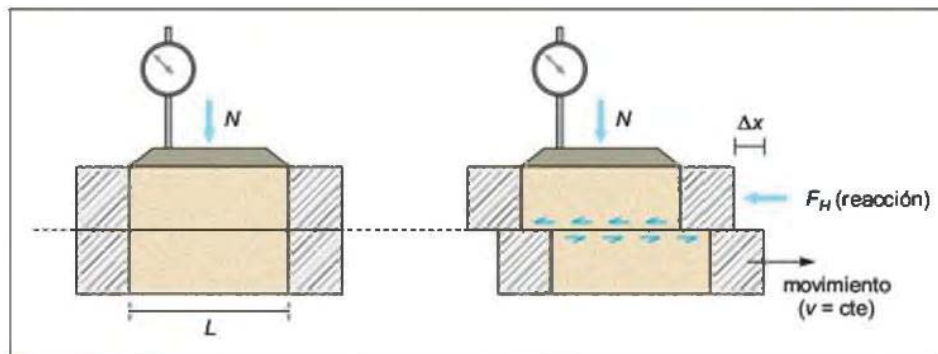


Figura 3 Esquema del aparato de corte directo

Fuente: González de Vallejo, 2002

2.5.2. COMPONENTES DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO

a) DISPOSITIVO DE CORTE

Es un dispositivo para sujetar al espécimen firmemente entre dos piedras porosas de tal manera que no se aplique un torque al espécimen. El dispositivo de corte deberá suministrar medios para aplicar un esfuerzo normal a las caras del espécimen, así como para medir el cambio en el espesor del espécimen, permitir el drenaje del agua a través de las piedras porosas insertadas en los contornos superior e inferior del espécimen, y para sumergir al espécimen en agua. El dispositivo deberá ser capaz de aplicar una fuerza tangencial al espécimen con agua. El dispositivo deberá ser capaz de aplicar una fuerza tangencial al espécimen a lo largo de un plano de corte predeterminado (corte simple) paralelo a las caras del espécimen. Los marcos que sujetan al espécimen deberán ser lo suficientemente rígidos para prevenir su distorsión durante el corte.

b) CAJA DE CORTE ³

Es una caja de corte, circular o cuadrada, hecha de acero inoxidable, bronce o aluminio, con provisión para el drenaje a través de la parte superior e inferior. La caja está dividida verticalmente por un plano horizontal en dos partes de igual espesor, las cuales están sujetas y unidas con tornillos alineados. La caja de corte también está sujeta con tornillos ranurados, que controlan el espacio (ranura) entre las mitades superior e inferior de la caja de corte.

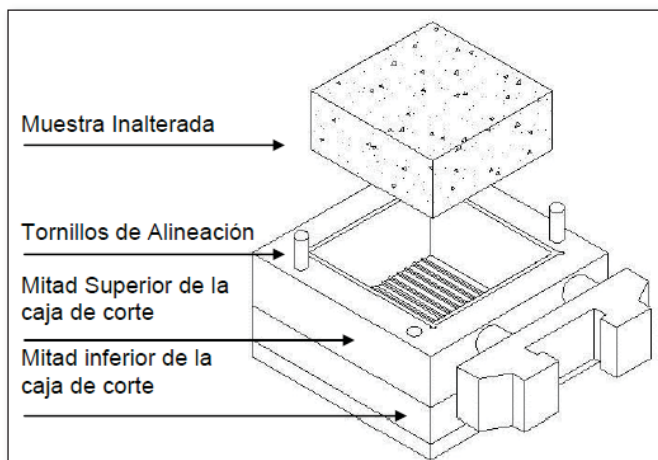


Figura 4 Colocación de la muestra de suelo fino en la caja de corte

³ Es la parte esencial de un equipo de corte directo.

c) **DISPOSITIVO PARA MEDIR LA FUERZA DE CORTE**

Un anillo de carga o una celda de carga con una precisión de 0.5 lbs (2.5 N), o de 1 por ciento de la fuerza de corte en la falla, cualquiera que sea mayor.

d) **BASE DE LA CAJA DE CORTE**

Una caja metálica que soporta la caja de corte y proporciona, ya sea una reacción en la cual la mitad de la caja de corte es restringida, o una base sólida con dispositivo para alinear la mitad de la caja de corte, la cual es libre de moverse de forma coincidente con la fuerza tangencial aplicada en un plano horizontal

e) **ANILLO DE CORTE O DE TALLADO**

Se usa para tallar las muestras de suelo de mayor tamaño a las dimensiones interiores de la caja de corte con un mínimo de alteración. Una guía exterior puede ser necesaria para mantener la caja de corte alineada.

f) **INDICADORES DE DEFORMACIÓN**

Tanto extensómetro de dial o transformadores de desplazamiento capaces de medir el cambio en el espesor del espécimen, con sensibilidad de por lo menos 0.0001 pulg. (0.0025 mm) y para medir el desplazamiento horizontal con una sensibilidad de por lo menos 0.001 pulg. (0.025 mm).

g) **PIEDRAS POROSAS**

La función de las piedras porosas es permitir el drenaje desde el espécimen del suelo, a través de los bordes superior e inferior. La función de ellos también es transferir el esfuerzo de corte horizontal desde las piedras porosas a los bordes superior e inferior del espécimen.

h) **DISPOSITIVO PARA LA APLICACIÓN Y MEDICIÓN DE LA FUERZA NORMAL**

La fuerza normal es aplicada por una palanca de yugo de carga, la cual es activada por pesos muertos (masas) o por un dispositivo de carga neumática. El dispositivo deberá ser capaz de mantener la fuerza normal dentro de ± 1 por ciento de la fuerza especificada, rápidamente sin excederla.

i) **DISPOSITIVO PARA EL CORTE DEL ESPÉCIMEN**

El dispositivo deberá ser capaz de cortar al espécimen a una velocidad uniforme de desplazamiento, con menos de ± 5 por ciento de desviación, y deberá permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento desde 0.0001 a 0.04 pulg/min. (0.0025 a 1.00 mm/min.). La velocidad a ser aplicada depende de las características de consolidación de los suelos. La velocidad es usualmente mantenida con un motor eléctrico y una caja de transmisión y la fuerza de corte se determina con un dispositivo indicador de carga tal como un anillo de carga o celda de carga.

2.5.3. TIPOS DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Los ensayos de corte directo se clasifican en:

- **ENSAYO NO CONSOLIDADO-NO DRENADO (UU)⁴**

El corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo la carga normal, si el suelo es cohesivo y saturado, se desarrollará un exceso de presión de poros.

- **ENSAYO CONSOLIDADO-NO DRENADO (CU)⁵**

Se aplica la fuerza normal y se observa el movimiento vertical del deformímetro hasta que se equilibre la deformación vertical (consolidación) antes de aplicar la fuerza cortante. Luego, la fuerza cortante es aplicada de forma rápida sin permitir la disipación del exceso de presión de poros generada en esta etapa.

- **ENSAYO CONSOLIDADO-DRENADO (CD)⁶**

Se aplica la fuerza normal hasta que se equilibre la deformación vertical, luego se aplica la fuerza cortante tan lento como sea posible, para evitar el desarrollo de presión de poros en la muestra.

Para suelos cohesivos, los parámetros de resistencia de los suelos están influenciados por el método del ensayo y por el grado de saturación, y por el hecho de que el material este normalmente consolidado o sobre consolidado.

⁴ UU: sigla en inglés para no drenado-no consolidado.

⁵ CU: sigla en inglés para consolidado-no drenado.

⁶ CD: sigla en inglés para consolidado-drenado.

2.5.4. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA

Los valores de la resistencia al corte se obtienen realizando como mínimo un ensayo de tres probetas idénticas de un mismo suelo aplicando distintas presiones normales, los datos son llevados a un gráfico en función de la tensión normal (σ_n). Se obtiene así una recta llamada recta intrínseca, en la cual el ángulo formado por esta con el eje de las abscisas es llamado ángulo ϕ (ángulo de fricción interna del suelo) y la ordenada hasta el origen es el valor de C (cohesión del suelo). El grafico generado es similar al expuesto en la figura 5.

El área bajo la curva representa distintas combinaciones de τ y σ_n que producen la falla del suelo, y el área sobre esta recta son los estados de esfuerzos imposibles de alcanzar ya que el suelo falla antes de llegar a ellos (Ortiz, 2010).

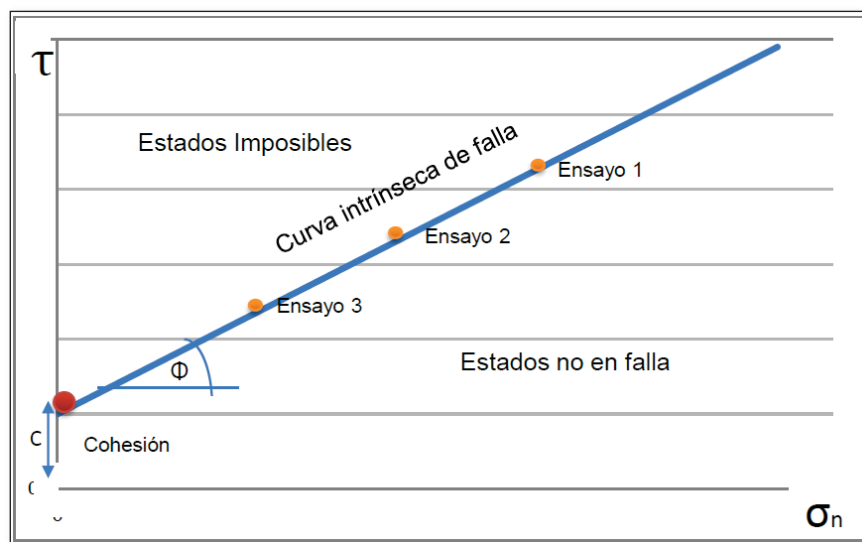


Figura 5 *Curva intrínseca*

Fuente: Ortiz 2010

2.5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Las principales ventajas son:

- Es un ensayo rápido y barato.
- Sus principios básicos son elementales.
- La preparación de las muestras es sencilla.
- Con cajas de corte grandes se pueden ensayar materiales de grano grueso.

- Con algunas modificaciones se pueden emplear los mismos principios para determinar la resistencia de discontinuidades en roca, contacto hormigón-suelo, etc.
- Se puede emplear para medir la resistencia residual en arcillas.

En cuanto a las desventajas se tiene:

- La superficie de rotura es predeterminada.
- La distribución de tensiones en la superficie de corte no es uniforme.
- No se pueden medir en general presiones intersticiales, de manera que la única manera de controlar el drenaje es variando la velocidad desplazamiento horizontal.
- El área de contacto del plano de corte disminuye a medida que se produce el desplazamiento horizontal relativo entre ambas mitades de la caja.

2.5.6. PRUEBAS Y ANALISIS EN EL LABORATORIO

a) PROPIEDADES INDICE DEL SUELO

Son las propiedades o características índices de los suelos nos sirven para conocer, cualitativamente, el comportamiento mecánico de los suelos.

- **CONTENIDO DE HUMEDAD**

Contenido de agua (humedad de un material) la razón, expresada como porcentaje, de la masa del agua contenida en los poros, o agua libre, en una masa dada de material con respecto a la masa del material sólido. Se usa una temperatura estándar de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para determinar estas masas. (NORMA ASTM-D2216). Suele expresarse como un porcentaje, como se muestra en la expresión.

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

$W(\%)$ = contenido de humedad

W_w = peso del agua contenido en el suelo.

W_s = peso del suelo seco

- **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

El propósito del análisis granulométrico es la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas en suelos. La distribución de tamaños de las partículas mayores a 75µm (retenidas en la malla N°200) es determinado por tamizado, mientras que la distribución de tamaños de partículas menores a 75 µm es determinado por un proceso de sedimentación usando un hidrómetro para obtener los datos necesarios (Norma ASTM D 422).

La grafica granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaño de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren al porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica (eje de abscisas en escala logarítmica) resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo practico de escala. (JUAREZ BADILLO, RICO RODRIGUEZ, 2010)

La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo, y se puede determinar:

- **COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD**

Es una medida simple de la uniformidad de un suelo y se define con la expresión:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

En donde:

D_{60} = Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor.

D_{10} = Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, suelo.

En realidad, es un coeficiente de no uniformidad, pues su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos con $C_u < 3$ se consideran muy uniformes; aun las arenas naturales muy uniformes rara vez presentan $C_u < 2$. (JUAREZ BADILLO, RICO RODRIGUEZ, 2010).

○ **COEFICIENTE DE CURVATURA**

Es necesario para definir la graduación, se define con la expresión:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

D_{30} Se define analógicamente que los D_{10} y D_{60} anteriores. Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados, con amplio margen de tamaño de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio. (JUAREZ BADILLO, RICO RODRIGUEZ, 2010).

● **DENSIDAD RELATIVA**

Denominada también compacidad relativa, el termino es comúnmente usado para indicar la compacidad o flojedad “in situ” del suelo granular. Se define como:

$$Dr(\%) = \frac{e_{max.} - e_{nat.}}{e_{max.} - e_{min.}}$$

Donde:

$Dr(\%)$ = Densidad relativa en porcentaje.

$e_{max.}$ = Relación de vacíos correspondiente al estado más suelto del suelo.

$e_{min.}$ = Relación de vacíos correspondiente al estado más compacto del mismo.

$e_{nat.}$ = Relación de vacíos de la muestra en el estado natural.

Sin embargo, es conveniente expresar la densidad relativa en función de los pesos unitarios o densidades secas del suelo, pues el cálculo de la relación de vacíos, requiere del valor de la gravedad específica del suelo, por lo que la densidad relativa puede expresarse mediante la siguiente expresión:

$$Dr(\%) = \frac{\gamma_{dmax} * (\gamma_d - \gamma_{dmin})}{\gamma_d * (\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin})}$$

Donde:

γ_d =densidad seca “in situ”.

$\gamma_{d\max}$ =densidad seca máxima.

$\gamma_{d\min}$ =densidad seca mínima.

Los valores de densidad relativa (D_r) varían de un mínimo de 0 para suelo muy suelto a un máximo de 100 para muy denso, tal como se muestra en la siguiente tabla.

En la tabla 2.1 se indica como Terzhaghi expreso el estado del suelo según su densidad relativa.

Tabla 1 Estados del suelo según su densidad relativa

Estado del suelo	Densidad relativa (%)
Muy suelto	0 - 15
Suelto	15 - 35
Medio	35 - 65
Denso	65 - 85
Muy denso	85 - 100

Fuente: Dujisin D.,1974

- LIMITES DE CONSISTENCIA
 - LIMITE LIQUIDO

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de 25 gr/cm². La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula. (CRESPO VILLALAZ, 2004, p-72)

- LIMITE PLASTICO

El límite plástico (L.P) se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que, mezclado con agua, ha sobrado de la prueba del

límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. (CRESPO VILLALAZ, 2004, p-76)

○ INDICE DE PLASTICIDAD

Se denomina índice de plasticidad o índice plástico (I.P) a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos.

Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo; sin embargo, el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo. (CRESPO VILLALAZ, 2004, p-78)

CAPITULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO

3.1. INTRODUCCION

En este capítulo, se describe con detalle el equipo diseñado e implementado en el presente trabajo de investigación, en la cual se muestra las características del equipo, el proceso de implementación en el laboratorio y los principios que se emplean para la medición de la fuerzas y deformaciones.

3.2. FACTORES QUE CONTROLAN EL DISEÑO DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO

El equipo de corte directo a gran escala permitirá evaluar los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos. Por consiguiente, la construcción del equipo y la ejecución de los ensayos de corte directo a gran escala serán establecidas teniendo en cuenta como referencia la norma ASTM-D3080 y la dimensión del equipo fue establecida en base a lo siguiente.

1.- El presente trabajo de investigación es para determinar los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos cuyo diámetro máximo de las partículas sea de 1 ½”, por consiguiente, el diseño del equipo está en función del tamaño máximo de las partículas a evaluar.

2.- La dimensión de la caja de corte depende del tamaño máximo de la partícula del suelo a evaluar y ,generalmente se acepta que el tamaño máximo debe ser 1/6 del espesor del espécimen conformado en la caja de corte (ASTM D 3080), con la finalidad de evitar que la dimensión de la caja influya en los resultados de la resistencia al corte del suelo, en consecuencia dada las restricción y teniendo el tamaño máximo de la partícula del suelo a evaluar (1 ½”) se considera 25 cm de altura y 30 cm de diámetro de la caja de corte.

3.- La restricción económica es uno de los factores de las cuales depende el diseño del equipo, en este trabajo de investigación se presenta un equipo de corte directo de relativo bajo costo y de manejo fácil, pero que permite cumplir con el objetivo de determinar los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos.

4.-Facilidad del manejo del equipo durante el ensayo de corte directo es otro de los factores de la cuales depende el diseño del equipo. Para realizar los ensayos de corte es necesario contar con dos operadores ya que por su tamaño y peso de la caja de corte es imposible para un solo operador poder cargar y descargar la caja de corte con el material antes y después del ensayo de corte.

Sin embargo, los efectos adversos presentados son pequeños en función de los beneficios que trae el aparato de mayor dimensión que el equipo convencional.

3.3. DISEÑO E INSTRUMENTACION DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO

El equipo de corte directo construido en esta investigación es una versión del equipo convencional a una escala mayor, por consiguiente, su diseño cumple las especificaciones establecidas en la norma ASTM D 3080.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

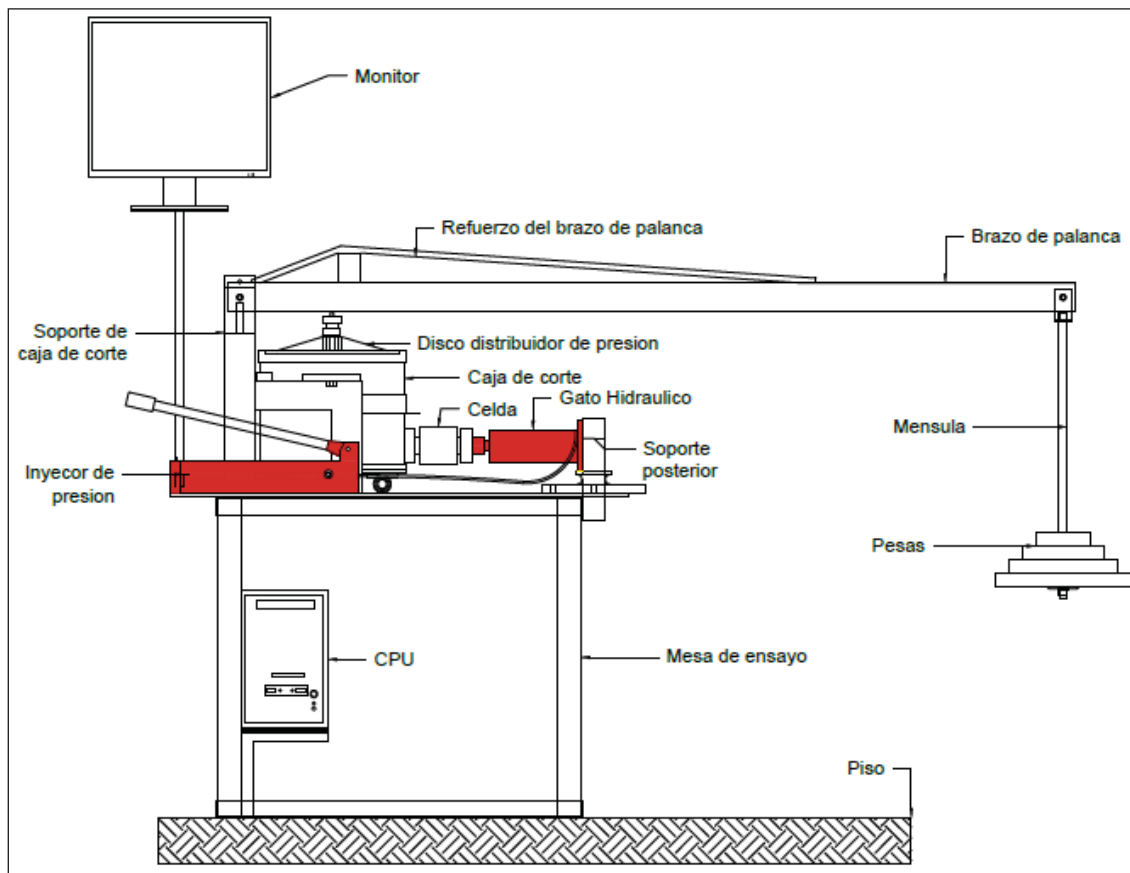


Figura 6 Esquema general del equipo de corte directo diseñado e implementado para suelos gravosos.

3.3.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO

a) MESA DE CORTE

Las dimensiones de la mesa de corte a considerar son: el largo debe ser adecuado para las dimensiones de elementos que se colocaran en la mesa de corte las cuales son: la caja de corte, la celda de carga con sus botones, el gato hidráulico, soporte posterior donde se apoya el gato hidráulico y para la colocación del vernier de medición de la deformación tangencial. Los cuales se ubican en un largo total de 96cm por lo tanto se considera un largo de 100cm. El ancho obedece al diámetro de la caja de corte, soporte de la caja de corte y para la ubicación de la bomba hidráulica, por lo tanto, el ancho a considerar es de 50 cm. La altura a considerar es de 65cm porque es una altura que permite realizar el ensayo de manera

cómoda y es posible levantar el espécimen conformada en la caja de corte sin mucha dificultad. El dimensionamiento de la estructura de acero de la mesa de corte es de forma empírica es decir el dimensionamiento es por error de ensayo y se observa que funciona de madera adecuada sin ninguna falla ni deformación en su estructura.

b) CAJA DE CORTE

La dimensión de la caja de corte está diseñada para evaluar suelos gravosos cuyo diámetro máximo sea de 1 ½”, por consiguiente, teniendo este parámetro el diseño obedece a la norma ASTM-D3080 que indica que el espesor del espécimen debe ser como mínimo 6 veces el diámetro máximo de las partículas a evaluar, por lo tanto, el diámetro interior de la caja de corte es de 30 cm y una altura de 25 cm, construida con planchas metálicas de 1/4” pulgada de espesor. Las cajas de corte están divididas horizontalmente por la mitad para permitir el movimiento relativo de la mitad inferior sobre la mitad superior.

La caja de corte superior tiene una altura de 13.5cm, mientras a caja de corte inferior de 11.5. La caja de corte superior tiene mayor altura debido a que 1 cm de altura se coloca arena fina con la finalidad de nivelar la cara superior de la muestra y permite la distribución uniforme de la fuerza normal y 0.5cm de altura para la colocación del disco distribuidor de carga normal.

El espesor de plancha de acero utilizado en las cajas de corte y los refuerzos se debe al error de ensayo. Es decir, en la primera etapa del presente trabajo de investigación se realizó ensayos con cajas de corte construidos con planchas de acero de menor espesor en la cual se observó una ligera deformación en la caja de corte superior (figura 8a). Por consiguiente, el espesor de la plancha de acero utilizado para las cajas de corte es de 1/4”, además la caja de corte superior se refuerza con cinta de acero de espesor de 1/4” y en la parte superior con ancho de 2.5cm y en la parte inferior con un ancho de 4cm de esta manera se asegura de que la caja de corte no se deforme lo cual se verifica con la tapa (disco distribuidor de carga) con 2mm menor en su diámetro con respecto al diámetro interior de la caja de corte que entra bien y se desplaza por el fenómeno de la dilatación ya sea positiva o negativa sin ningún rozamiento con la caja lo cual indica que no hubo deformación de la caja de corte. En la parte superior de la caja de corte inferior se implementa una plancha metálica de 1/8”

de espesor en forma de media luna para evitar la caída del material durante el proceso de corte debido al desplazamiento horizontal de la caja inferior, al mismo tiempo sirve como refuerzo de la caja de corte y evita la deformación de la misma con la aplicación de la fuerza tangencial.

c) PLATAFORMA MOVIL

El diseño de la plataforma móvil obedece a que la base de caja de corte es de forma cuadrada lo cual permite emperrar en los bordes la caja de corte con la plataforma móvil por lo tanto las dimensiones a considerar son de 32cm de lado, el cual está apoyada sobre un sistema de rodamiento. La cantidad de rodamiento se calcula teniendo el esfuerzo normal máximo a aplicar en la muestra de 2.00kg/cm^2 en un área de 706.86cm^2 por lo tanto la fuerza normal máximo será de 1413.7 kg entonces teniendo cada rodamiento una capacidad de carga estática de 400 kg y carga dinámica de 1230 kg cada una. Tomando el caso critico la menor capacidad del rodamiento que es de 550 kg y con fuerza máxima calculado de 1413.7 kg entonces será necesario como mínimo 03 rodamientos, pero por seguridad se considera para el presente trabajo 06 rodamientos. Además, el sistema de rodamientos reduce al mínimo la fricción con la mesa de corte.

d) ANILLO DE POLIETILENO

En los ensayos de prueba con suelos gravosos cuya forma de partícula es anguloso se observa que existe fricción en el área lateral de la mitad superior de la caja de corte entre el suelo y el molde de acero cuando se produce el fenómeno de la dilatancia lo cual puede influir en los resultados del ensayo por lo tanto se diseña un anillo de polietileno con un diámetro igual que diámetro interior de la caja de corte, es decir con diámetro de 30cm y altura de 11.25 cm (figura 7). El diseño de la altura obedece a que la altura de la caja de corte superior es de 13.5 cm, pero en anillo se colocará a 1.25cm de la parte superior de la caja y a 1cm de la parte inferior en donde un centímetro de la parte superior será para la colocación de arena fina y 0.25 cm para la colocación del disco distribuidor de la fuerza normal. Así mismo 1 cm de la parte inferior será libre para el desplazamiento del anillo durante el asentamiento de la muestra sin llegar a interferir en el plano de falla.

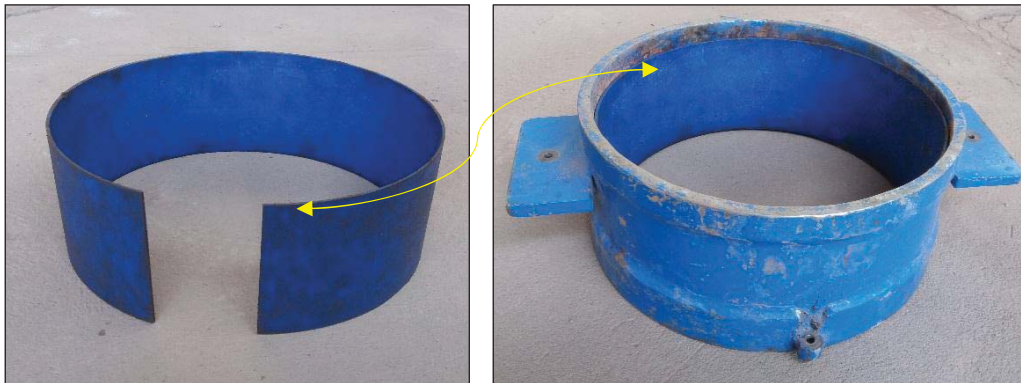


Figura 7 Anillo de polietileno.

e) DISCO TRANSMISOR DE CARGA VERTICAL

El disco transmisor de carga vertical que distribuye la fuerza axial sobre todo el área del espécimen debe tener un diámetro menor que el diámetro interior de la caja de corte que permita que el disco se desplace de manera libre durante el ensayo cuando se produzca una dilatación ya sea positiva o negativa es decir desplazamiento vertical. Teniendo el diámetro interior de la caja de corte de 30cm por lo tanto el diámetro del disco transmisor de cargas será de 29.8cm y un espesor de $\frac{1}{4}$ ". El esfuerzo normal máximo para el cual es diseñado el equipo es de 2.00kg/cm² y se tiene un área de 706.86cm² por consiguiente la fuerza normal máxima será de 1413.7 kg. En la primera etapa de este presente trabajo de investigación se realizó los ensayos utilizando el disco de transmisor de cargas sin refuerzo (figura 8a) pero pese a que no se observó deformación de este disco luego de los ensayos preliminares, para proporcionar una distribución uniforme de presiones el disco debe ser muy rígido y considerando que la fuerza normal es grande el disco de acero se refuerza con tres costillas de acero perpendicular al disco transmisor de $\frac{1}{4}$ " de espesor.

El disco transmisor de carga tiene soldado en la parte central un perno de $\frac{1}{2}$ " de diámetro con su respectiva tuerca los cuales reciben la carga axial transmitida por el brazo de palanca, el perno permite regular la horizontalidad del brazo de palanca, además sobre el perno se coloca una bola de acero el cual permite el libre reacomodo y movimiento del disco transmisor de carga durante el ensayo.



Figura 8 a) ensayo de prueba en la primera etapa en donde la caja de corte, disco transmisor de carga ni el brazo de palanca es reforzado, b) disco distribuidor de carga axial con refuerzo.

f) BRAZO DE PALANCA

Según la Norma ASTM-D3080 el sistema para aplicar la fuerza normal debe ser capaz de aplicar la fuerza especificada rápidamente, sin exceder esta, y capaz de mantenerla con una precisión de $\pm 1\%$ durante la realización del ensayo. Al inicio del presente programa de investigación se tenía pensado aplicar la carga vertical con una gata hidráulica, pero es muy difícil de mantener de forma manual una carga con una precisión de $\pm 1\%$ de la carga total por efecto de la dilatación positiva o negativa. Por consiguiente, se considera el brazo de palanca para la aplicación de la fuerza normal lo cual garantiza aplicar dicha fuerza sin variación.

El largo del brazo de palanca se calcula teniendo el esfuerzo normal máximo a aplicar de 2.00 kg/cm^2 con un área de 706.86 cm^2 entonces la fuerza normal máximo aplicar será de 1413.7 kg . considerando el brazo de potencia de 20 cm que es medido desde punto de aplicación de la carga normal al soporte posterior de la caja de corte y brazo de palanca, entonces se considera como brazo de potencia de 160 cm lo cual permite que la cantidad de pesas a utilizar no sea mucho y al mismo tiempo sea capaz de transmitir la carga sin mayores deformaciones en brazo de palanca.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

Finalmente, el brazo de palanca tiene las siguientes dimensiones: 180cm de largo, $\frac{1}{2}$ " de espesor y altura de 2.5". en la figura 8a se muestra el ensayo de prueba realiza en la etapa inicial del presente trabajo de investigación en la cual se utiliza el brazo de palanca con las dimensiones menores de espesor y altura, pero con el mismo largo en donde se observa una ligera deflexión en la parte cercana al punto de transmisión de la carga axial, por consiguiente, se coloca un refuerzo en el brazo de palanca (figura 9).

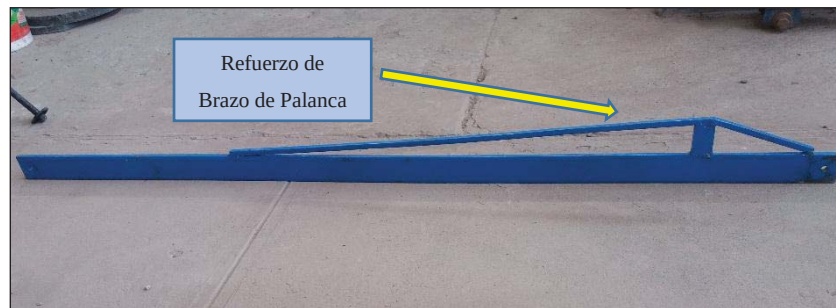


Figura 9 brazo de palanca.

g) PESAS

La cantidad de pesas o el peso total requerido es calculado teniendo como esfuerzo normal máximo de 2.00kg a aplicar durante el ensayo, para cual se debe tener en cuenta los esfuerzos producidos por el brazo de palanca, ménsula y el disco transmisor de carga (tabla 2).

Tabla 2 esfuerzos iniciales y factor de conversión de pesas a considerar.

Elemento	Esfuerzo (kg/cm ²)
Disco distribuidor de cargas (tapa de la caja de corte)	0.007
Ménsula	0.021
Brazo de palanca	0.087
Esfuerzo Normal Inicial antes de colocar las pesas	0.12

Constante de conversión de Fuerza	K= 9.00
Área de corte del espécimen	706.86 cm ²

Teniendo el esfuerzo inicial a considerar de 0.12 kg/cm² antes de colocar las pesas y un factor de conversión $k=9.00$, entonces el peso total requerido para producir el esfuerzo máximo de 2.00kg/cm² será de 148 kg por lo tanto el conjunto de pesas a utilizar es 1 pesa de 40kg, 1 pesa de 20kg, 9 pesas de 10kg y pesas de 5,3,2,1.5 y 1kg respectivamente cada una de una unidad, los cuales serán usados en combinaciones para producir esfuerzos normales de 0.5,1.00 y 2.00 kg/cm² para los ensayos correspondientes.

h) BOMBA HIDRAULICA

La capacidad de la bomba hidráulica se calcula considerando valores de parámetro de resistencia cortante para una muestra de suelo gravoso crítico con: cohesión aparente de $C=1.00\text{kg/cm}^2$, ángulo de fricción interna $\phi=60^\circ$. El esfuerzo normal máximo para el cual es diseñado el equipo es de 2.00kg/cm². Teniendo estos datos y reemplazando en la ecuación de Mohr Coulomb.

$$\tau_f = c + \sigma \tan(\phi)$$

Se obtiene el esfuerzo de corte de ($\tau_f = 4.46 \text{ kg/cm}^2$) y teniendo el área de corte de 706.86cm² se obtiene la fuerza de corte de 3152.6 kg. Como caso crítico, por consiguiente, la capacidad del sistema de bomba hidráulica (inyector de presión) y el gato hidráulico debe ser mayor a 3.2 toneladas. Por lo tanto, para este proyecto de investigación el sistema de bomba hidráulica y el gato hidráulico a usar será de 10 ton de capacidad que es mayor a 3.2 ton y es comercial.

i) GATO HIDRAULICO

El gato hidráulico deberá ser de capacidad igual que la bomba hidráulica es decir de 10 ton de acuerdo al cálculo anterior, pero para el presente trabajo de investigación se utilizará una gata hidráulica de 15 toneladas de capacidad debido a que el gato hidráulico es modificado en su sistema de funcionamiento, por consiguiente, se provee de que el gato hidráulico disminuya su capacidad. La modificación se realizó para adaptar el gato hidráulico a la bomba hidráulica (inyector de presión) mediante una manguera hidráulica de alta presión.

j) SISTEMA DE MEDICION DE LA FUERZA TANGENCIAL

La norma ASTM-D3080 indica que el dispositivo para medir la fuerza de corte debe tener una precisión de 0.5 lbs (2.5 N), o de 1 por ciento de la fuerza de corte en la falla, cualquiera que sea mayor.

En la primera etapa del presente trabajo de investigación se realizó la medición de la fuerza tangencial con la adaptación de un manómetro en el gato hidráulico (figura 10). pero debido a que la precisión en la toma de datos no es exacta y por la dificultad en el registro de datos se opta por la utilización de una celda de carga analógica de 20 ton de capacidad que permite el registro de datos de manera precisa con la implementación de un programa denominado “análisis de grava”.



Figura 10 registro de la fuerza tangencial con la adaptación de un manómetro en el gato hidráulico.

k) SISTEMA DE MEDICION DE LA DEFORMACION HORIZONTAL Y VERTICAL

Para la medición de las deformaciones horizontal y vertical en la etapa inicial se tenía pensado utilizar deformímetros pero por la limitación de la carrera máxima de los deformímetros para registrar la deformación total de la caja de corte se utilizó vernieres digitales de 0.01mm de precisión (figura 11), pero por la dificultad en el registro de datos de ambas deformaciones horizontal y vertical en forma manual se realiza una adaptación de los vernieres mediante cables de salida para el registro de datos de manera automática y al mismo tiempo que el registro de datos de la celda de carga. El registro de datos se realiza con el programa implementado “análisis de grava”.



Figura 11 Registro de deformaciones con el vernier digital.

3.3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

a) MESA DE CORTE

La mesa de corte está conformada por:

- **PLATAFORMA DE ACERO**

Es una plancha de acero cuyo espesor es de $3/8''$ con forma rectangular de 100cm de largo y un ancho de 50cm, su función es soportar todo el peso de la estructura del equipo, está fijado al soporte metálico construido a base de tubos y perfil de acero mediante pernos de $1/2''$. El desplazamiento durante el ensayo de corte directo se desarrollará en la dirección del lado mayor de la plataforma, el soporte de la caja de corte esta soldado sobre la plataforma como se muestra en la figura 12.



Figura 12 Plataforma de acero con el soporte de caja de corte.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

- SOPORTE DE LA PLATAFORMA DE ACERO

Está construido a base de tubos y perfil de acero, tiene 80 cm de largo, 40 cm de ancho y una altura de 65cm (figura 13), lo cual es una altura adecuada para realizar de forma cómoda el ensayo de corte. Recibe y transmite al suelo toda la carga de la mesa de corte, sobre el soporte se fija la plataforma de acero y a su vez el soporte de la plataforma se fija al piso a través de 06 pernos de expansión.

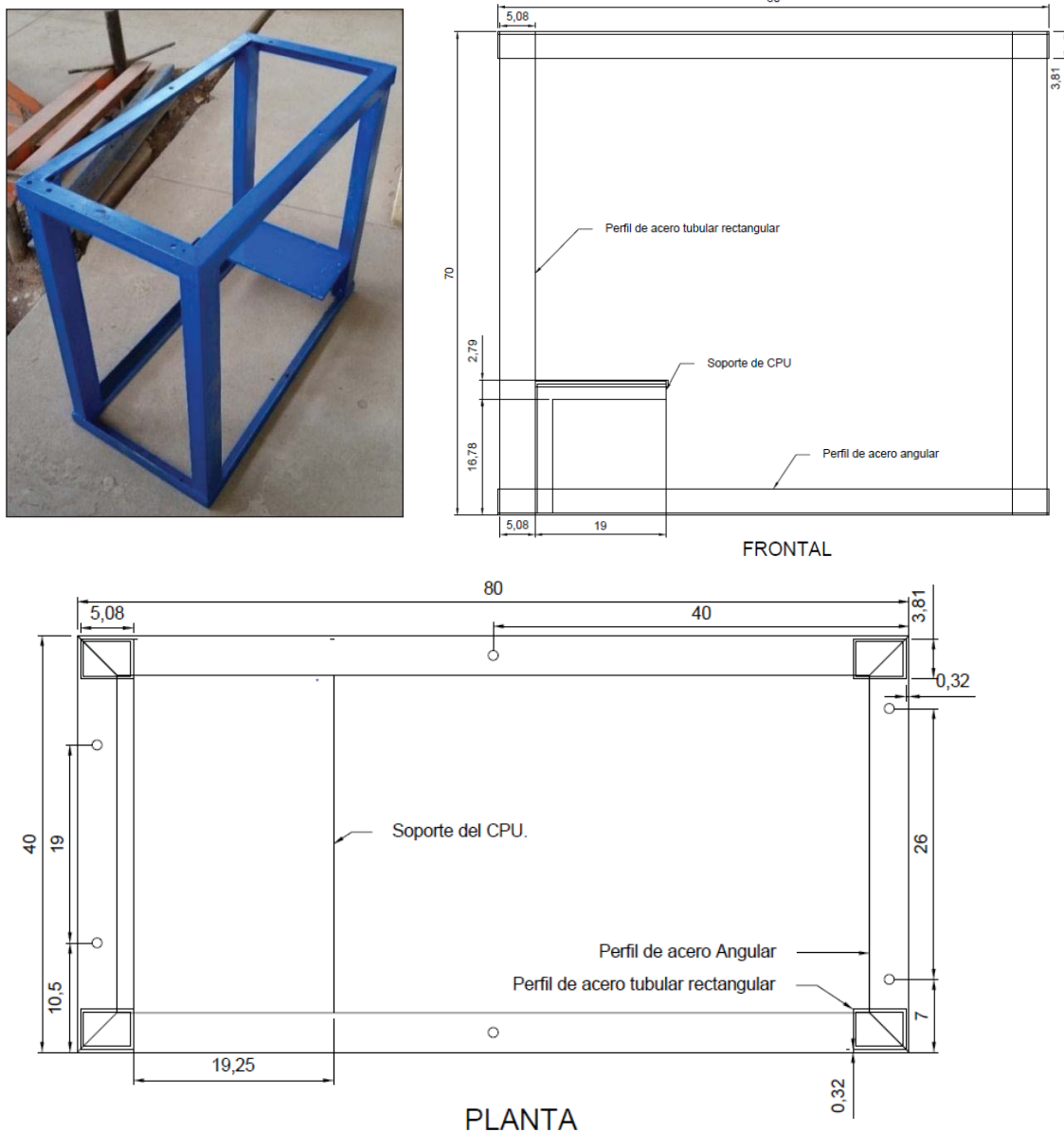


Figura 13 Dimensiones del soporte de la plataforma de acero (unidad de medida en cm).

b) CAJA DE CORTE

La caja de corte es un dispositivo de forma circular que permite confinar la muestra en distintos estados de compactación, desde los simplemente vertidos hasta los compactados mediante un compactador mecánico. La caja de corte permite aplicar un esfuerzo normal en la muestra, para medir el cambio de espesor de la muestra, además el dispositivo permite aplicar una fuerza tangencial para cortar la muestra a lo largo de un plano de corte predeterminado paralelos a las caras del espécimen.

La dimensión de la caja de corte está diseñada para evaluar suelos gravosos cuyo diámetro máximo sea de 1 ½”, por consiguiente, teniendo este parámetro el diseño obedece a la norma ASTM-D3080 que indica que el espesor del espécimen debe ser como mínimo 6 veces el diámetro máximo de las partículas a evaluar, por lo tanto, el diámetro interior de la caja de corte es de 30 cm y una altura de 25 cm, construida con planchas metálicas de 1/4” pulgada de espesor. Las cajas de corte están divididas horizontalmente por la mitad para permitir el movimiento relativo de la mitad inferior sobre la mitad superior.

- **CAJA DE CORTE SUPERIOR**

Dispositivo de forma circular cuyo diámetro interior es de 30cm, una altura de 13.5cm y un espesor de ¼”. La caja tiene un soporte colocado sobre la mesa de corte, lo cual mantiene fija mediante pernos durante el ensayo de corte directo. Así mismo para evitar deformaciones de la caja de corte se coloca refuerzo con cinta de acero en la parte superior e inferior de la misma. La figura 14, muestra las dimensiones y características de la caja.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

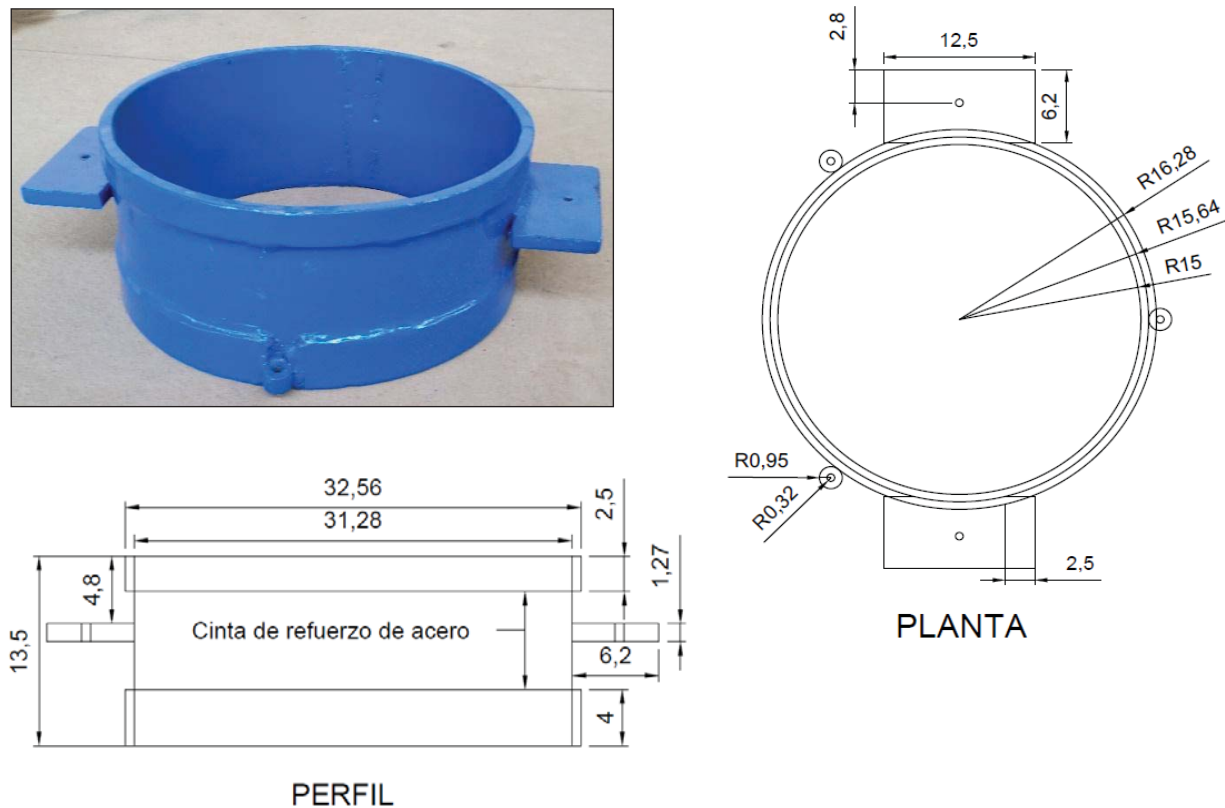


Figura 14 Dimensiones y características de la caja de corte superior (unidad de medida en cm).

- CAJA DE CORTE INFERIOR

Dispositivo de forma circular cuyo diámetro interior es de 30cm, una altura de 11.5cm y un espesor de $\frac{1}{4}$ ". La caja de corte inferior es móvil lo cual permite el movimiento relativo de la mitad inferior sobre la mitad superior. Está fijada mediante la soldadura a una plancha metálica cuadrado de 32x32 de lado y un espesor de $\frac{3}{8}$ ", asimismo para realizar el ensayo de corte la caja inferior se fija mediante pernos a la plataforma móvil que permite el desplazamiento de la misma. En la parte superior de la caja se implementa una plancha metálica de $\frac{1}{8}$ " de espesor en forma de media luna para evitar la caída del material durante el proceso de corte debido al desplazamiento horizontal de la caja inferior, al mismo tiempo sirve como refuerzo de la caja de corte y evita la deformación de la misma con la aplicación de la fuerza tangencial. En la figura 15, se muestra las dimensiones y características de la caja.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

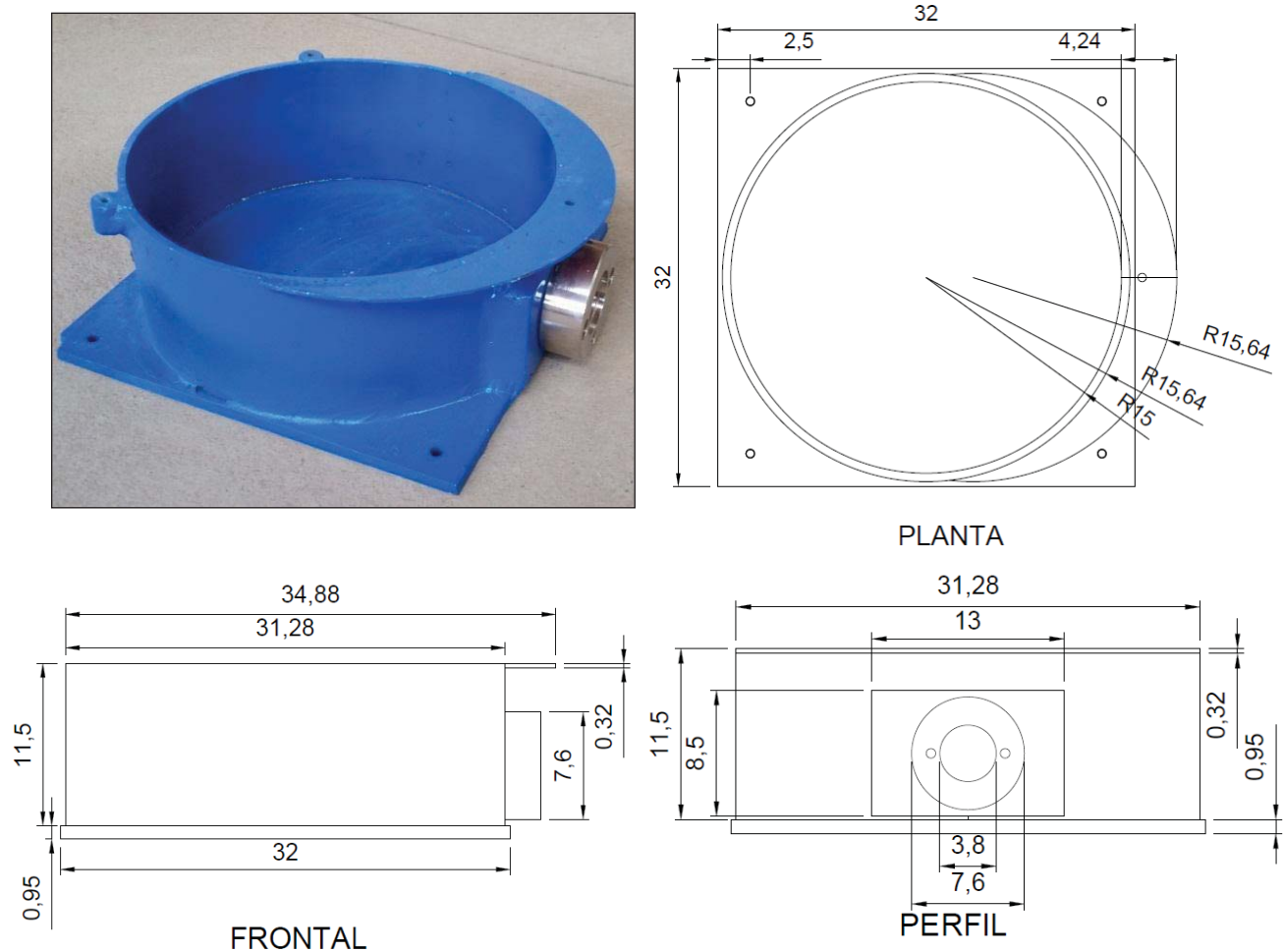


Figura 15 Dimensiones y características de la caja de corte inferior (unidad de medida en cm).

c) PLATAFORMA MOVIL

Es una plataforma cuadrada de 32cm de lado, el cual está apoyada sobre un sistema de rodamiento que tiene un total de 06 rodajes, cada rodamiento tiene capacidad de carga estática y dinámica adecuado para soportar la fuerza normal calculado, por lo tanto, teniendo en cuenta la carga axial máxima a aplicar durante el ensayo de corte de 1.5 toneladas el sistema de rodamiento es adecuado para soportar dicha carga máxima. Además, el sistema de rodamientos reduce al mínimo la fricción con la mesa de corte. En la figura 16, se muestra las dimensiones y características de la plataforma móvil.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

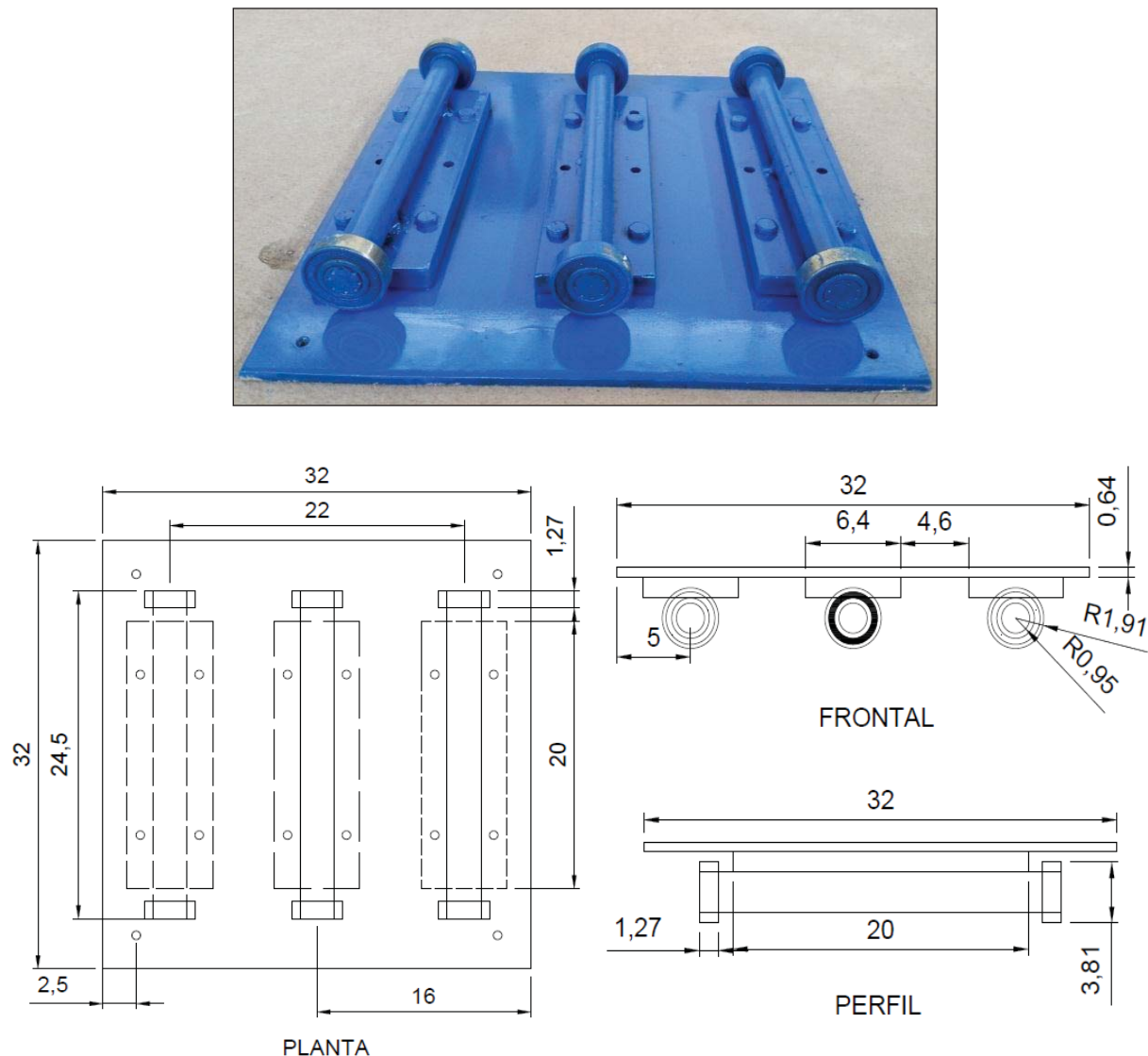


Figura 16 Dimensiones y características de la plataforma móvil (unidad de medida en cm).

d) SISTEMA DE CARGA HORIZONTAL

La fuerza tangencial es aplicada mediante un gato hidráulico y está constituido por los siguientes elementos:

- **GATO HIDRAULICO**

El gato hidráulico tiene la capacidad de 15 toneladas, lo cual permite transmitir la fuerza tangencial sobre la mitad inferior de la caja de corte a una velocidad constante necesario de acuerdo al tipo de suelo a ensayar. Se apoya sobre un soporte, que está colocado en el borde

posterior de la mesa del ensayo, implementado para tal fin. La carga tangencial es horizontal (no inclinado), debido al plano de falla predeterminado.

- **BOMBA HIDRAULICA**

La bomba hidráulica, marca Truper con capacidad de 10 toneladas. Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía del fluido incompresible que mueve.

En el presente trabajo de investigación la bomba hidráulica es adaptado al gato hidráulico mediante una manguera hidráulica de alta presión (figura 17). El control de la velocidad para la aplicación de la fuerza tangencial se realiza manualmente, manipulando el inyector de presión de la bomba hidráulica de acuerdo a la velocidad requerida.



Figura 17 Adaptación del inyector de presión al gato hidráulico.

e) SISTEMA DE CARGA VERTICAL (AXIAL)

La fuerza vertical es aplicada mediante una palanca que es cargada con pesas colocada en una ménsula al extremo de la misma, capaz de aplicar la fuerza especificada rápidamente, sin exceder esta, y capaz de mantenerla con una precisión de $\pm 1\%$ durante la duración del ensayo (ASTM-D3080).

- BRAZO DE PALANCA

La fuerza vertical es aplicada mediante una palanca que es cargada con pesas colocada en una ménsula al extremo de la misma. La palanca tiene un sistema con una rosca en el punto de aplicación de la carga vertical a la caja de corte que permite poner la palanca en forma horizontal al comenzar a colocar las pesas en el extremo de la misma. En la palanca del equipo el brazo de resistencia es de 20 cm y el brazo de potencia de 160 cm.

El brazo de potencia de la palanca de la carga normal (vertical) es adecuado para lograr presiones de confinamiento normales aplicados a cada uno de los tres especímenes que conforman un juego de ensayos de 0.5 kg/cm², 1.00 kg/cm² y 2.00 kg/cm² respectivamente. Además, el sistema para aplicar la fuerza normal, es capaz de aplicar la fuerza especificada rápidamente, sin exceder esta, y capaz de mantenerla con una precisión de $\pm 1\%$ durante la realización del ensayo (Norma ASTM-D3080).

Es necesario mencionar para la carga normal se debe considerar lo siguiente:

- ✓ Peso del disco de distribución de carga.
- ✓ Fuerza aplicada por el peso propio de la palanca de la fuerza normal.
- ✓ La fuerza que produce las pesas que se colocan en la ménsula.
- ✓ La fuerza resultante del peso de la ménsula que al estar ubicado al extremo del brazo de carga no es despreciable.

En la figura 18, se muestra las características y dimensiones de brazo de palanca y la ménsula.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

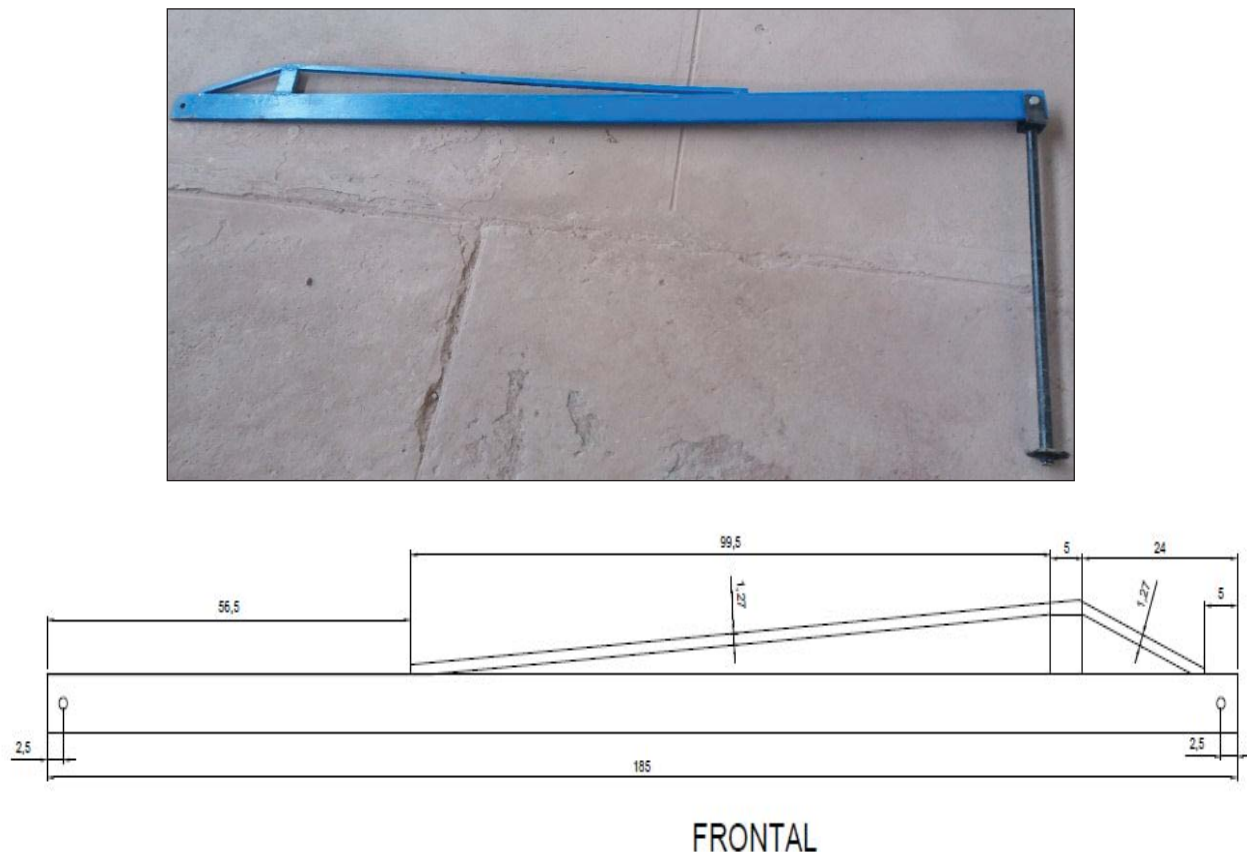


Figura 18 Dimensiones y características del brazo de palanca (unidad de medida en cm).

- DISCO TRANSMISOR DE CARGA VERTICAL

La carga vertical transmitida a la muestra es a través de un disco de acero cuyo diámetro es de 29.8 cm por $\frac{1}{4}$ " de espesor colocada sobre una capa de arena fina de 1 cm de espesor que va instalado en la parte superior de la muestra conformada y aislada de este mediante un manto de polietileno para evitar que se contamine los materiales granulares durante el ensayo.

El uso de la arena fina de granos uniformes es una aplicación práctica con el fin de obtener una superficie homogénea para transmitir a la muestra una distribución de presión uniforme en cualquier estado del ensayo y evitar de esta forma un diseño complejo y costoso para tal fin. Con un disco rígido es dificultoso que ocurra una distribución homogénea de la carga axial sobre la muestra (Jewell, 1980, citado por Basurto, 2010).

El disco transmisor de carga vertical tiene soldado en la parte central un perno de $\frac{1}{2}$ " de diámetro con su respectiva tuerca los cuales reciben la carga axial transmitida por el brazo de la palanca, el disco de acero esta reforzada por costillas de acero perpendicular a la misma de $\frac{1}{4}$ " de espesor.

El perno permite regular la horizontalidad del brazo de la palanca antes del aplicar la carga vertical mediante las pesas colocadas en el extremo del brazo de la palanca, además sobre el perno de coloca una bola de acero, el cual permite el libre reacomodo y movimiento del disco transmisor de carga durante el ensayo, así como el brazo de palanca (figura 19).

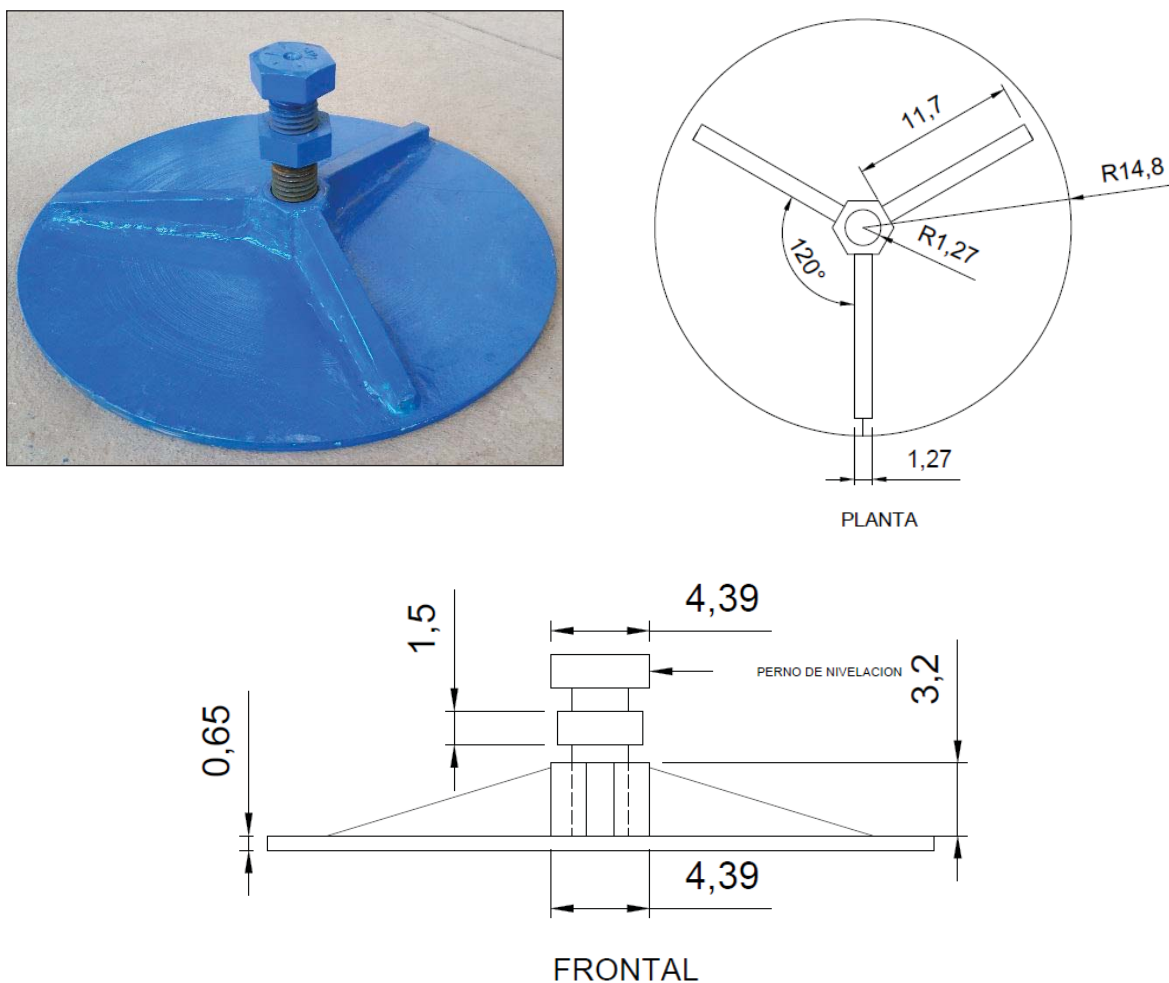


Figura 19 Dimensiones y características del disco transmisor de carga normal (unidad de medida en cm).

- **PESAS**

Se tiene un conjunto de discos de acero de diferentes pesos desde una pesa de 40kg hasta una de 0.5 kg, haciendo un peso total de 160kg (figura 20), los cuales serán colocados en una ménsula al extremo del brazo de la palanca, de acuerdo a fuerza vertical requerida en el espécimen durante el ensayo de corte.

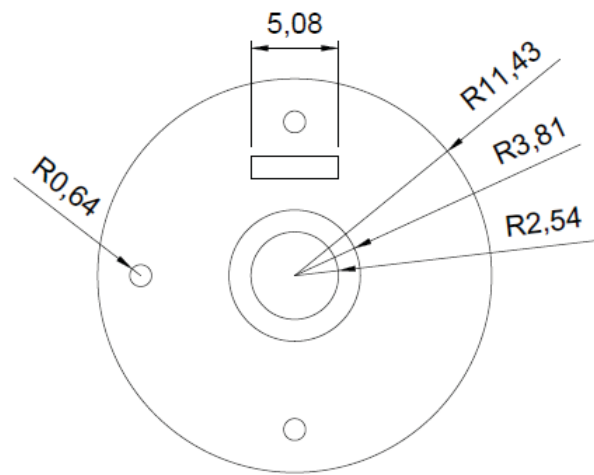


Figura 20 Conjunto de pesas para la fuerza normal.

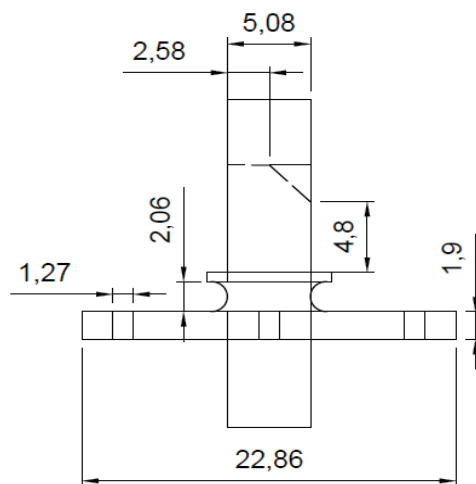
- f) **SISTEMA DE SOPORTES**

- **SOPORTE POSTERIOR**

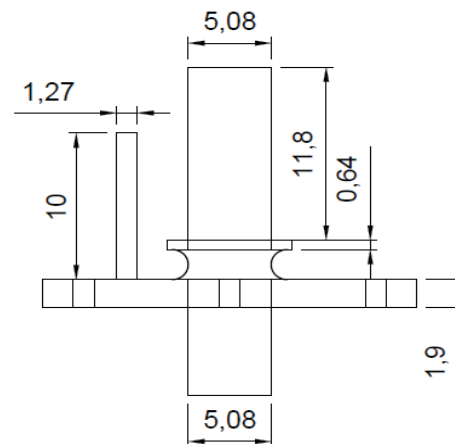
Es un sistema diseñado para soportar la fuerza horizontal que se produce durante la aplicación de la carga tangencial en el ensayo de corte y está compuesto por los siguientes elementos: eje de soporte, soporte rectangular y un disco de acero pequeño soldado al eje de soporte, lo cual sostiene al gato hidráulico y permite el giro de la misma antes y después del ensayo de corte. Finalmente, todos estos elementos tienen el soporte de un disco de acero de 23 cm de diámetro y un espesor de $\frac{3}{4}$ " empernado a la mesa de corte, sobre lo cual están soldados dichos elementos. Las dimensiones y características se muestran en la figura 21.



PLANTA



FRONTAL



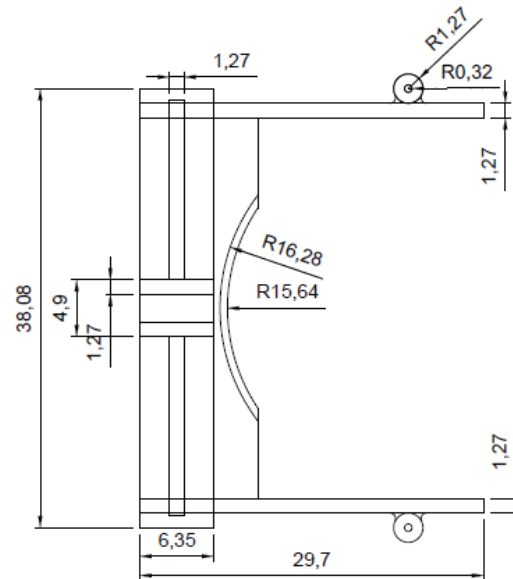
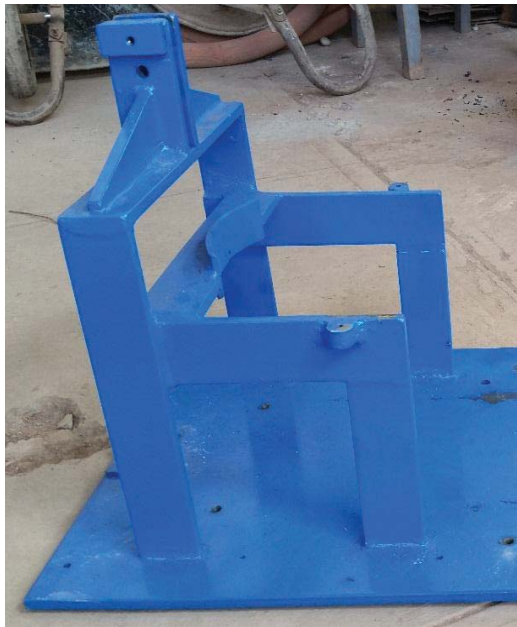
PERFIL

Figura 21 Dimensiones y características del soporte posterior (unidad de medida en cm).

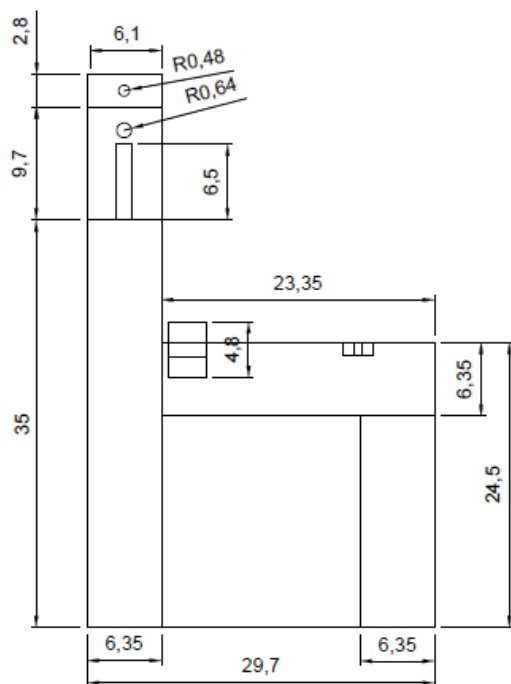
- **SOPORTE DE CAJA DE CORTE Y BRAZO DE PALANCA**

Es un sistema compuesta por los siguientes elementos (figura 22), su diseño tiene la finalidad de mantener fija (inmóvil) la caja de corte superior durante el ensayo de corte, además sujeta el brazo de la palanca que suministra la carga vertical (axial) al espécimen en el ensayo de corte directo.

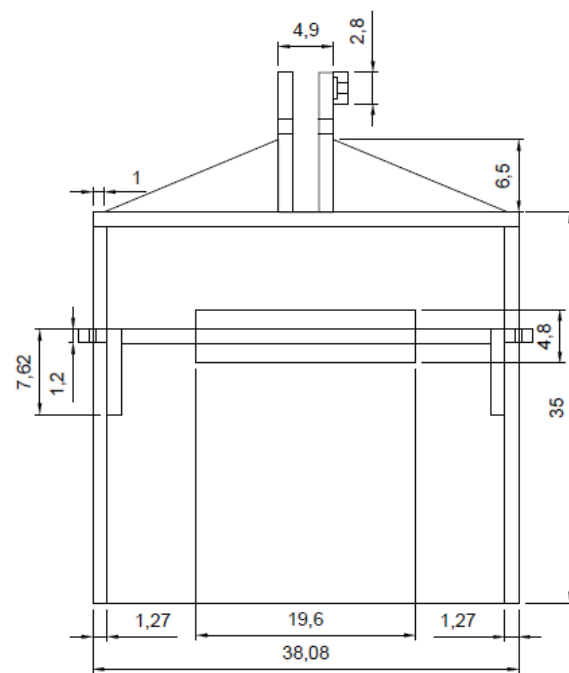
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO



PLANTA



FRONTAL



PERFIL

Figura 22 Dimensiones y características del soporte de la caja de corte y brazo de palanca (unidad de medida en cm).

g) SISTEMA DE MEDICION DE LA FUERZA TANGENCIAL

La fuerza tangencial durante el ensayo es medida a través de una celda de carga de las siguientes características: marca: HBM, modelo: C16AC3, capacidad: 20ton, procedencia: alemana, Límite de sobrecarga: mínimo 150%, Límite de ruptura: mínimo 300%, De Compresión (Tipo Botella), Clase de protección IP68, Protección contra polvos finos de malla muy baja y pueden estar sumergidas en agua sin que presenten inconvenientes. Cuenta con seguridad para las variaciones de temperatura y nivel de protección contra la corrosión altamente efectiva.

La celda de carga (figura 23), permite registrar datos con una precisión menor a 1 por ciento de la fuerza de corte en la falla, el registro de datos será en la computadora en intervalos de tiempo requerido en cada ensayo.



Figura 23 Medición de la fuerza tangencial con la celda de carga.

h) SISTEMA DE MEDICION DE LA DEFORMACION HORIZONTAL

La deformación horizontal será medida con vernier digital marca Truper, con algunas modificaciones que permiten el registro de datos en la computadora en intervalos de tiempo iguales que la deformación vertical y la fuerza tangencial, la capacidad del vernier electrónico para medir la deformación horizontal es de 6", con una sensibilidad de ± 0.01 mm. El vernier electrónico es acondicionado a la mesa de ensayo de corte directo en la parte posterior del sistema de soporte de la caja de corte, en la dirección del desplazamiento de la caja de corte inferior durante el corte del espécimen. En la figura 24, se muestra las características del sistema de medición de la deformación horizontal.



Figura 24 Vernier para la medición de la deformación tangencial.

i) SISTEMA DE MEDICION DE LA DEFORMACION VERTICAL

La deformación vertical será medida con vernier digital marca Truper, con algunas modificaciones que permiten el registro de datos en la computadora en intervalos de tiempo iguales que la deformación horizontal y la fuerza tangencial, la capacidad del vernier electrónico para medir la deformación horizontal es de 6", con una sensibilidad de ± 0.01 mm. El vernier electrónico es acondicionado al soporte del brazo de la palanca. En la figura 25, se muestra las características del sistema de medición de la deformación vertical.



Figura 25 Vernier para la medición de la deformación vertical.

3.3.3. INSTRUMENTACION DEL EQUIPO

a) DESARROLLO DE COMPONENTE DE INSTRUMENTACIÓN Y SOFTWARE DE MEDICIÓN

- CELDA DE CARGA

Para la medición de la fuerza aplicada sobre una muestra, el equipo diseñado cuenta con una celda de carga que consiste en un transductor piezoeléctrico, este tipo de sensor también es utilizado en las balanzas electrónicas, y el principio de funcionamiento es el siguiente:

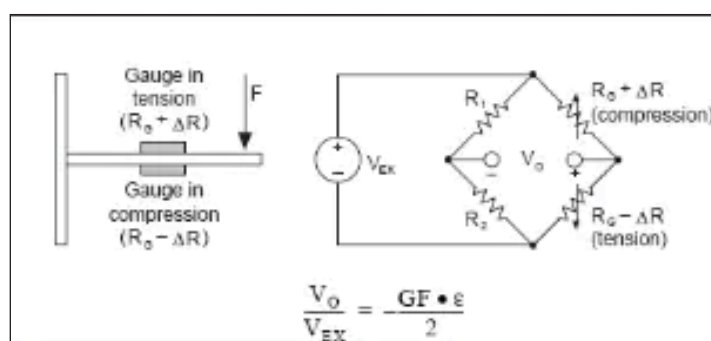


Figura 26 Principio de Funcionamiento

La celda de carga en su interior tiene lo que se denomina como puente de Thomson, que consiste en 4 resistencias, un par de ellas de valor fijo y las otras de valor variable en función al esfuerzo ejercido sobre el dispositivo, para medir el esfuerzo es necesario aplicar un potencial eléctrico en dos terminales denominados de alimentación, de esta forma obtendremos un potencial de proporcional al esfuerzo en los terminales de salida del dispositivo.

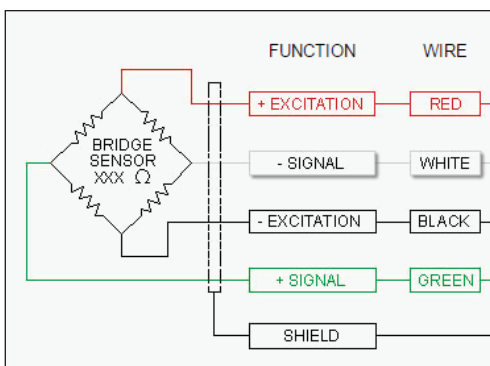


Figura 27 Terminales característicos de una celda de carga.

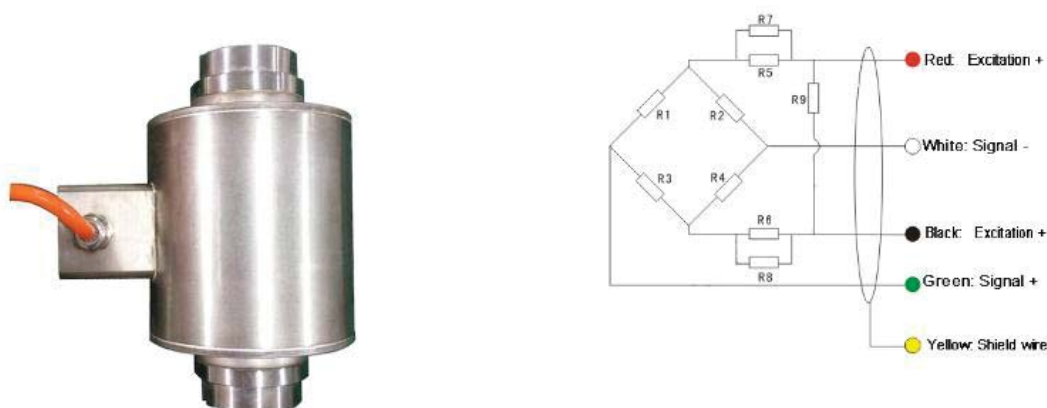


Figura 28 *Aspecto físico de una celda de carga y terminales de salida.*

Dado que el rango de medición que se puede lograr con este sensor es bastante amplio (Rango de Kg hasta 20 toneladas), se decidió utilizar un dispositivo electrónico específico, capaz de medir tensiones positivas y negativas, con una resolución de 24 Bits.

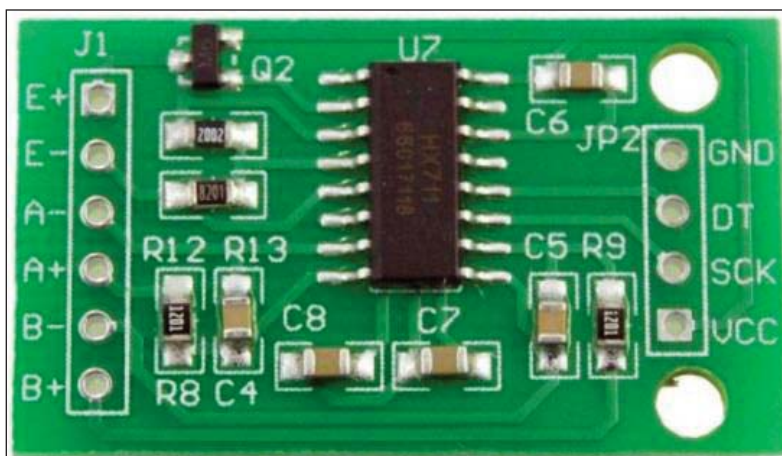


Figura 29 *HX711, Circuito integrado convertidor de señal analógica a digital.*

El circuito utilizado HX711 convierte la señal de salida analógica de la celda de carga a una señal digital, este dato digitalizado que pueden ser leído por un Microcontrolador y este a su vez permite que esa información sea procesada y mostrada.

El Microcontrolador utilizado para la comunicación con el circuito conversor es el ATmega324, para facilitar la implementación de este circuito se utilizó la plataforma Arduino y la tarjeta Arduino Nano que cuenta con un puerto Mini USB que facilita la comunicación con una computadora.

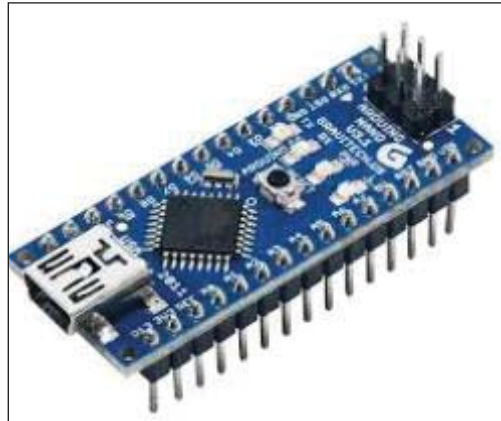


Figura 30 Tarjeta de desarrollo Arduino Nano

La programación se realiza en el software Arduino, que cuenta con una librería para el manejo del convertidor analógico digital HX711, lo que facilita la adquisición de datos. Los datos adquiridos se convierten en texto legible y se envían por un terminal de comunicación a la PC donde esté conectado.

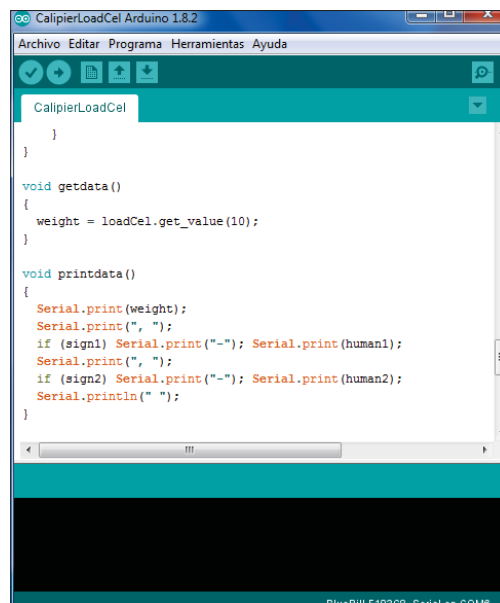


Figura 31 Segmento del Código realizado en Arduino.

- VERNIER

El vernier, calibrador o pata de rey es un instrumento de medición de longitud que permite tener gran precisión, es utilizado mayormente en la industria del maquinado, donde se necesitan medidas con error por debajo de decimas de milímetro, el desarrollo de la

tecnología ha permitido la fabricación de calibradores digitales que facilitan la lectura de las mediciones.



Figura 32 Vernier Digital.

Los fabricantes de vernier digital han dotado a estas herramientas con una salida de datos digital, lo que posibilita que un Microcontrolador pueda adquirir las mediciones, de esta forma los resultados no solo son accesibles desde una pantalla si no también pueden ser procesados por un computador.

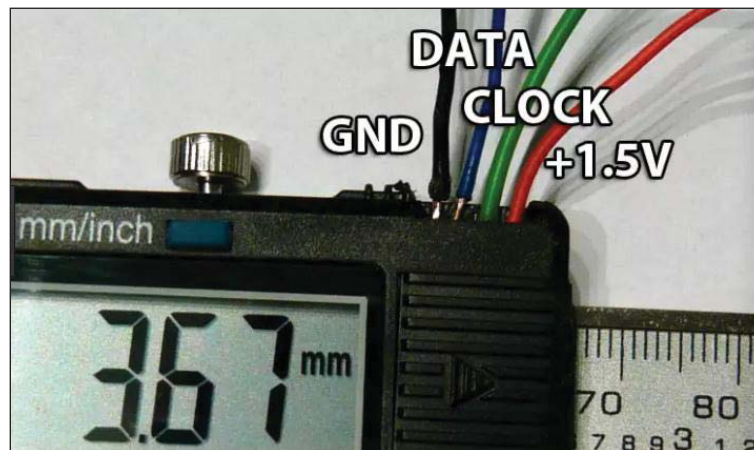


Figura 33 Conexiones realizadas sobre el calibrador para la captura de datos.

Con el uso del mismo Microcontrolador utilizado para la lectura de la celda de carga se puede leer la información del calibrador digital y esta información, puede ser enviada en un mismo paquete de datos a un computador. Teniendo en cuenta la funcionalidad del Microcontrolador, se procedió a diseñar el circuito de instrumentación.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

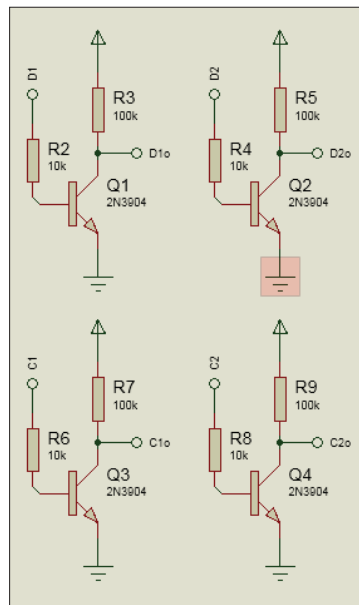


Figura 34 Acondicionamiento de señal de salida del vernier.

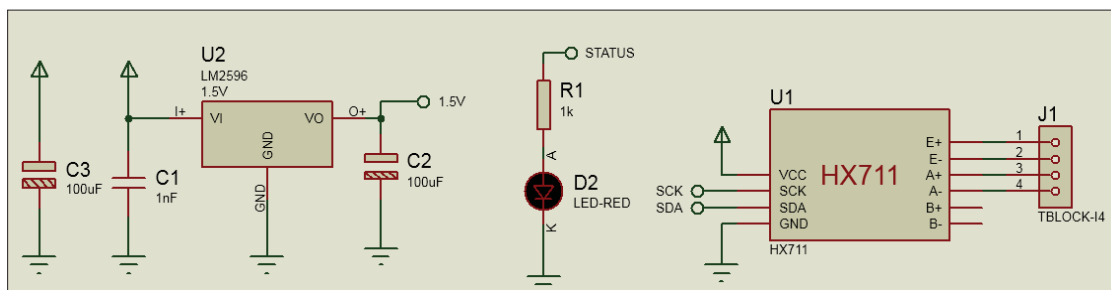


Figura 35 Convertidor de tensión para el funcionamiento del vernier (de 5V a 1.5V). Indicador LED. Conexión de circuito HX711.

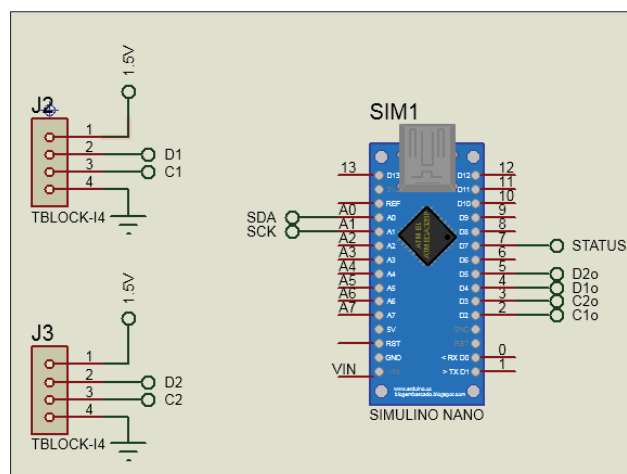


Figura 36 Terminales de conexión con calibrador digital y terminales del Arduino Nano

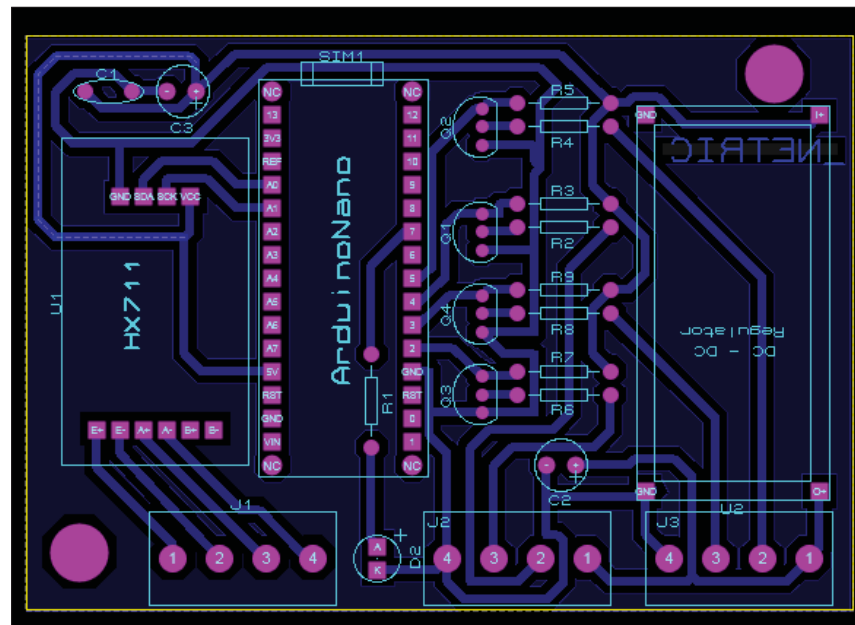


Figura 37 *Diseño de circuito impreso*

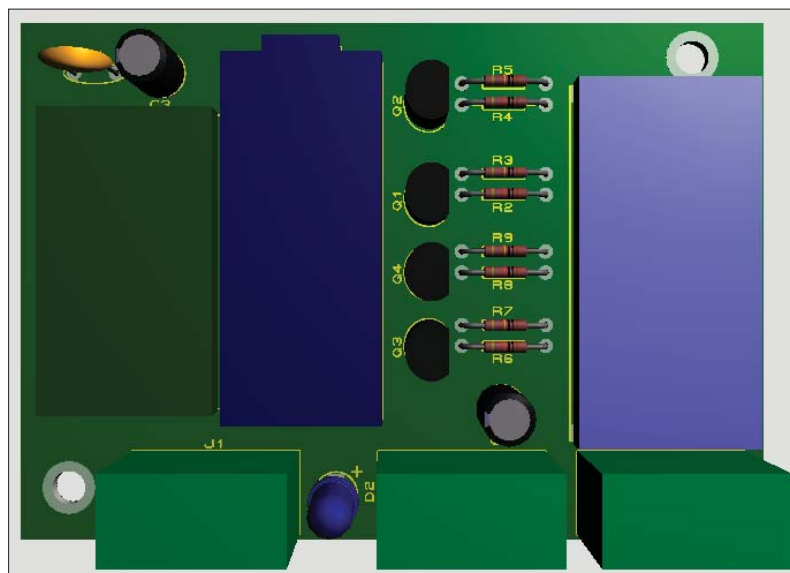


Figura 38 *Simulación de aspecto final del circuito diseñado*

b) CALIBRACION DE LA CELDA DE CARGA

Una calibración es el conjunto de operaciones que bajo condiciones específicas establece una relación entre las señales producidas por un instrumento analítico y la medición física. La muestra física en nuestro caso es la carga aplicada a la muestra y la señal producida en voltios es recogida en la computadora.

Todos los equipos de un laboratorio deben de contar con una gran precisión en diversos procesos y mediciones por consiguiente fue necesario calibrar la celda de carga antes de la instrumentación y realizar los ensayos (figura 39).



Figura 39 *Calibración de a celda de carga.*

- **RESULTADOS DE LA CALIBRACION**

La calibración de la celda de carga marca: HBM, modelo: C16AC3, capacidad: 20ton, se realizó en el laboratorio de mecánica de suelos de la empresa “Corporación Ayar S.A.C”. Teniendo como patrón de calibración a una “prensa de compresión” calibrada. Los resultados de la calibración se muestran en la figura 40, se observa claramente que la celda de carga tiene un buen coeficiente de correlación, en consecuencia, este coeficiente será utilizado en la programación de registro de datos de carga.

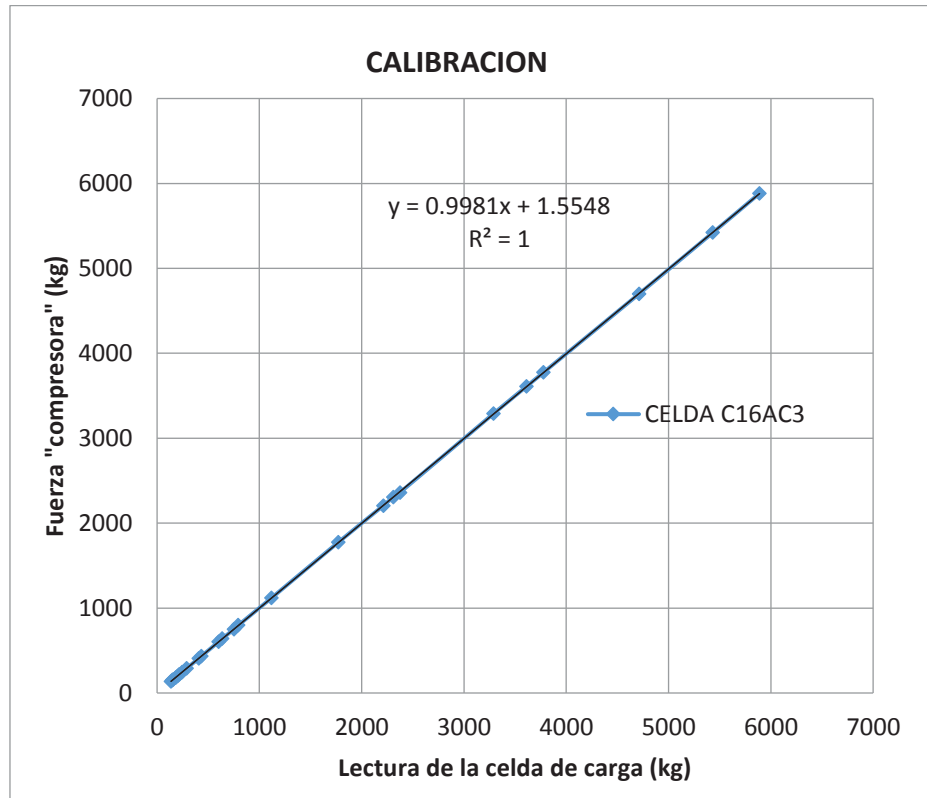


Figura 40 Resultados de la calibracion de la celda de carga

c) PROGRAMACION PARA LA ADQUISICION DE DATOS

- MENU PRINCIPAL “ANÁLISIS DE GRAVAS”

El programa “Análisis de Gravas” permite al equipo funcionar de manera automática: las mediciones de prueba (la fuerza y desplazamientos) se muestra directamente en la pantalla y se almacenan en la memoria a intervalos de tiempo establecido de recolección de datos.

En la programación se especifica los coeficientes de calibración de la celda de carga, intervalo de tiempo para capturar datos, la opción de tare, inicio de ejecución del ensayo, fin del ensayo, inicio de captura de datos, opción de gráfica y las unidades respectivas.

El menú principal del programa muestra la siguiente captura en el monitor.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

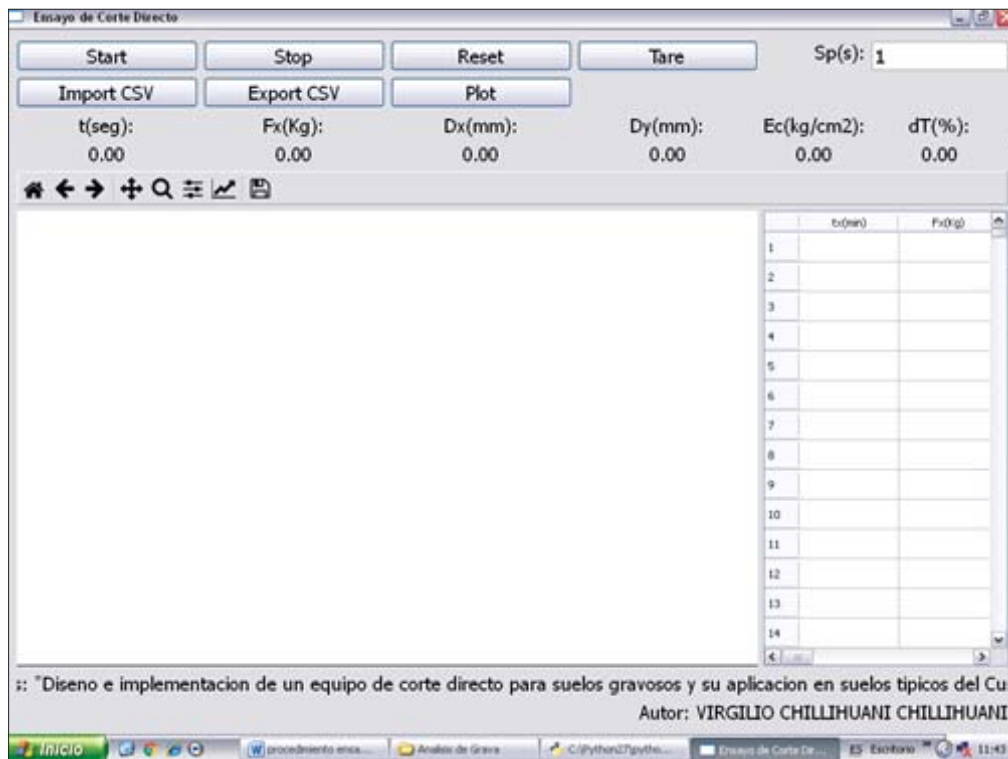


Figura 41 *Menú principal del programa “Análisis de Grava”*

En el menú principal se tiene las siguientes opciones:

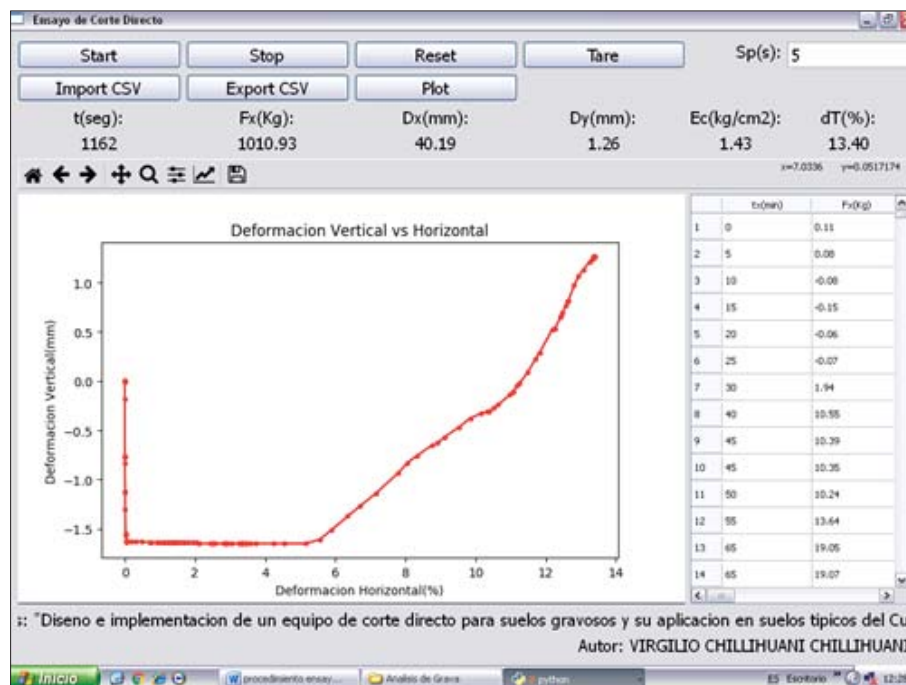
- Start: Para iniciar el registro de datos.
- Stop: Para pausar o finalizar el registro de datos de un ensayo.
- Reset: Para reiniciar el registro de datos o para borrar los datos almacenados y comenzar con otro ensayo.
- Tare: Para poner en 0 (cero) la fuerza horizontal registrada en la celda de carga antes de comenzar el ensayo.
- Sp(s): Para configurar el intervalo de tiempo de almacenamiento de datos de la fuerza tangencial, deformación vertical y deformación horizontal. Estos tres datos se almacenan en el mismo intervalo de tiempo.
- Import CSV: Para importar datos almacenados en cualquier dispositivo.
- Export CSV: Para exportar los datos almacenados una vez finalizado en ensayo de corte, el archivo exportado tendrá la extensión de “csv”.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

- Plot: Para visualizar las gráficas en tiempo real durante el ensayo de corte. Se podrá visualizar las siguientes graficas: deformación tangencial vs esfuerzo de corte, deformación tangencial vs deformación vertical, tiempo vs deformación vertical y tiempo vs deformación horizontal.
- t(seg): Registra el tiempo transcurrido en el ensayo.

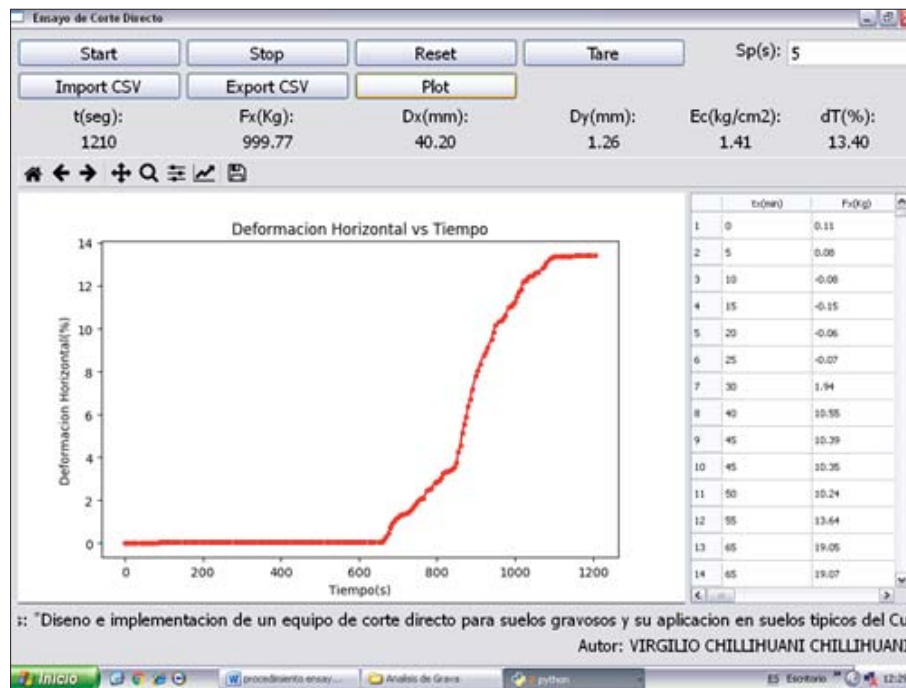
Visualización de registro de datos:

- Fx(Kg): Registra la fuerza tangencial aplicado en el espécimen.
- Dx(mm): Registra la deformación horizontal.
- Dy(mm): Registra la deformación vertical.
- Ec(kg/cm²): Registra el esfuerzo aplicado en el espécimen.
- Dt (%): Registra la deformación horizontal porcentual.



(a)

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO



(b)

Figura 42 Gráficos del ensayo de corte. a) Deformación horizontal vs deformación vertical, b) tiempo vs deformación horizontal.

CAPITULO IV

4. PROTOCOLO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS

4.1. INTRODUCCION

Durante el desarrollo de este capítulo se expondrá el procedimiento básico para realizar un ensayo de corte directo, aunque cada ensayo debe ser adecuado a las condiciones que representen de mejor manera el escenario bajo el cual se desea investigar determinadas propiedades y de acuerdo al tipo de suelo a ensayar.

Al hablar del ensayo propiamente tal, nos referimos únicamente a la etapa del corte, pero en este capítulo señala además algunas recomendaciones para la confección de especímenes previo al ensayo, ajuste de la caja de corte, corte del espécimen, el proceso de la recopilación de los datos del esfuerzo de corte, las deformaciones vertical y horizontal.

El presente protocolo del ensayo de corte directo para suelos gravosos es una adaptación de la norma ASTM-D3080, que señala como realizar un ensayo de corte directo. A grandes rasgos, el ensayo de corte directo es utilizado para obtener el valor de la resistencia al corte del suelo ensayado y es aplicable a todo tipo de suelos, teniendo limitaciones, únicamente en las dimensiones de la caja de corte del equipo que se emplee.

El uso de este equipo permite obtener los parámetros de resistencia cortante de suelos gravosos, empleándose partículas de hasta 1 ½” de diámetro y se podrán realizar ensayos con muestras en distintos estados compacidad relativa o de acuerdo a la densidad del campo.

4.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

4.2.1. AJUSTE DE LA CAJA DE CORTE ANTES DEL ENSAYO

Antes de conformar los especímenes se fija la parte inferior de la caja de corte, con la parte superior de la caja de corte montada, la cual debe ser asegurada con tornillos de alineación para evitar el movimiento de las cajas durante la conformación del espécimen. Para evitar la fricción entre las cajas de corte durante el ensayo se coloca un anillo espaciador de 2.5mm, lo cual es colocado antes de instalar la caja de corte superior sobre la inferior (figura 43c)



(a)



(b)



(c)

Figura 43 a) Instalación de la caja de corte superior sobre la caja inferior, b) fijación de las cajas de corte mediante pernos, c) colocación de espaciadores entre las cajas de corte.

4.2.2. COLOCACION DEL ANILLO DE POLIETILENO (PLASTICO)

Se coloca un anillo de polietileno en la caja de corte superior (figura 44) con la finalidad de reducir la fricción entre el acero y la grava durante el ensayo de corte al producirse el fenómeno de la dilatancia, ya sea una dilatancia positiva o negativa según sea el caso. El anillo se coloca a 1.25 cm del borde superior de la caja de corte. Se recomienda usar lubricante entre el anillo de polietileno y la caja de corte para reducir aún más la fricción.



Figura 44 a) Anillo de polietileno (plástico) de 11 cm de altura, b) Colocación del anillo de polietileno en la caja de corte superior.

4.2.3. CONFECCION DEL ESPECIMEN

Para la confección del espécimen tener suficiente material para hacer por lo menos tres ensayos a la misma densidad, colocar cuidadosamente la muestra en la caja de corte hasta cerca de 1.25 cm del borde de la superficie del anillo en donde 1cm será para la colocación de arena fina para la distribución uniforme de esfuerzos en el espécimen y los 0.25 cm será para la colocación del disco distribuidor de carga normal.

La muestra utilizada en el equipo de corte directo para gravas son remoldeadas según los requerimientos de densidad. El material granular es compactado dentro de la caja de corte en capas hasta llegar a la densidad en “situ” del material a evaluar o densidad requerida para la investigación. La conformación de la probeta será mediante golpes, vibración o varillado de acuerdo al tipo de material a evaluar.



(a)



(b)



(c)

Figura 45 *Conformado de muestra. a) Mediante varillado, b) mediante el impacto, c) mediante vibrado con el martillo de goma.*

4.2.4. PREPARACION DE LA CARA SUPERIOR DE LA MUESTRA PARA LA TRANSMISION DE LA CARGA AXIAL

Conformado el material gravoso en la caja de corte, se nivela la cara superior de la muestra con una capa de arena fina de 1cm de espesor de tal forma que al colocar el disco transmisor de carga pueda transmitir a la muestra una distribución de presión uniforme durante el

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ensayo, y adicionalmente, queda perfectamente nivelado para colocar el disco transmisor de carga y posteriormente el brazo de palanca que transmitirá la carga vertical.

Para evitar la contaminación del suelo gravoso con la arena fina, se coloca un manto de polietileno sobre la muestra conformada antes de colocar la capa de arena fina como se muestra en la figura 46.



(a)



(b)



(c)

Figura 46 Preparación de la cara superior del espécimen. a) cara superior del espécimen en donde se observa la no uniformidad, b) colocación del manto de polietileno, c) nivelación de la cara superior de la muestra con una capa de arena fina de 1cm de espesor.

4.2.5. MONTAJE DEL EQUIPO

Luego de la confección de la probeta en la caja de corte, se procede al montaje del equipo como se describe a continuación:

- Se levanta la caja de corte con la muestra confeccionada a la mesa de corte, colocar sobre la plataforma móvil que está implementada con el sistema de rodamientos y fijar mediante pernos en los cuatro bordes. La plataforma móvil permite el movimiento relativo de la caja de corte inferior sobre el superior durante el ensayo de corte directo.



(a)



(b)

Figura 47 Colocación del espécimen conformado en la plataforma móvil de corte. a) Levantado de la caja de corte con la muestra conformada, b) fijado de la caja de corte a la plataforma móvil.

- se coloca el disco transmisor de carga vertical sobre la capa de arena colocada en la caja de corte. La bola de acero se colocado en la parte superior del perno de nivelación del brazo de palanca. Como se muestra en la figura 48.



Figura 48 Colocación del disco distribuidor de carga y la bola de acero.

- Fijar la caja de corte superior al sistema de soporte mediante pernos con la finalidad de mantener inmóvil (fijo) la caja de corte superior durante el ensayo de corte (figura 49).



Figura 49 Fijación de la caja de corte superior.

- Se coloca el brazo de palanca al soporte de la caja de corte mediante un perno (figura 4.8 a), seguidamente se nivela el brazo de la palanca con el perno regulador ubicado en el disco transmisor (figura 50b), cabe indicar que la ménsula para colocar las pesas ya está

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

previamente instalado al brazo de palanca mediante un perno y permanecerá colocado definitivamente.



(a)



(b)

Figura 50 Colocación del brazo de palanca. a) Empernado del brazo de la palanca, b) Nivelación del brazo de palanca.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

- Instalar el gato hidráulico, celda de carga con su respectivo botones porta celdas para la aplicación y medición de la fuerza tangencial como se muestra en la figura 51.



(a)



(b)



(c)

Figura 51 a) Fijación de botón de celda a la caja de corte inferior, b) Fijación de botón de celda al gato hidráulico, c) Colocado de la celda de carga.

- Instalar los vernieres digitales para el registro de la deformación vertical y horizontal (figura 52). Los vernieres son acoplados a pequeños soportes, es necesario mencionar que el vernier para la medición de la deformación horizontal quedara fijo en la mesa de corte ya que no es necesario mover en cada ensayo, mientras el vernier para la medición de la deformación vertical se instala antes del inicio y se retira una vez finalizado el ensayo de corte. En el vernier de medición vertical durante el ensayo se debe colocar el resorte que permita medir adecuadamente el asentamiento y la dilatancia.



Figura 52 a) Colocación del vernier para medir la deformación vertical, b) Colocación del vernier para la medición de la deformación horizontal.

- La celda de carga y los dos vernieres ya se encuentran conectados a un dispositivo recolector de datos y no es necesario realizar cambios. Los datos se transmiten a la computadora mediante un cable USB, en caso de encontrarse desconectado el cable USB conectar al puerto de ensayo denominado “E.C.D GRAVAS” como se muestra en la figura 53.



Figura 53 Puerto de conexión para la recolección de datos en el ensayo de corte.

4.3.EJECUCION DE CORTE DE LA PROBETA

Teniendo la muestra conformada y el equipo debidamente montado e instrumentado se procede a ejecutar el corte de la probeta como se describe a continuación:

4.3.1. PROGRAMACION DE PANEL DE ENSAYO

El programa “Análisis de Gravas” permite al equipo funcionar de manera automática: las mediciones de prueba (la fuerza y desplazamientos) se muestra directamente en la pantalla y se almacenan en la memoria a intervalos de tiempo establecido de recolección de datos. Para la acceder al menú principal del programa “Análisis de Grava” realizar el siguiente procedimiento:

- a) Doble click en la carpeta “Análisis de Grava” ubicado en el escritorio (figura 54a).

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

b) Seguidamente Doble click en el archivo “CalipierLoadCelV2” (figura 54b).

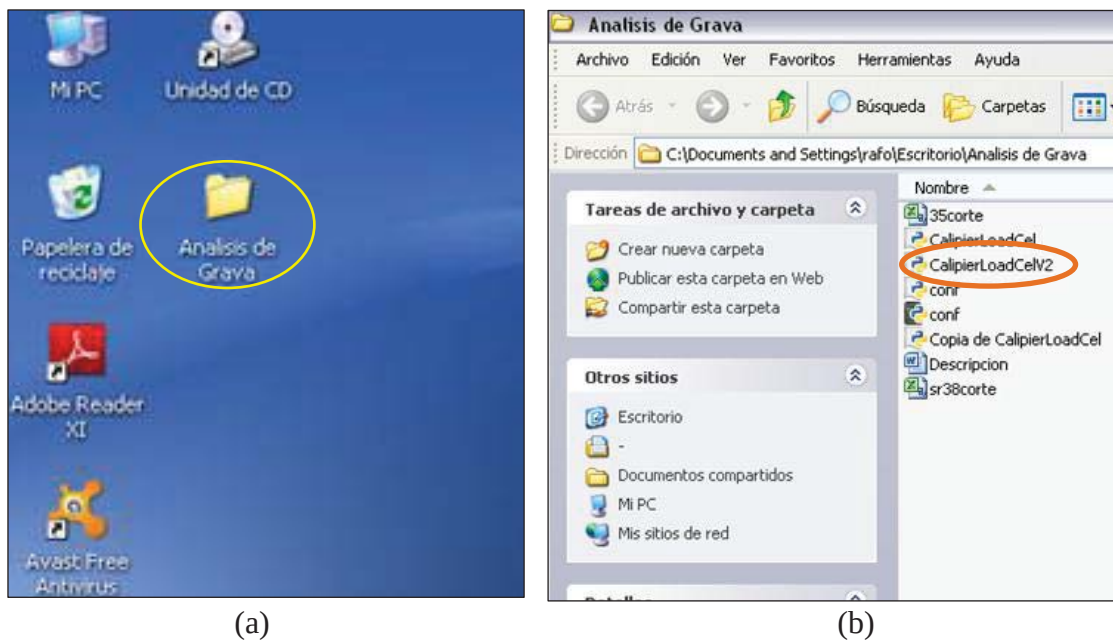


Figura 54 a) Programa Análisis de Grava, b) Archivo CalipierLoadCelV2.

c) Una vez seleccionado el Archivo CalipierLoadCelV2, se muestra el menú principal como se muestra en la figura 55.

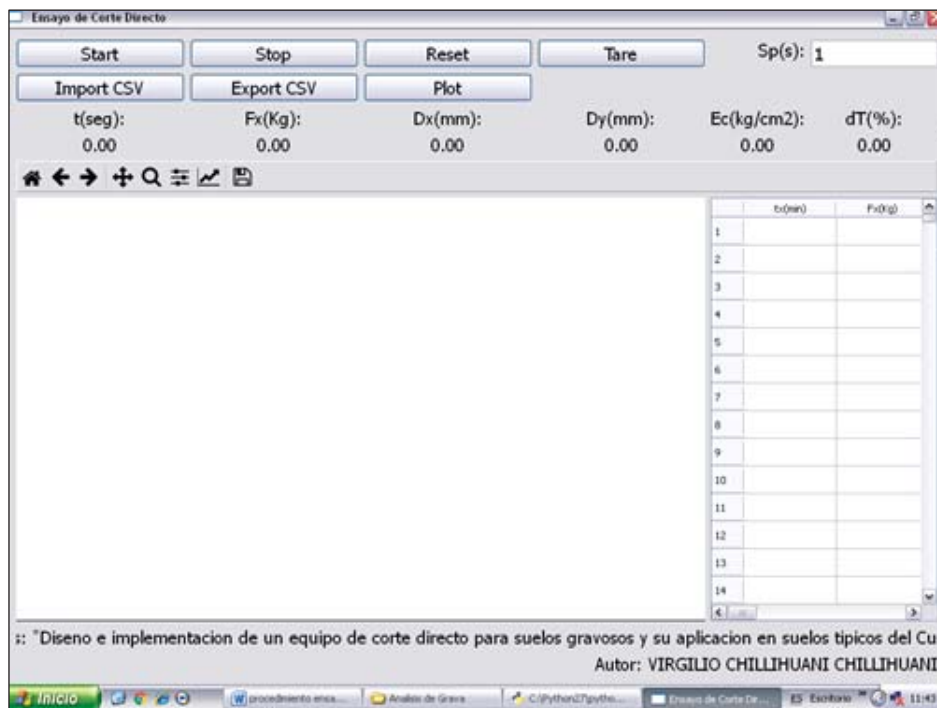


Figura 55 Menú principal del programa “Análisis de Grava”

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

En el menú principal se tiene las siguientes opciones:

- Start: Para iniciar el registro de datos.
- Stop: Para pausar o finalizar el registro de datos de un ensayo.
- Reset: Para reiniciar el registro de datos o para borrar los datos almacenados y comenzar con otro ensayo.
- Tare: Para poner en 0 (cero) la fuerza horizontal registrada en la celda de carga antes de comenzar el ensayo.
- Sp(s): Para configurar el intervalo de tiempo de almacenamiento de datos de la fuerza tangencial, deformación vertical y deformación horizontal. Estos tres datos se almacenan en el mismo intervalo de tiempo.
- Import CSV: Para importar datos almacenados en cualquier dispositivo.
- Export CSV: Para exportar los datos almacenados una vez finalizado en ensayo de corte, el archivo exportado tendrá la extensión de “csv”.
- Plot: Para visualizar las gráficas en tiempo real durante el ensayo de corte. Se podrá visualizar las siguientes graficas: deformación tangencial vs esfuerzo de corte, deformación tangencial vs deformación vertical, tiempo vs deformación vertical y tiempo vs deformación horizontal.

Visualización de registro de datos:

- t(seg): Registra el tiempo transcurrido en el ensayo.
- Fx(Kg): Registra la fuerza tangencial aplicado en el espécimen.
- Dx(mm): Registra la deformación horizontal.
- Dy(mm): Registra la deformación vertical.
- Ec(kg/cm²): Registra el esfuerzo aplicado en el espécimen.
- Dt (%): Registra la deformación horizontal porcentual.

4.3.2. APLICACIÓN DEL ESFUERZO NORMAL

La aplicación del esfuerzo normal o carga axial a la muestra, se lleva a cabo mediante el brazo de palanca que es cargada con pesas colocadas en una ménsula al extremo de la misma, se aplica sobre la muestra mediante el disco transmisor de carga rígida para lograr una distribución uniforme de esfuerzos.

La carga axial se aplica por incrementos de pesas en la ménsula hasta alcanzar el esfuerzo vertical requerido, a continuación, se procede a registrar el asentamiento esperando un tiempo prudente para que ocurra el asentamiento total. La lectura del asentamiento se registra en el programa para análisis de grava a intervalos de tiempo programado convenientemente.

Los esfuerzos normales aplicados a cada uno de los tres especímenes que conforman un juego de ensayo son: 0.5, 1.00 y 2.00 kg/cm², respectivamente.

Se debe considerar el esfuerzo producido por los elementos mostrados en tabla 3, por consiguiente, antes colocar pesas en la ménsula se tiene un esfuerzo normal inicial de 0.12 kg/cm². La constante de conversión de las pesas colocadas en la ménsula para determinar la fuerza normal aplicada es de $k = 9.00$.

Tabla 3 *Esfuerzo normal inicial y la constante de conversión de fuerza.*

Elemento	Esfuerzo (kg/cm ²)
Disco distribuidor de cargas (tapa de la caja de corte)	0.007
Ménsula	0.021
Brazo de palanca	0.087
Esfuerzo Normal Inicial antes de colocar las pesas	0.12
Constante de conversión de Fuerza	$K = 9.00$
Área de corte del espécimen	706.86 cm ²



Figura 56 *Colocado de pesas para la fuerza normal.*

4.3.3. APLICACIÓN DEL ESFUERZO TANGENCIAL

Antes de iniciar el corte del espécimen, se deben desajustar y retirar los tres pernos de alineación para permitir el movimiento relativo de la caja de corte inferior sobre el superior, también se debe posicionar el vernier de medición de la deformación horizontal, y configurar para que marque cero. Estas operaciones se deben realizar en el panel de control del equipo de corte directo antes de tarar la celda de carga.

Una vez que la deformación vertical alcance su equilibrio, cerrar firmemente la válvula de liberación del inyector de presión haciéndola girar en el sentido de las manecillas del reloj, luego aplique presión a la bomba accionando la palanca hacia arriba y hacia abajo. La carga horizontal se aplica a velocidad constante requerido de acuerdo al tipo de suelo a ensayar registrándose las deformaciones producidas.

La fuerza tangencial es ejercida mediante un gato hidráulico que se coloca en posición horizontal apoyándose sobre el soporte posterior, la fuerza es aplicada hasta producir la falla en el espécimen de ensayo.

El control de la velocidad para la aplicación de la fuerza tangencial se realiza manualmente, manipulando el inyector de presión que alimenta al gato hidráulico instalado Horizontalmente (figura 57a). La variación de la carga axial durante el ensayo se cuantifica

con la celda de carga, que está conectado al programa de recolección de datos “Análisis de Grava”

Este tipo de ensayo se denomina “prueba controlada por deformación unitaria” ya que se aplica una razón de desplazamiento en el tiempo y se registra la fuerza horizontal aplicada a la muestra.

Al comenzar el ensayo, el equipo desplazara la mitad inferior en sentido horizontal con respecto a la mitad superior de la caja de corte hasta que la probeta falle. Automáticamente se registrarán los datos de carga horizontal aplicada, y los desplazamientos horizontal y vertical ocurridos en intervalos de tiempo configuradas.

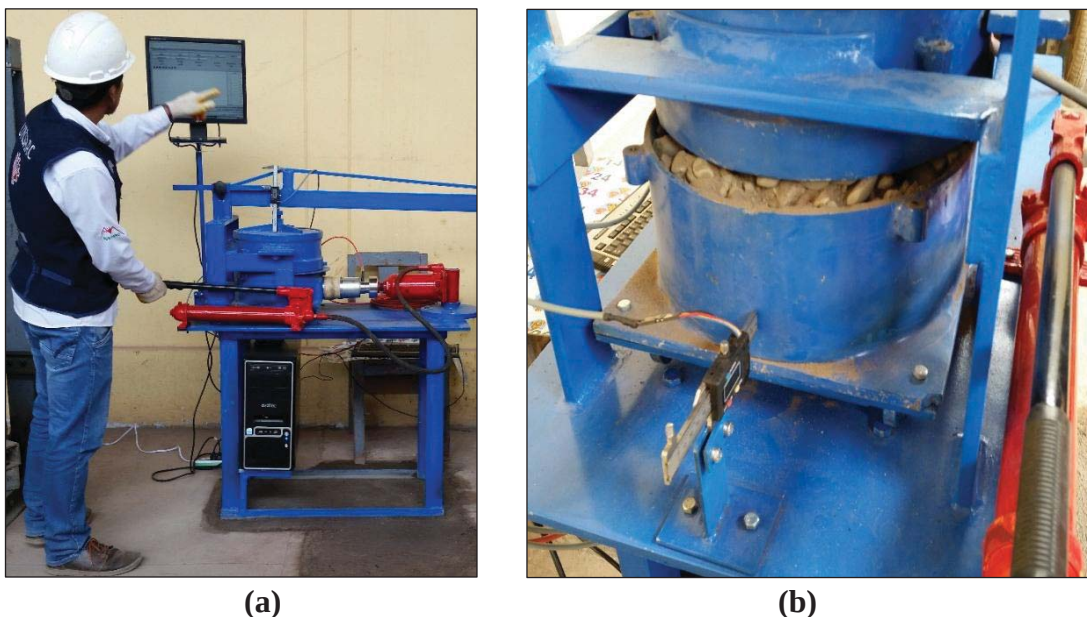


Figura 57 a) Aplicación de la Fuerza tangencial mediante el inyector de presión, b) Falla del espécimen.

4.3.4. RECOLECCION DE DATOS

a) REGISTRO DE DATOS DE ASENTAMIENTO (DEFORMACIÓN VERTICAL).

- En la pestaña “Sp(s)” ingresar el intervalo de tiempo en segundos que se almacenara los datos durante el asentamiento y el ensayo de corte.
- Colocar en cero la medida de deformación vertical y horizontal directamente en el Vernier con la opción “ZERO”.

- Una vez realizado los pasos anteriores y para iniciar la medición del asentamiento seleccionar la opción de “Stars” y proceder a colocar las pesas en la ménsula ubicado en el extremo del brazo de palanca, las pesas se colocarán de acuerdo al esfuerzo normal requerido. Registrar el asentamiento esperándose un tiempo prudencial para que ocurra el asentamiento total.
- Alcanzado el asentamiento total, seleccionar la opción “Stop” para finalizar el registro de datos.
- Finalizado el registro de datos seleccionar la opción de “Export CSV” para guardar y/o exportar los datos registrados a cualquier dispositivo o carpeta.

b) REGISTRO DE DATOS DEL ENSAYO DE CORTE:

- Terminado el registro de los datos del asentamiento y haber guardado, seleccionar la opción de “Reset” para borrar todos los datos registrados hasta este momento.
- Colocar en cero el registro de datos del vernier horizontal directamente presionando la opción “ZERO” en el vernier horizontal, sin embargo, mantener el registro de datos de la deformación vertical en el vernier de medición de la deformación vertical.
- Seguidamente seleccionar la opción de “Tare” para colocar en cero el registro de fuerza tangencial en la ceda de carga.
- Una vez realizada los pasos anteriores seleccionar la opción de “Start” para iniciar el registro de datos del ensayo de corte. La fuerza tangencial se aplica como indica en “aplicación de fuerza tangencial”.
- El registro de datos se almacena y se muestra como se observa en la figura 58.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

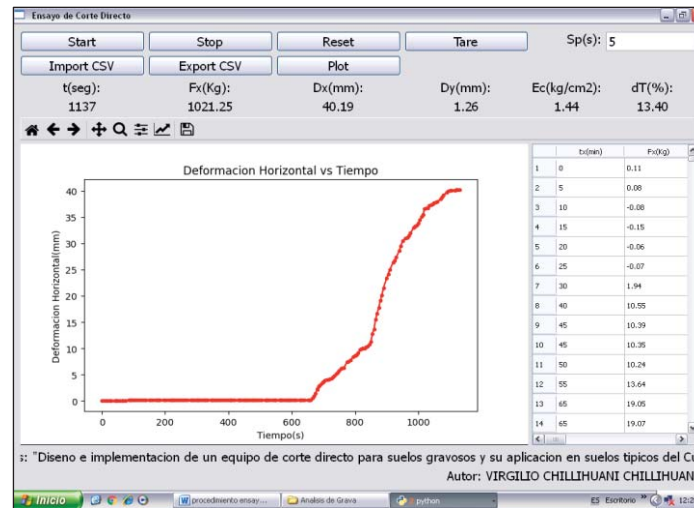


Figura 58 Registro de datos del ensayo de corte.

- Seleccionar la opción de “Plot” para observar las gráficas durante el ensayo (figura 59), se podrá ver las siguientes graficas: deformación tangencial vs esfuerzo de corte, deformación tangencial vs deformación vertical, tiempo vs deformación vertical y tiempo vs deformación horizontal. Para ver cada una de estas graficas hacer click en la opción “Plot”

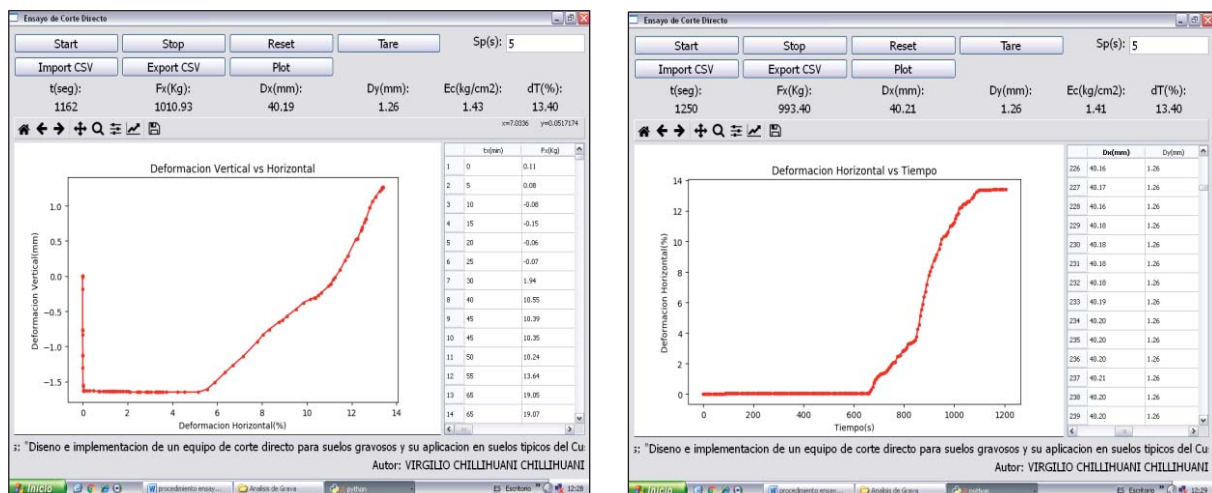


Figura 59 Graficas del ensayo de corte.

- Una vez llegada a la falla en el espécimen de ensayo se finaliza en ensayo con la opción de “Stop”. La falla se produce en un desplazamiento horizontal no mayor a 13 % dependiendo del tipo de muestra a ensayar.
- Posteriormente se guarda los datos del ensayo con la opción de “Export”, el almacenamiento se realiza en el mismo programa o cualquier otro dispositivo o carpeta deseada.
- El registro de datos se exportará a Excel y se procede al cálculo de los parámetros de resistencia cortante.

4.4. DESMONTAJE DE LA CAJA DE CORTE

Al finalizar cada ensayo el desmontaje se procede en el siguiente orden:

- Retirar con mucho cuidado el vernier colocado para la medición de la deformación vertical.
- Retirar las pesas colocadas en la ménsula al extremo del brazo de palanca.
- Desajustar el perno y retirar el brazo de palanca.
- Liberar la presión del gato hidráulico girando la válvula de liberación del inyector de presión en el sentido contrario a las manecillas del reloj.
- Desmontar la celda de carga.
- Retirar los pernos que sujetan la caja de corte superior al soporte de la mesa de corte.
- Retirar el disco distribuidor de carga vertical y polietileno con la arena fina.
- Desempear la caja de corte inferior de la plataforma móvil.
- Bajar las cajas de corte agarrando de su base para evitar echar la muestra.
- Finalmente retirar la muestra de las cajas de corte y seguir el mismo procedimiento de ensayo para realizar el ensayo de corte de otro espécimen.

4.5. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE

Los registros obtenidos en el programa de “análisis de grava” se procesan en una hoja de cálculo y se presentan los resultados mediante tablas y gráficos para su análisis posterior.

La determinación de los parámetros de resistencia cortante C y Φ para el suelo en estudio se determina ejecutando como mínimo tres pruebas con el mismo material a diferentes valores de carga normal, pueden trazarse puntos en la gráfica " τ " y " σ_n " con los valores de los esfuerzos normales " σ_n " y los valores máximos del esfuerzo cortante " τ ", obtenidos de cada una de las pruebas. Uniendo los puntos así obtenidos se tendrá la envolvente de falla del material. Del grafico obtenido, se determina los parámetros de resistencia cortante.

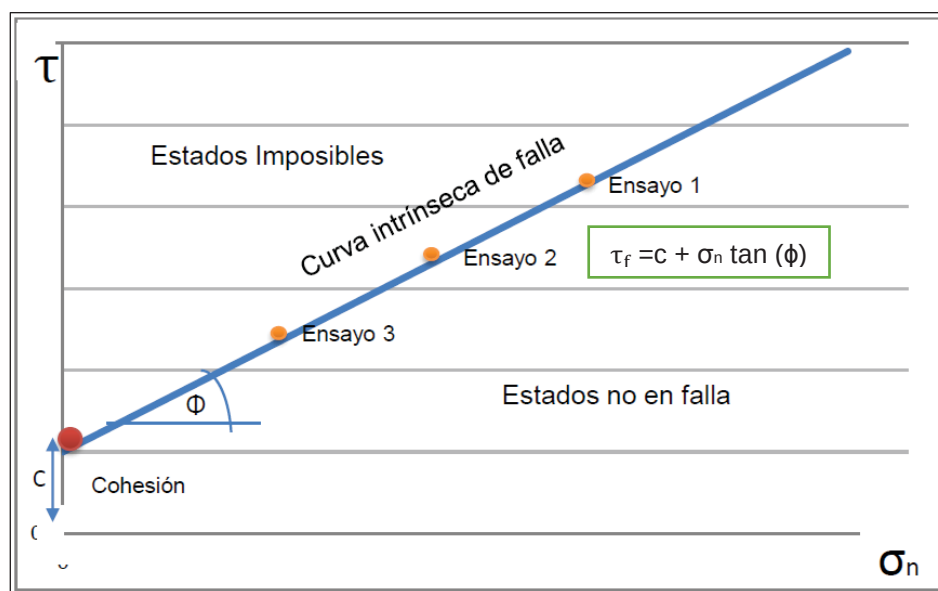


Figura 60 *Determinación de los parámetros de resistencia cortante*

CAPITULO V

5. DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE PARA DIFERENTES ESTADOS DE COMPACIDAD RELATIVA EN LOS SUELOS GRAVOSOS TIPICOS DEL CUSCO

5.1. INTRODUCCION

En este capítulo, se presenta los resultados obtenidos con el equipo de corte directo para suelos gravosos, con partículas granulares de hasta 1 ½” de diámetro, extraídos de las diferentes canteras con diferentes formas de partículas (angular, sub angular, sub redondeado y redondeado) y conformados en distintos estados de compacidad relativa (suelto, medio y denso).

También se da a conocer las características físicas y mecánicas de cada una de las muestras utilizadas en el presente trabajo de investigación. Finalmente se presenta el cuadro de la variación de los parámetros de resistencia cortante para diferentes estados de compacidad relativa en cada muestra de cada cantera.

5.2. CANTERA DE TIPON-OROPESA-CUSCO

5.2.1. DESCRIPCION

El material a ensayar es una grava cuya forma de sus partículas es angular lo cual fue extraída del material usado como relleno en el sector de Tipon del distrito de Oropesa-Cusco.

Debido a que el material presentaba partículas con diámetro mayor a $1\frac{1}{2}$ " y en el equipo de corte directo diseñado para suelos gravosos se puede evaluar suelos con partículas cuyo tamaño máximo de sus partículas es de $1\frac{1}{2}$ ". Por tanto, se cortó el material en la malla de $1\frac{1}{2}$ ".

La finalidad de este ensayo es de determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para diferentes estados de compacidad relativa (suelta, medio y denso). Es por esto que se determinó la densidad mínima y máxima del material y se obtuvo la densidad relativa de cada una de las muestras a ensayar.



Figura 61 *Imágenes de la cantera de Tipon.*

5.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECANICAS

Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se realizaron en el laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil-UNSAAC.

Básicamente se efectuáronse los ensayos para la determinación de las propiedades índice y su respectiva clasificación SUCS del material extraído de la cantera antes mencionado cuya forma de sus partículas es Angular.

De acuerdo a los ensayos en el laboratorio el suelo gravoso utilizado en la investigación se clasifica como grava pobremente graduado (GP) Según el sistema de Clasificación Unificado de Clasificación (SUCS) estipulado en la norma ASTM D2487 con un tamaño máximo de 1 ½", cuyas propiedades índices se muestra en la tabla 4.

Tabla 4 Características físicas del suelo gravoso de Tipon.

PROPIEDADES INDICE	
Contenido de Humedad W (%)	0.42
Finos (%)	4.5
Arena (%)	14.6
Grava (%)	80.9
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	40.74
Coeficiente de Curvatura (Cc)	8.75
Diámetro máximo de la partícula (mm)	38.1
Limite Liquido LL (%)	NP
Limite Pastico LP (%)	NP
Índice de Plasticidad IP	NP
Clasificación (SUCS)	GP
Forma de las partículas	Angular

FUENTE: Elaboración propia.

El análisis granulométrico se realizó según la norma ASTM D 422, el diámetro máximo de las partículas es de 1 ½" (38.1mm), el cual satisface el requerimiento general de la Norma ASTM D 3080, donde estipula que la mínima proporción de la dimensión de la caja de corte debe ser 06 veces el diámetro máximo de la partícula para evitar que la dimensión de la caja de corte influya en los resultados del ensayo. La curva de distribución granulométrica se muestra en la figura 62, en donde también se muestra los valores de coeficiente de uniformidad (CU) y coeficiente de curvatura (CC).

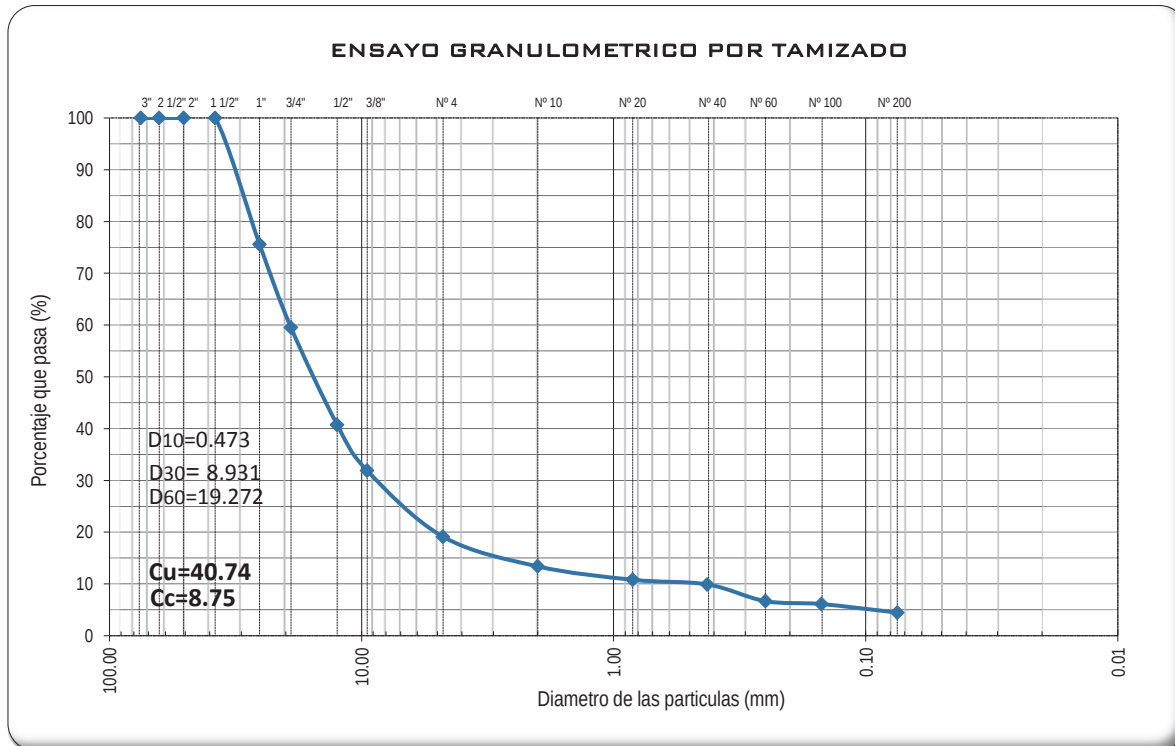


Figura 62 Curva granulométrica del material extraído de la cantera de Tipon.

5.2.3. CONFORMACION DE LA MUESTRA

Las muestras utilizadas para la determinación de la variación de los parámetros de resistencia cortante en suelos gravosos como parte de la aplicación del diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos son remodeladas según los requerimientos de la densidad relativa (muy suelto, medio y muy denso) teniendo en cuenta la siguiente clasificación del estado del suelo de acuerdo a las densidades relativas (tabla 5). Previamente se realiza el ajuste de la caja de corte como se indica en el capítulo IV.

Tabla 5 *Clasificación del estado de suelo de acuerdo a la compacidad relativa.*

Estado del suelo	Densidad relativa (%)
Muy suelto	0 - 15
Suelto	15 - 35
Medio	35 - 65
Denso	65 - 85
Muy denso	85 - 100

FUENTE: Dujisin D.,1974

El material granular clasificado como GP se compacto aun peso unitario de 1.60 ton/m³, 1.71 ton/m³ y 1.91 ton/m³ correspondientes a estados de densidad relativa muy suelto, medio y muy denso respectivamente para las muestras ensayadas.

La muestra tiene la forma de partícula angulosa, contenido de humedad 0.42%, diámetro máximo de partícula es de 38mm, el porcentaje gravas, arena y finos presentes en la muestra son: 80.9%, 14.6% y 4.5% respectivamente.

5.2.4. EJECUCION DEL ENSAYO DE CORTE

Antes de iniciar el ensayo de corte se realiza la conformación de la muestra y la programación del registro de datos del ensayo, posteriormente se aplica el esfuerzo normal y el esfuerzo tangencial como se indica en el capítulo IV.

El ensayo se realiza a una velocidad de 2mm/min y se denomina “prueba controlada por deformación unitaria” ya que se aplica una razón de desplazamiento en el tiempo y se registra la fuerza horizontal aplicada a la muestra. En el Anexo se presenta el cuadro de detalles de cada ensayo de corte.

5.2.5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE

Se muestra los resultados de los ensayos de corte realizados para determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso como parte de aplicación del diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

a) TABULACION DE LOS RESULTADOS

Los registros obtenidos por el programa de “Análisis de Gravas” se procesan en una hoja de Excel y se presentan los resultados mediante tablas y gráficas para su análisis posterior.

b) DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE

La determinación de los parámetros de resistencia cortante C y ϕ para el suelo gravoso en estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso utilizado en la investigación están basados en la teoría de Mohr-Coulomb explicado en el capítulo II.

En la tabla 6, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la muestra de suelo gravoso, cuyas características fueron descritas anteriormente los cuales fueron ensayados en diferentes estados de compacidad relativa.

Tabla 6 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos del suelo gravoso de Tipon.

Muestra	Forma de Partículas	SUCS	Humedad (%)	Finos (%)	Densidad Relativa	Densidad seca (gr/cm ³)	σ_n (kg/cm ²)	τ_{max} (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ (°)
M-1	Anguloso	GP	0.42	4.50	Muy Suelto	1.60	0.5	0.71	0.35	36.3
							1.00	1.11		
							2.00	1.82		
					Medio	1.71	0.50	0.80	0.41	41.9
							1.00	1.41		
							2.00	2.18		
					Muy Denso	1.91	0.50	1.24	0.66	48.6
							1.00	1.80		
							2.00	2.95		

FUENTE: Elaboración propia

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

c) ENVOLVENTE DE FALLA

Se presenta el envoltente de falla de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.

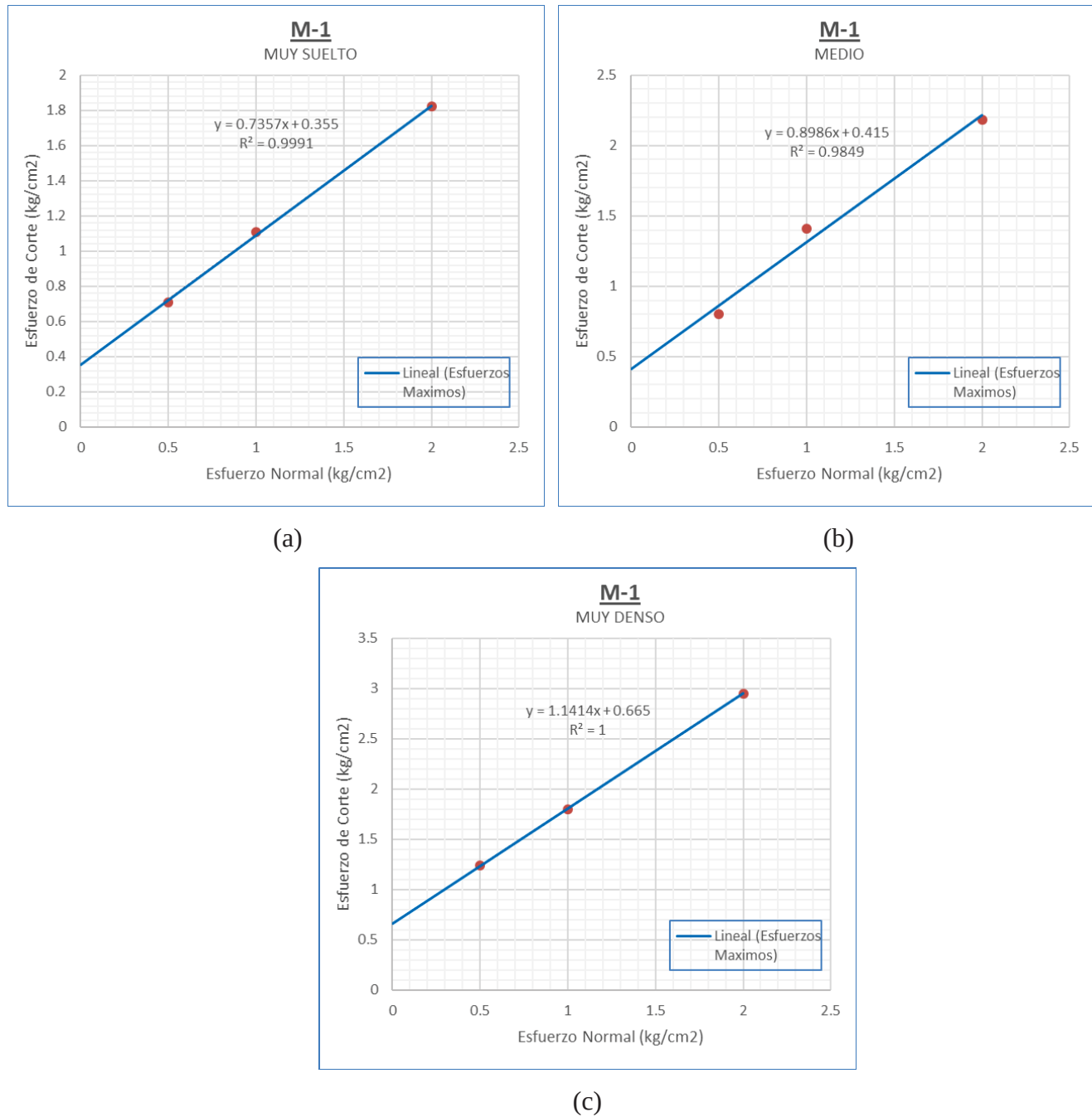


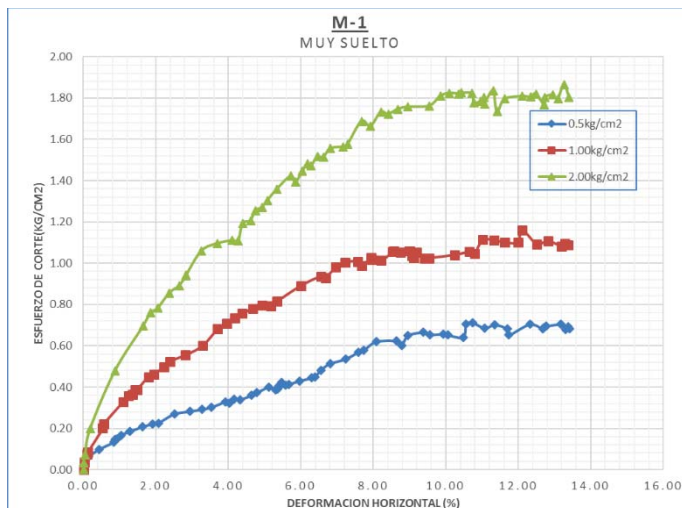
Figura 63 Envoltente de falla de resistencia máxima de la muestra de Tipon ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

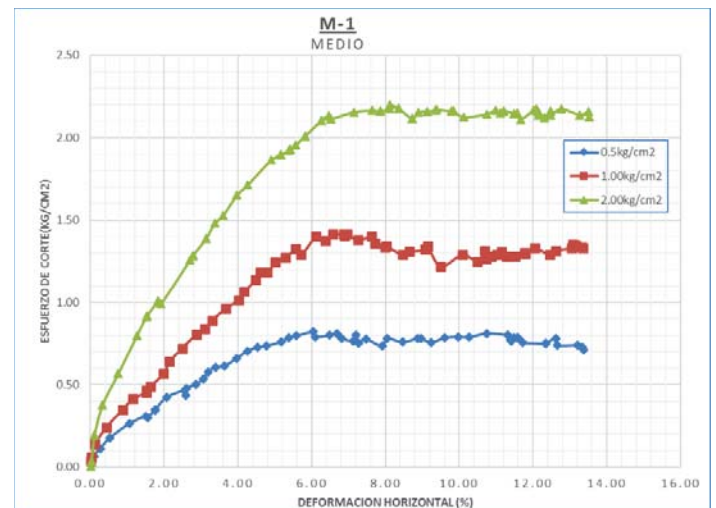
d) GRAFICOS

- COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO DE CORTE VERSUS DEFORMACION HORIZONTAL

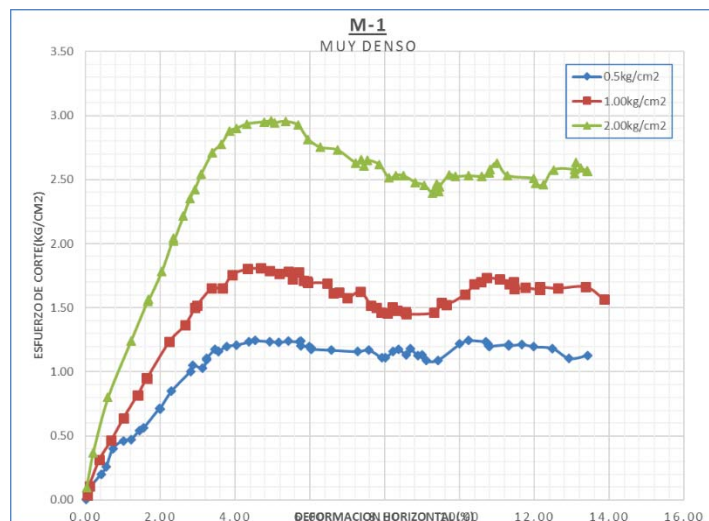
Se presenta la gráfica del comportamiento del esfuerzo de corte versus deformación horizontal de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.



(a)



(b)



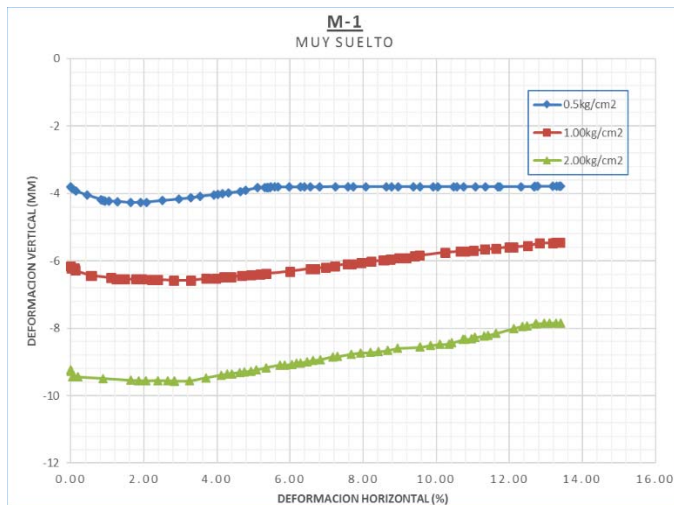
(c)

Figura 64 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Tipón ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

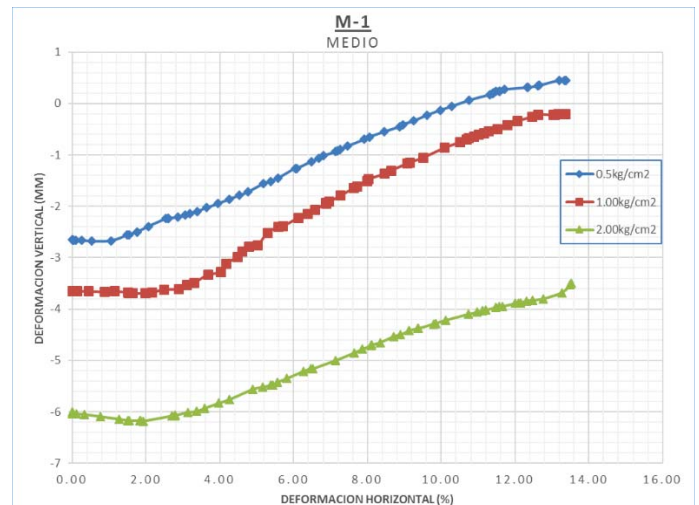
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

- COMPORTAMIENTO DEL ASENTAMIENTO VERSUS DEFORMACION HORIZONTAL

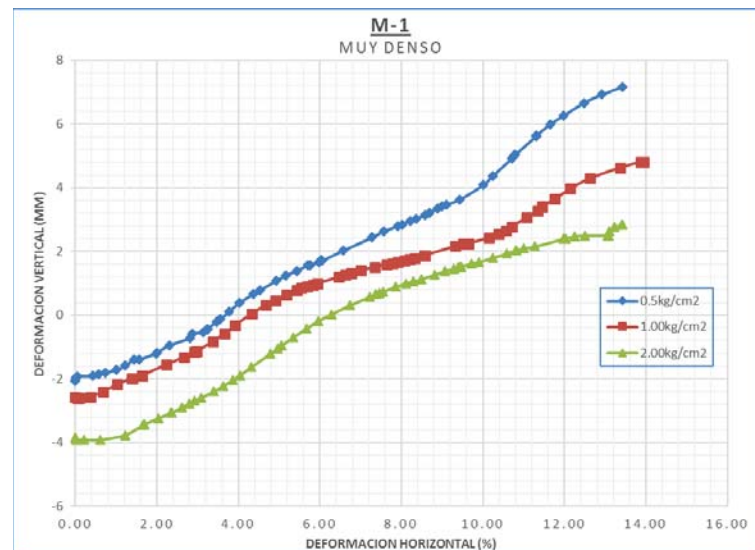
Se presenta la gráfica del comportamiento del asentamiento versus deformación horizontal de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.



(a)



(b)



(c)

Figura 65 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Tipon ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

5.3.CANTERA DE LARAPA-SAN JERONIMO-CUSCO

5.3.1. DESCRIPCION

El material a ensayar es una grava cuya forma de sus partículas es sub angular lo cual fue extraída de la cantera del sector de Larapa-San Jerónimo -Cusco.

Debido a que el material presentaba partículas con diámetro mayor a $1\frac{1}{2}$ " y en el equipo de corte directo diseñado para suelos gravosos se puede evaluar suelos con partículas cuyo tamaño máximo de sus partículas es de $1\frac{1}{2}$ ". por tanto, se cortó el material en la malla de $1\frac{1}{2}$ ".

La finalidad de este ensayo es de determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para diferentes estados de compacidad relativa (suelta, medio y denso). Es por esto que se determinó la densidad mínima y máxima del material y se obtuvo la densidad relativa de cada una de las muestras a ensayar.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO



Figura 66 Imágenes de la cantera de Larapa.

5.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECANICAS

Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se realizaron en el laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil-UNSAAC.

Básicamente se efectuó los ensayos para la determinación de las propiedades índice y su respectiva clasificación SUCS del material extraído de la cantera antes mencionado cuya forma de sus partículas es Sub-Angular.

De acuerdo a los ensayos en el laboratorio el suelo gravoso utilizado en la investigación se clasifica como grava limosa (GM) Según el sistema de Clasificación Unificado de Clasificación (SUCS) estipulado en la norma ASTM D2487 con un tamaño máximo de 1 ½", cuyas propiedades índices se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 Características físicas del suelo gravoso de Larapa.

PROPIEDADES INDICE	
Contenido de Humedad W (%)	2.36
Finos (%)	13.22
Arena (%)	33.13
Grava (%)	53.65
Diámetro máximo de la partícula (mm)	38.1
Limite Liquido LL (%)	20.1
Limite Pastico LP (%)	16.8
Índice de Plasticidad IP	3.3
Clasificación (SUCS)	GM
Forma de las partículas	Sub-angular

FUENTE: Elaboración propia.

El análisis granulométrico se realizó según la norma ASTM D 422, el diámetro máximo de las partículas es de 1 ½" (38.1mm), el cual satisface el requerimiento general de la Norma ASTM D 3080, donde estipula que la mínima proporción de la dimensión de la caja de corte debe ser 06 veces el diámetro máximo de la partícula para evitar que la dimensión de la caja de corte influya en los resultados del ensayo. La curva de distribución granulométrica se muestra en la figura 67.

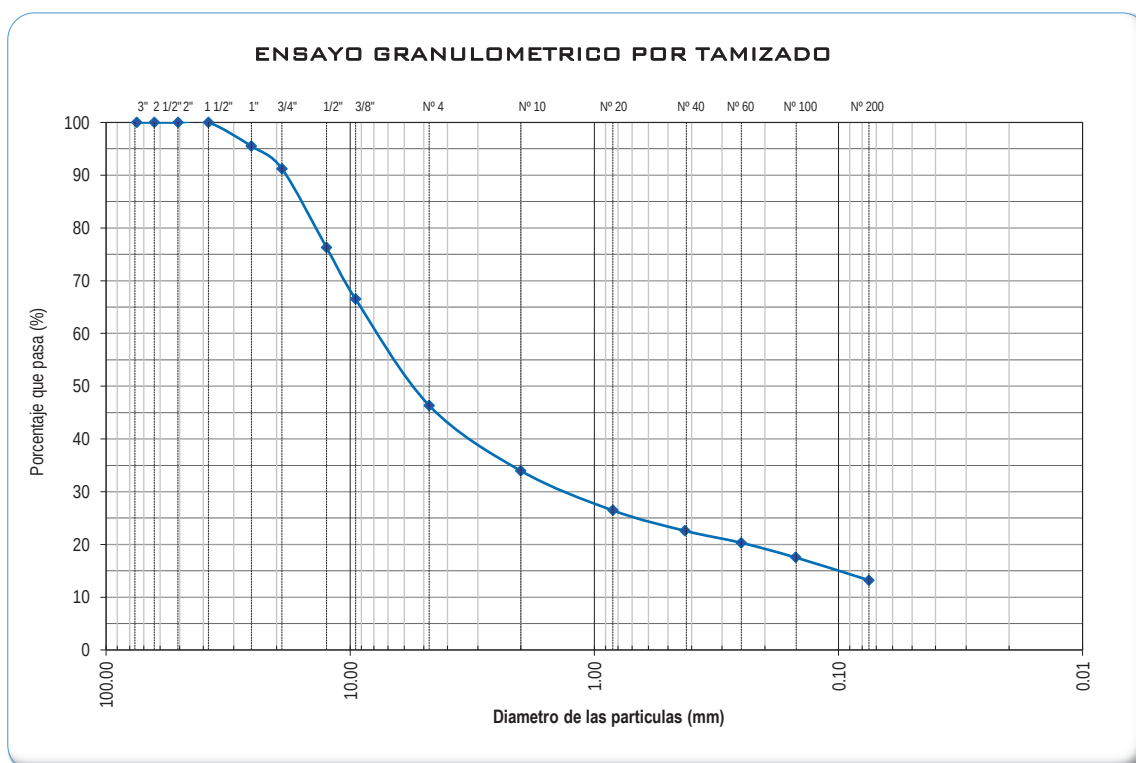


Figura 67 Curva granulométrica del material extraído de la cantera de Larapa.

5.3.3. CONFORMACION DE LA MUESTRA

Las muestras utilizadas para la determinación de la variación de los parámetros de resistencia cortante en suelos gravosos como parte de la aplicación del diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos son remodeladas según los requerimientos de la densidad relativa (muy suelto, medio y muy denso) teniendo en cuenta la siguiente clasificación del estado del suelo de acuerdo a las densidades relativas. Previamente se realiza el ajuste de la caja de corte como se indica en el capítulo IV.

Tabla 8 *Clasificación del estado de suelo de acuerdo a la compacidad relativa.*

Estado del suelo	Densidad relativa (%)
Muy suelto	0 - 15
Suelto	15 - 35
Medio	35 - 65
Denso	65 - 85
Muy denso	85 - 100

FUENTE: Dujisin D.,1974

El material granular clasificado como GP se compacto aun peso unitario de 1.87 ton/m³, 1.98 ton/m³ y 2.20 ton/m³ correspondientes a estados de densidad relativa muy suelto, medio y muy denso respectivamente para las muestras ensayadas.

La muestra tiene la forma de partícula angulosa, contenido de humedad 2.36%, diámetro máximo de partícula es de 38mm, el porcentaje gravas, arena y finos presentes en la muestra son: 53.65%, 33.13% y 13.22% respectivamente.

5.3.4. EJECUCION DEL ENSAYO DE CORTE

Antes de iniciar el ensayo de corte se realiza la conformación de la muestra y la programación del registro de datos del ensayo, posteriormente se aplica el esfuerzo normal y el esfuerzo tangencial como se indica en el capítulo IV.

El ensayo se realiza a una velocidad de 2mm/min y se denomina “prueba controlada por deformación unitaria” ya que se aplica una razón de desplazamiento en el tiempo y se registra la fuerza horizontal aplicada a la muestra. En el Anexo se presenta el cuadro de detalles de cada ensayo de corte.

5.3.5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE

Se muestra los resultados de los ensayos de corte realizados para determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso como parte de aplicación del diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

a) TABULACION DE LOS RESULTADOS

Los registros obtenidos por el programa de “Análisis de Gravas” se procesan en una hoja de Excel y se presentan los resultados mediante tablas y gráficas para su análisis posterior.

b) DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE

La determinación de los parámetros de resistencia cortante C y ϕ para el suelo gravoso en estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso utilizado en la investigación están basados en la teoría de Mohr-Coulomb explicado en el capítulo II.

En la tabla 9, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la muestra de suelo gravoso, cuyas características fueron descritas anteriormente los cuales fueron ensayados en diferentes estados de compacidad relativa.

Tabla 9 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos del suelo gravoso de Larapa.

Muestra	Forma de Partículas	SUCS	Humedad (%)	Finos (%)	Densidad Relativa	Densidad seca (gr/cm ³)	σ_n (kg/cm ²)	τ_{max} (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ (°)
M-2	Sub Anguloso	GM	2.36	13.22	Muy Suelto	1.87	0.5	0.54	0.20	35.2
							1.00	0.94		
							2.00	1.62		
					Medio	1.98	0.50	0.73	0.36	39.5
							1.00	1.25		
							2.00	1.99		
					Muy Denso	2.20	0.50	0.90	0.45	42.4
							1.00	1.38		
							2.00	2.28		

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

c) ENVOLVENTE DE FALLA

Se presenta el envolvente de falla de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.

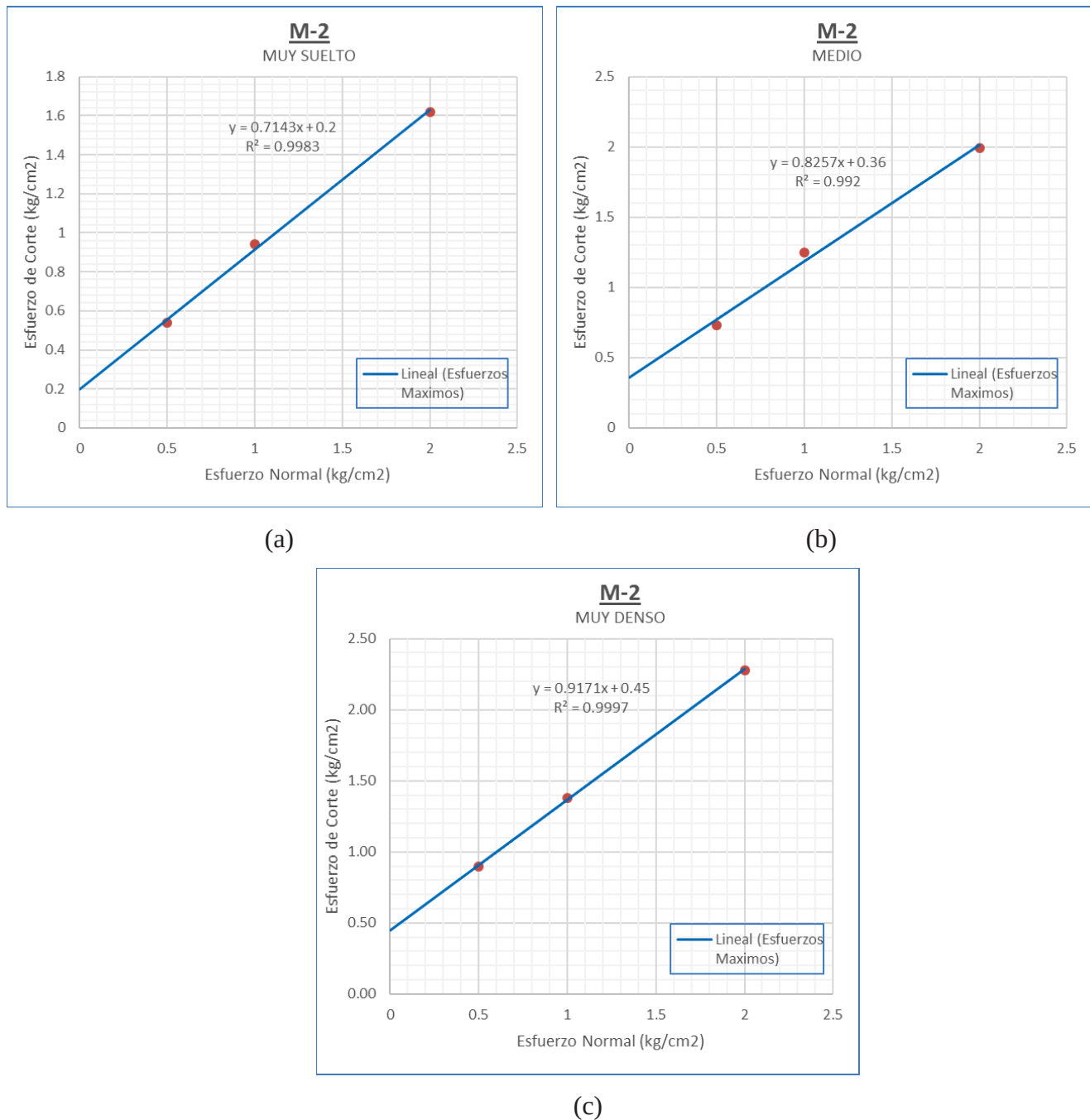


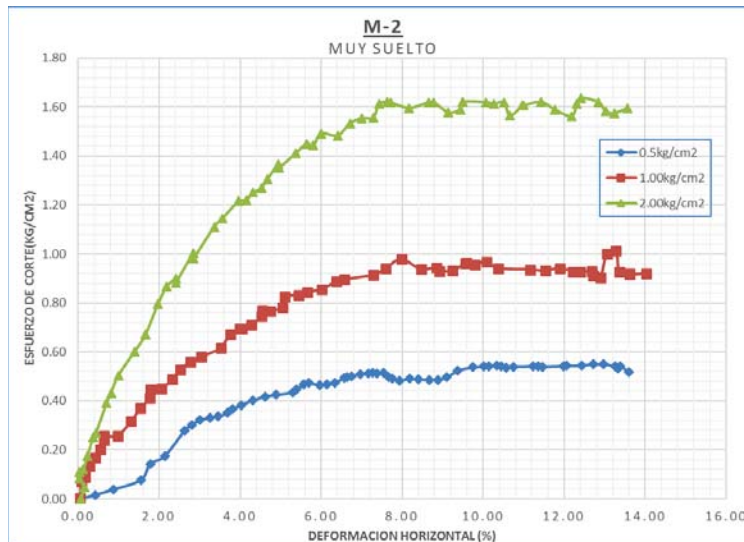
Figura 68 Envolvente de falla de resistencia máxima de la muestra de Larapa ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

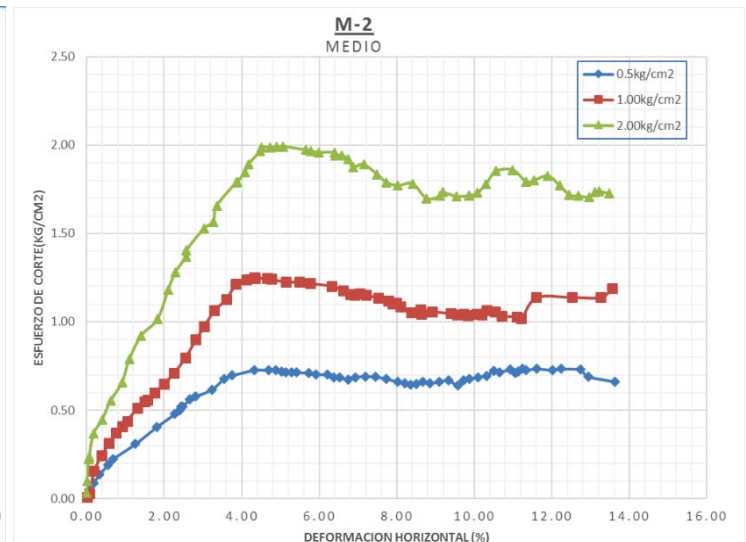
d) GRAFICOS

- COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO DE CORTE VERSUS DEFORMACION HORIZONTAL

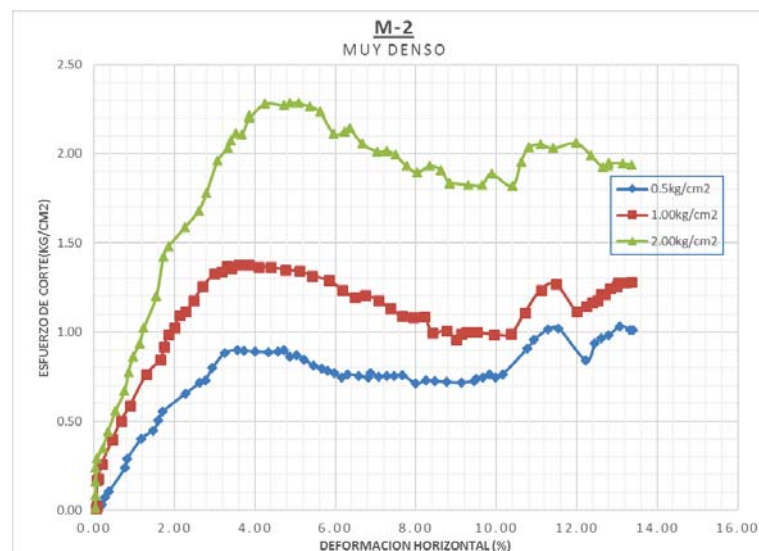
Se presenta la gráfica del comportamiento del esfuerzo de corte versus deformación horizontal de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.



(a)



(b)



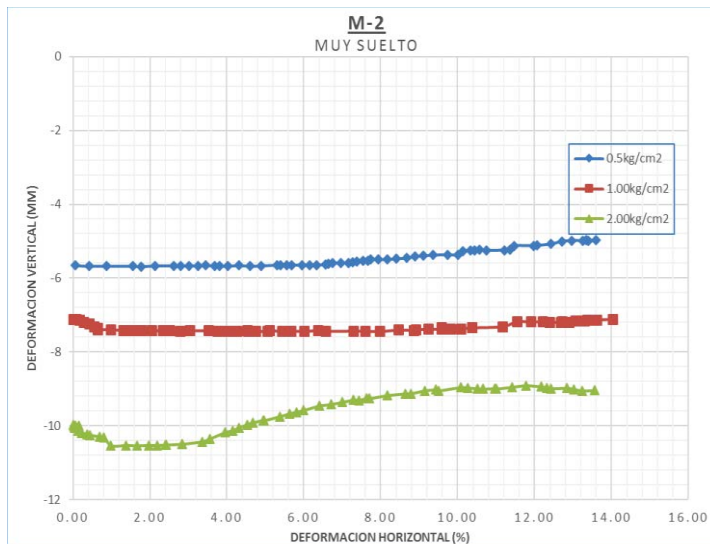
(c)

Figura 69 Gráficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Larapa ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

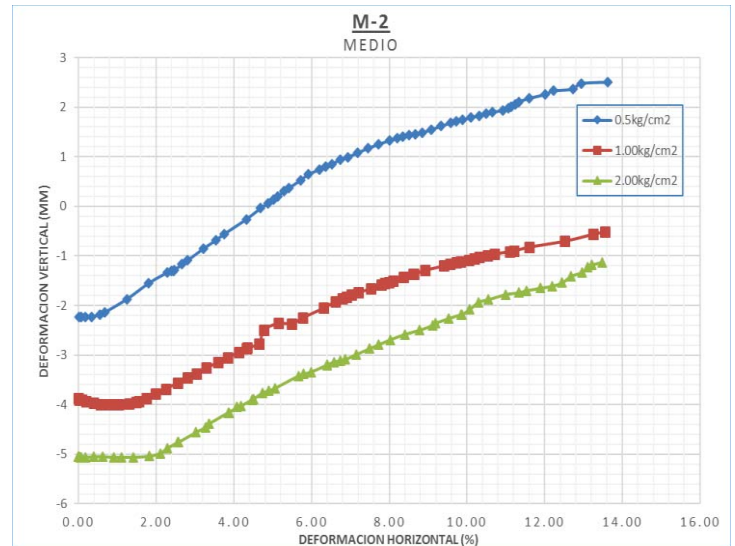
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

- COMPORTAMIENTO DEL ASENTAMIENTO VERSUS DEFORMACION HORIZONTAL

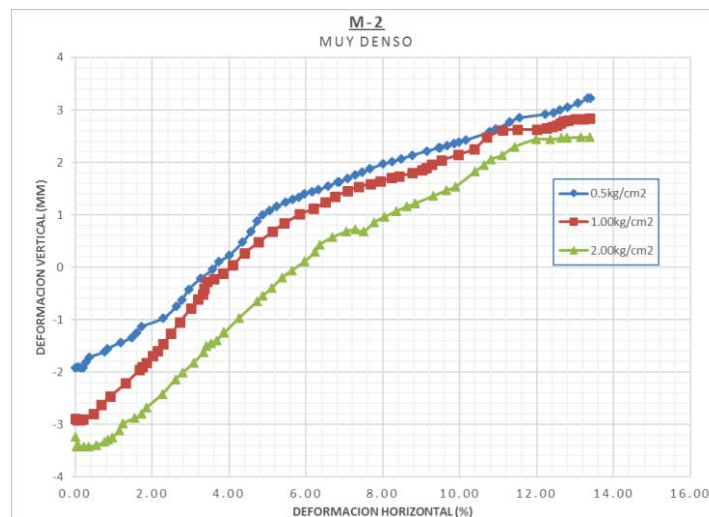
Se presenta la gráfica del comportamiento del asentamiento versus deformación horizontal de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.



(a)



(b)



(c)

Figura 70 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Larapa ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

5.4.CANTERA HUAMPUTIO-CUSCO

5.4.1. DESCRIPCION

El material a ensayar es un material canto rodado cuya forma de sus partículas es redondeada lo cual fue extraída del sector de Huambutio del distrito de Lucre.

Debido a que el material presentaba partículas con diámetro mayor a $1\frac{1}{2}$ " y en el equipo de corte directo diseñado para suelos gravosos se puede evaluar suelos con partículas cuyo tamaño máximo de sus partículas es de $1\frac{1}{2}$ ". Por tanto, se cortó el material en la malla de $1\frac{1}{2}$ ".

La finalidad de este ensayo es de determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para diferentes estados de compacidad relativa (suelta, medio y denso). Es por esto que se determinó la densidad mínima y máxima del material y se obtuvo la densidad relativa de cada una de las muestras a ensayar.



Figura 71 *Imágenes de la cantera de Huambutio.*

5.4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECANICAS

Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se realizaron en el laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil-UNSAAC.

Básicamente se efectuó los ensayos para la determinación de las propiedades índice y su respectiva clasificación SUCS del material extraído de la cantera antes mencionado cuya forma de sus partículas es Redondeado.

De acuerdo a los ensayos en el laboratorio el suelo gravoso utilizado en la investigación se clasifica como grava bien graduado (GW) Según el sistema de Clasificación Unificado de Clasificación (SUCS) estipulado en la norma ASTM D2487 con un tamaño máximo de $1\frac{1}{2}$ ", cuyas propiedades índices se muestra en la tabla 10.

Tabla 10 *Características físicas del suelo gravoso de Huambutio.*

PROPIEDADES INDICE	
Contenido de Humedad W (%)	0.30
Finos (%)	4.80
Arena (%)	27.00
Grava (%)	68.20
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	76.67
Coeficiente de Curvatura (Cc)	2.65
Diámetro máximo de la partícula (mm)	38.1
Limite Liquido LL (%)	NP
Limite Pastico LP (%)	NP
Índice de Plasticidad IP	NP
Clasificación (SUCS)	GW
Forma de las partículas	Redondeado

FUENTE: Elaboración propia.

El análisis granulométrico se realizó según la norma ASTM D 422, el diámetro máximo de las partículas es de $1\frac{1}{2}$ " (38.1mm), el cual satisface el requerimiento general de la Norma ASTM D 3080, donde estipula que la mínima proporción de la dimensión de la caja de corte debe ser 06 veces el diámetro máximo de la partícula para evitar que la dimensión de la caja de corte influya en los resultados del ensayo. La curva de distribución granulométrica se

muestra en la figura 72, en donde también se muestra los valores de coeficiente de uniformidad (CU) y coeficiente de curvatura (CC).

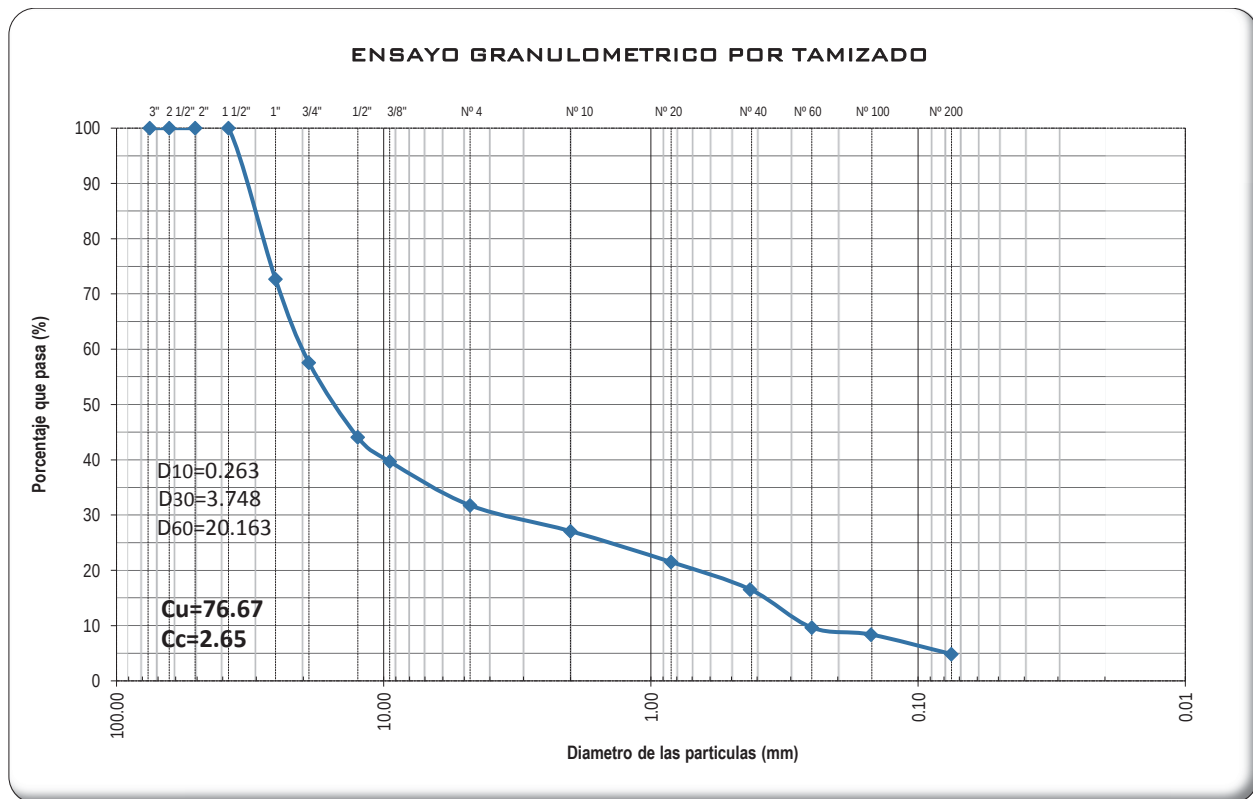


Figura 72 Curva granulométrica del material extraído de la cantera de Huambutio.

5.4.3. CONFORMACION DE LA MUESTRA

Las muestras utilizadas para la determinación de la variación de los parámetros de resistencia cortante en suelos gravosos como parte de la aplicación del diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos son remodeladas según los requerimientos de la densidad relativa (muy suelto, medio y muy denso) teniendo en cuenta la siguiente clasificación del estado del suelo de acuerdo a las densidades relativas. Previamente se realiza el ajuste de la caja de corte como se indica en el capítulo IV.

Tabla 11 *Clasificación del estado de suelo de acuerdo a la compacidad relativa.*

Estado del suelo	Densidad relativa (%)
Muy suelto	0 - 15
Suelto	15 - 35
Medio	35 - 65
Denso	65 - 85
Muy denso	85 - 100

FUENTE: Dujisin D.,1974

El material granular clasificado como GP se compacto aun peso unitario de 1.97 ton/m³, 2.12 ton/m³ y 2.30 ton/m³ correspondientes a estados de densidad relativa muy suelto, medio y muy denso respectivamente para las muestras ensayadas.

La muestra tiene la forma de partícula angulosa, contenido de humedad 0.30%, diámetro máximo de partícula es de 38mm, el porcentaje gravas, arena y finos presentes en la muestra son: 68.2%, 27.0% y 4.80% respectivamente.

5.4.4. EJECUCION DEL ENSAYO DE CORTE

Antes de iniciar el ensayo de corte se realiza la conformación de la muestra y la programación del registro de datos del ensayo, posteriormente se aplica el esfuerzo normal y el esfuerzo tangencial como se indica en el capítulo IV.

El ensayo se realiza a una velocidad de 2mm/min y se denomina “prueba controlada por deformación unitaria” ya que se aplica una razón de desplazamiento en el tiempo y se registra la fuerza horizontal aplicada a la muestra. En el Anexo se presenta el cuadro de detalles de cada ensayo de corte.

5.4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE

Se muestra los resultados de los ensayos de corte realizados para determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso como parte de aplicación del diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

a) TABULACION DE LOS RESULTADOS

Los registros obtenidos por el programa de “Análisis de Gravas” se procesan en una hoja de Excel y se presentan los resultados mediante tablas y gráficas para su análisis posterior.

b) DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE

La determinación de los parámetros de resistencia cortante C y ϕ para el suelo gravoso en estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso utilizado en la investigación están basados en la teoría de Mohr-Coulomb explicado en el capítulo II.

En la tabla 12 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la muestra de suelo gravoso, cuyas características fueron descritas anteriormente los cuales fueron ensayados en diferentes estados de compacidad relativa.

Tabla 12 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos del suelo gravoso de Huambutio.

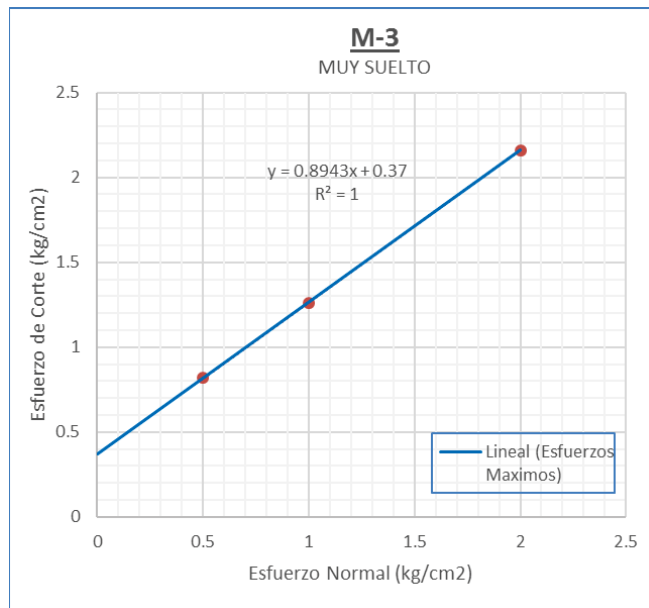
Muestra	Forma de Partículas	SUCS	Humedad (%)	Finos (%)	Densidad Relativa	Densidad seca (gr/cm ³)	σ_n (kg/cm ²)	τ_{max} (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ (°)
M-3	Redondeado	GW	0.30	4.80	Muy Suelto	1.97	0.5	0.82	0.37	41.6
							1.00	1.26		
							2.00	2.16		
					Medio	2.12	0.50	0.98	0.45	44.8
							1.00	1.38		
							2.00	2.45		
					Muy Denso	2.30	0.50	1.22	0.61	50.5
							1.00	1.82		
							2.00	3.04		

FUENTE: Elaboración propia.

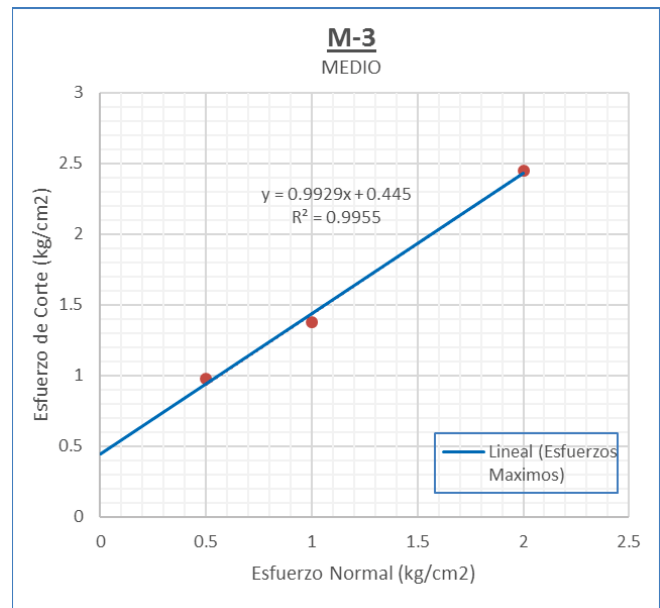
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

c) ENVOLVENTE DE FALLA

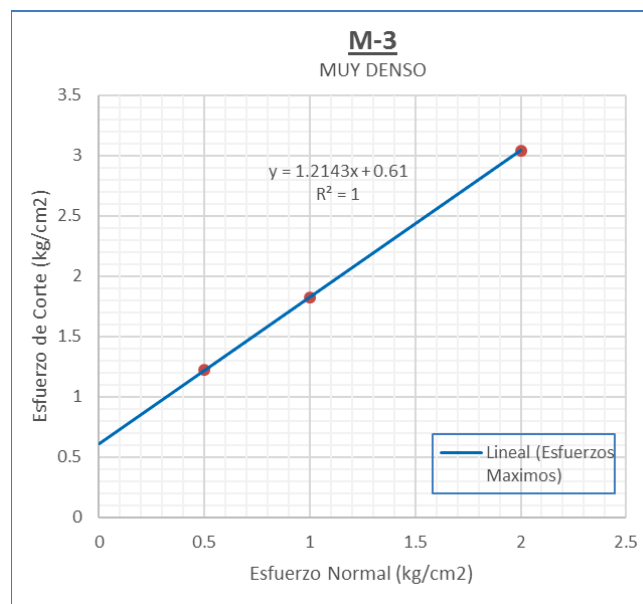
Se presenta el envolvente de falla de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.



(a)



(b)



(c)

Figura 73 Envolvente de falla de resistencia máxima de la muestra de Huambutio ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

d) GRAFICOS

- COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO DE CORTE VERSUS DEFORMACION HORIZONTAL

Se presenta la gráfica del comportamiento del esfuerzo de corte versus deformación horizontal de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.

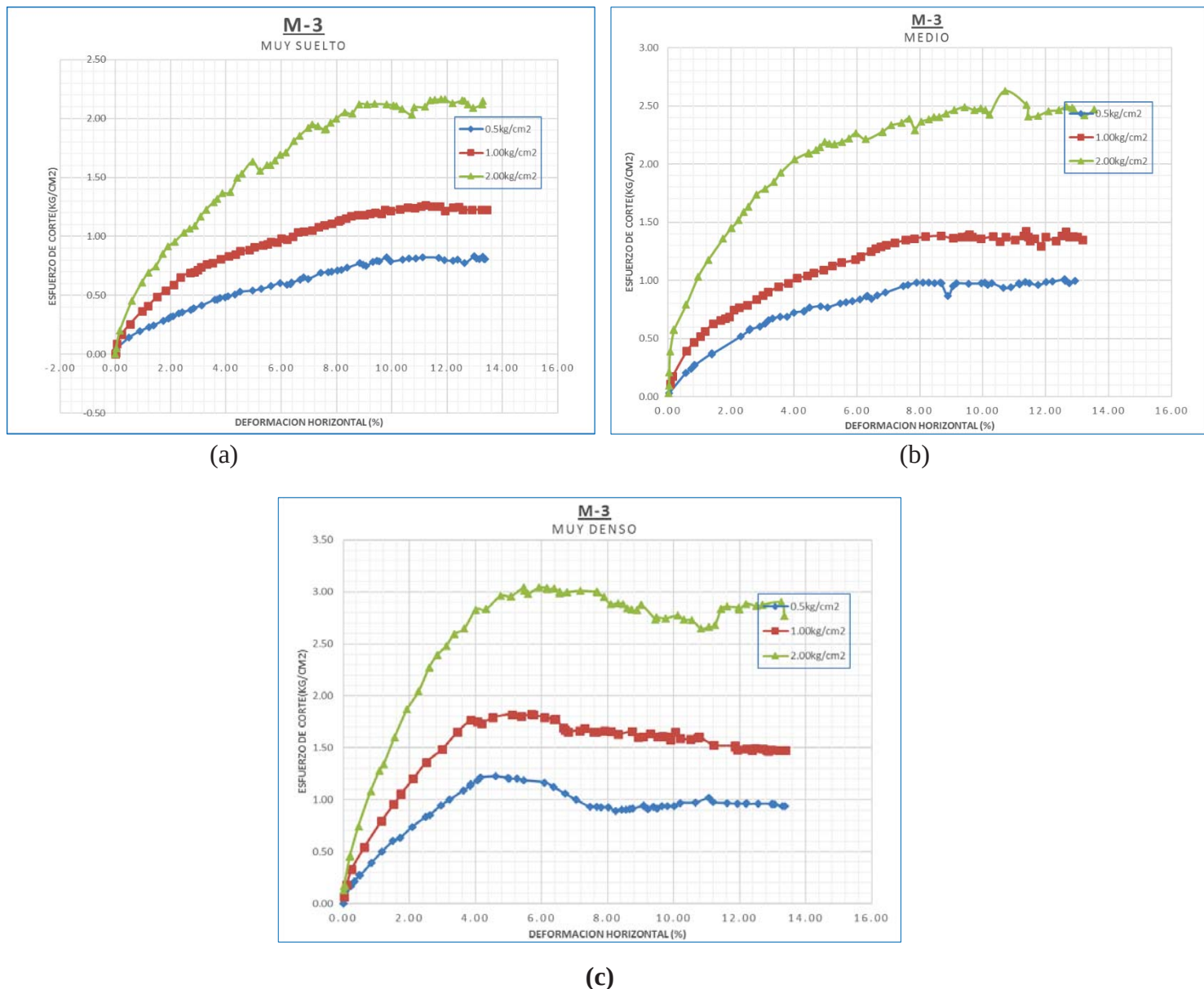
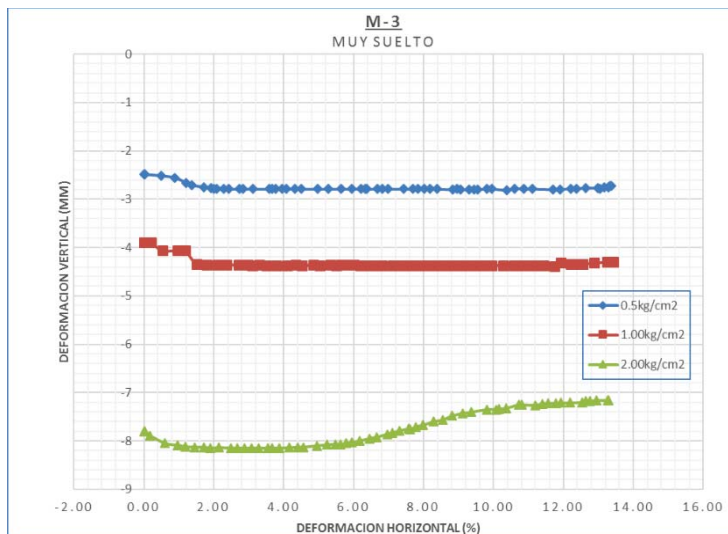


Figura 74 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Huambutio ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

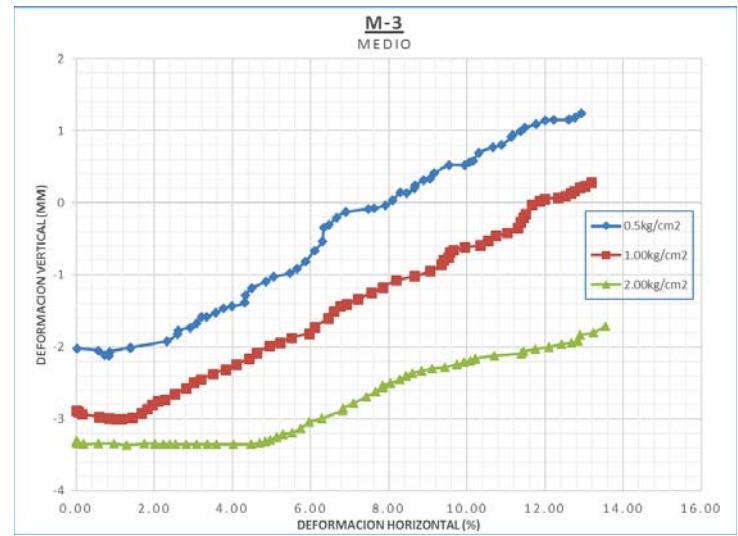
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

- COMPORTAMIENTO DEL ASENTAMIENTO VERSUS DEFORMACION HORIZONTAL

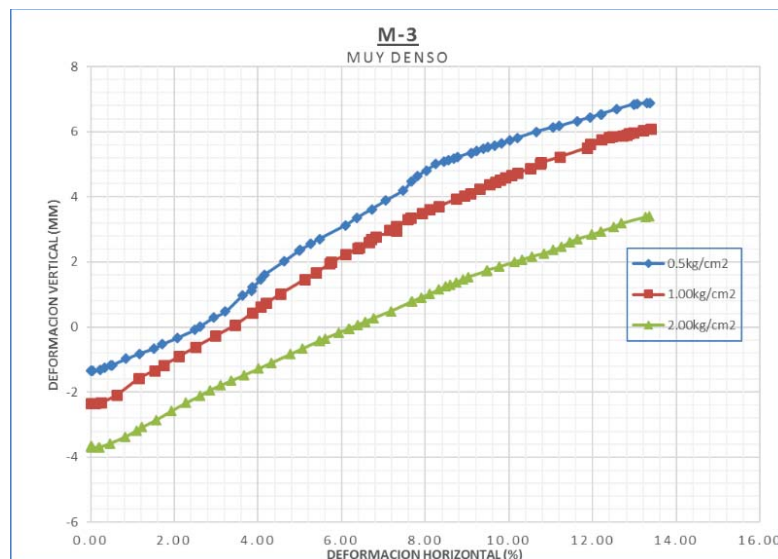
Se presenta la gráfica del comportamiento del asentamiento versus deformación horizontal de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.



(a)



(b)



(c)

Figura 75 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Huambutio ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

5.5.CANtera COLLANA-SAN JERONIMO-CUSCO

5.5.1. DESCRIPCION

El material a ensayar es una grava cuya forma de sus partículas es sub-redondeado lo cual fue extraída de la cantera del sector de Ccollana –San Jerónimo -Cusco.

Debido a que el material presentaba partículas con diámetro mayor a $1\frac{1}{2}$ " y en el equipo de corte directo diseñado para suelos gravosos se puede evaluar suelos con partículas cuyo tamaño máximo de sus partículas es de $1\frac{1}{2}$ ". por tanto, se cortó el material en la malla de $1\frac{1}{2}$ ".

La finalidad de este ensayo es de determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para diferentes estados de compacidad relativa (suelta, medio y denso). Es por esto que se determinó la densidad mínima y máxima del material y se obtuvo la densidad relativa de cada una de las muestras a ensayar.



Figura 76 Imágenes de la cantera de Collana.

5.5.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECANICAS

Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se realizaron en el laboratorio de Mecánica de suelos y Pavimentos de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil-UNSAAC.

Básicamente se efectuáronse los ensayos para la determinación de las propiedades índice y su respectiva clasificación SUCS del material extraído de la cantera antes mencionado cuya forma de sus partículas es Sub-Redondeado.

De acuerdo a los ensayos en el laboratorio el suelo gravoso utilizado en la investigación se clasifica como grava pobremente graduado (GW) Según el sistema de Clasificación Unificado de Clasificación (SUCS) estipulado en la norma ASTM D2487 con un tamaño máximo de 1 ½", cuyas propiedades índices se muestra en la tabla 13.

Tabla 13 Características físicas del suelo gravoso de Collana.

PROPIEDADES INDICE	
Contenido de Humedad W (%)	0.55
Finos (%)	3.60
Arena (%)	32.90
Grava (%)	63.50
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	57.22
Coefficiente de Curvatura (Cc)	2.06
Diámetro máximo de la partícula (mm)	38.1
Limite Liquido LL (%)	NP
Limite Pastico LP (%)	NP
Índice de Plasticidad IP	NP
Clasificación (SUCS)	GW
Forma de las partículas	Sub-Redondeado

FUENTE: Elaboración propia.

El análisis granulométrico se realizó según la norma ASTM D 422, el diámetro máximo de las partículas es de 1 ½" (38.1mm), el cual satisface el requerimiento general de la Norma ASTM D 3080, donde estipula que la mínima proporción de la dimensión de la caja de corte debe ser 06 veces el diámetro máximo de la partícula para evitar que la dimensión de la caja de corte influya en los resultados del ensayo. La curva de distribución granulométrica se

muestra en la figura 77, en donde también se muestra los valores de coeficiente de uniformidad (CU) y coeficiente de curvatura (CC).

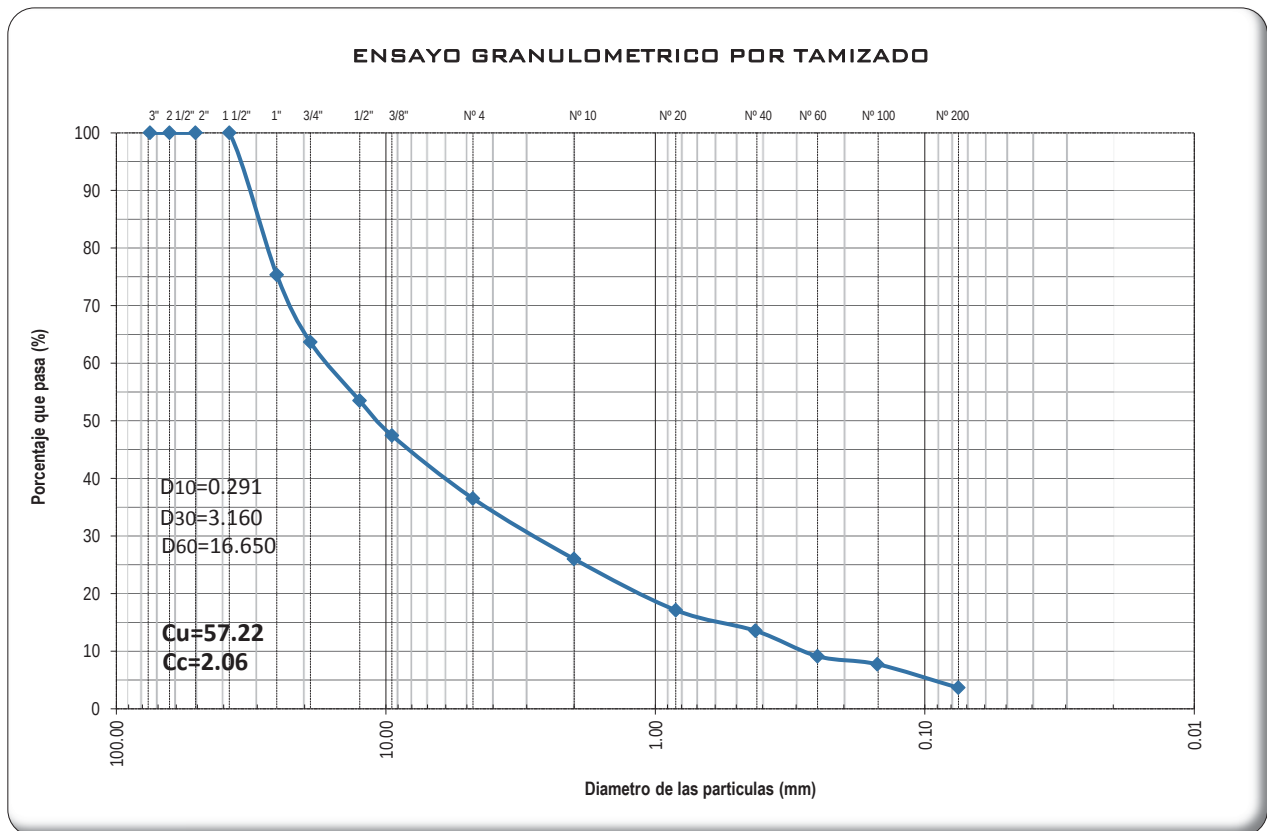


Figura 77 Curva granulométrica del material extraído de la cantera de Collana.

5.5.3. CONFORMACION DE LA MUESTRA

Las muestras utilizadas para la determinación de la variación de los parámetros de resistencia cortante en suelos gravosos como parte de la aplicación del diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos son remodeladas según los requerimientos de la densidad relativa (muy suelto, medio y muy denso) teniendo en cuenta la siguiente clasificación del estado del suelo de acuerdo a las densidades relativas. Previamente se realiza el ajuste de la caja de corte como se indica en el capítulo IV.

Tabla 14 *Clasificación del estado de suelo de acuerdo a la compacidad relativa.*

Estado del suelo	Densidad relativa (%)
Muy suelto	0 - 15
Suelto	15 - 35
Medio	35 - 65
Denso	65 - 85
Muy denso	85 - 100

FUENTE: Dujisin D.,1974

El material granular clasificado como GP se compacto aun peso unitario de 1.90 ton/m³, 2.00 ton/m³ y 2.18 ton/m³ correspondientes a estados de densidad relativa muy suelto, medio y muy denso respectivamente para las muestras ensayadas.

La muestra tiene la forma de partícula angulosa, contenido de humedad 0.42%, diámetro máximo de partícula es de 38mm, el porcentaje gravas, arena y finos presentes en la muestra son: 63.5%, 32.9% y 3.6% respectivamente.

5.5.4. EJECUCION DEL ENSAYO DE CORTE

Antes de iniciar el ensayo de corte se realiza la conformación de la muestra y la programación del registro de datos del ensayo, posteriormente se aplica el esfuerzo normal y el esfuerzo tangencial como se indica en el capítulo IV.

El ensayo se realiza a una velocidad de 2mm/min y se denomina “prueba controlada por deformación unitaria” ya que se aplica una razón de desplazamiento en el tiempo y se registra la fuerza horizontal aplicada a la muestra. En el Anexo se presenta el cuadro de detalles de cada ensayo de corte.

5.5.5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE

Se muestra los resultados de los ensayos de corte realizados para determinar la variación de los parámetros de resistencia cortante para estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso como parte de aplicación del diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

a) TABULACION DE LOS RESULTADOS

Los registros obtenidos por el programa de “Análisis de Gravas” se procesan en una hoja de Excel y se presentan los resultados mediante tablas y gráficas para su análisis posterior.

b) DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE

La determinación de los parámetros de resistencia cortante C y ϕ para el suelo gravoso en estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso utilizado en la investigación están basados en la teoría de Mohr-Coulomb explicado en el capítulo II.

En la tabla 15, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la muestra de suelo gravoso, cuyas características fueron descritas anteriormente los cuales fueron ensayados en diferentes estados de compacidad relativa.

Tabla 15 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos del suelo gravoso de Collana.

Muestra	Forma de Partículas	SUCS	Humedad (%)	Finos (%)	Densidad Relativa	Densidad seca (gr/cm ³)	σ_n (kg/cm ²)	τ_{max} (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ (°)
M-4	Sub Redondeado	GW	0.55	3.60	Muy Suelto	1.90	0.5	0.84	0.38	42.7
							1.00	1.29		
							2.00	2.22		
					Medio	2.00	0.50	0.94	0.37	47.1
							1.00	1.40		
							2.00	2.54		
					Muy Denso	2.18	0.50	1.30	0.56	52.4
							1.00	1.80		
							2.00	3.19		

FUENTE: Elaboración propia.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

a) ENVOLVENTE DE FALLA

Se presenta el envolvente de falla de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.

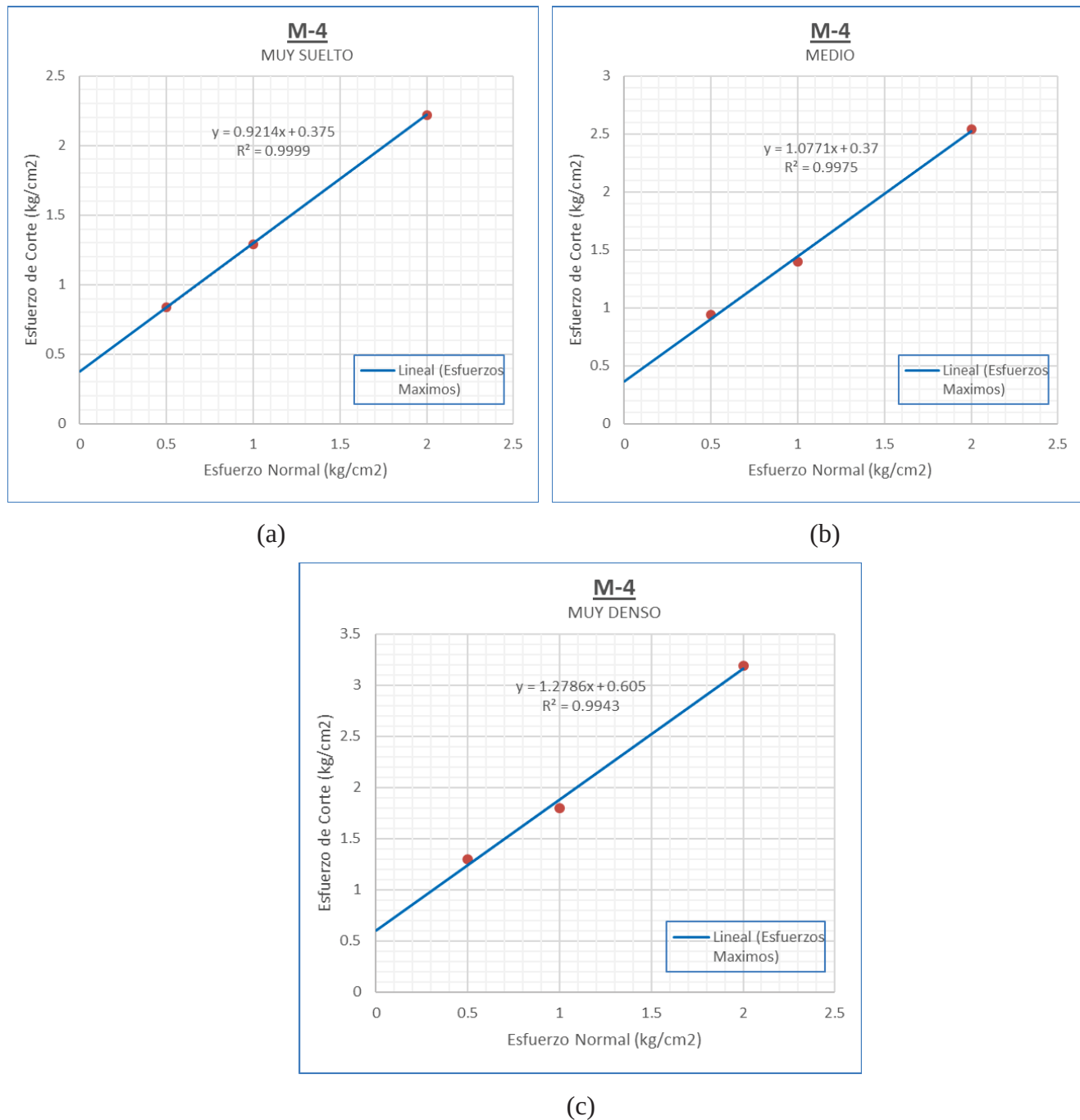


Figura 78 Envolvente de falla de resistencia máxima de la muestra de Collana ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

b) GRAFICOS

- COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO DE CORTE VERSUS DEFORMACION HORIZONTAL

Se presenta la gráfica del comportamiento del esfuerzo de corte versus deformación horizontal de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.

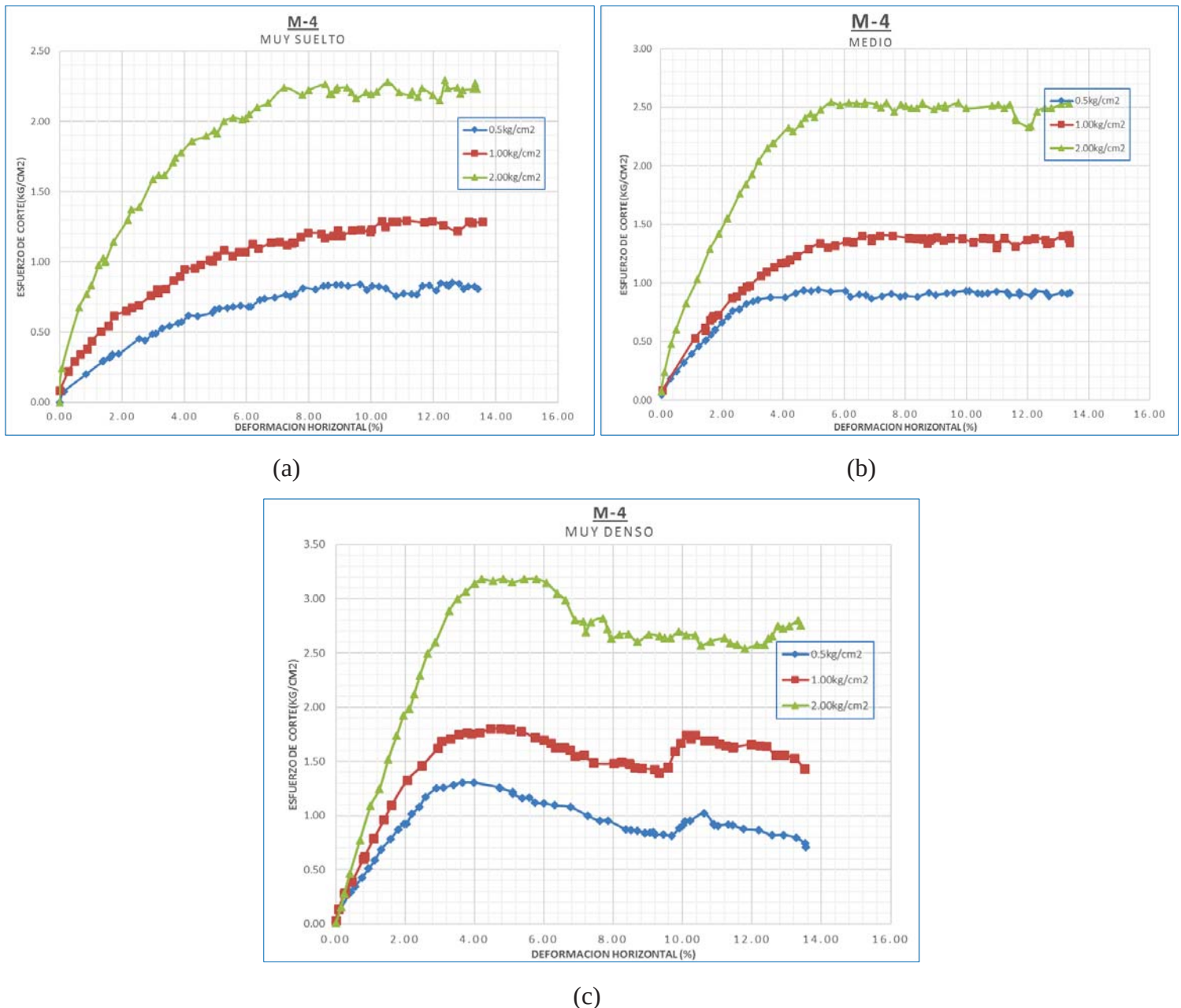
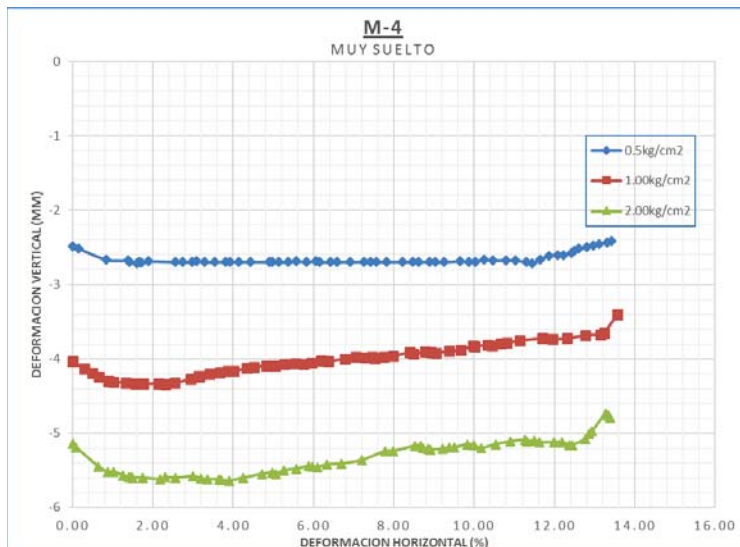


Figura 79 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Collana ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

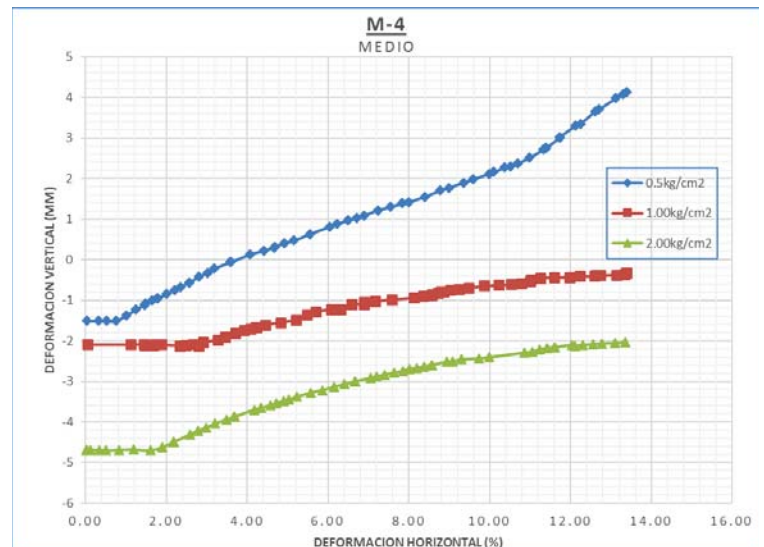
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

- COMPORTAMIENTO DEL ASENTAMIENTO VERSUS DEFORMACION HORIZONTAL

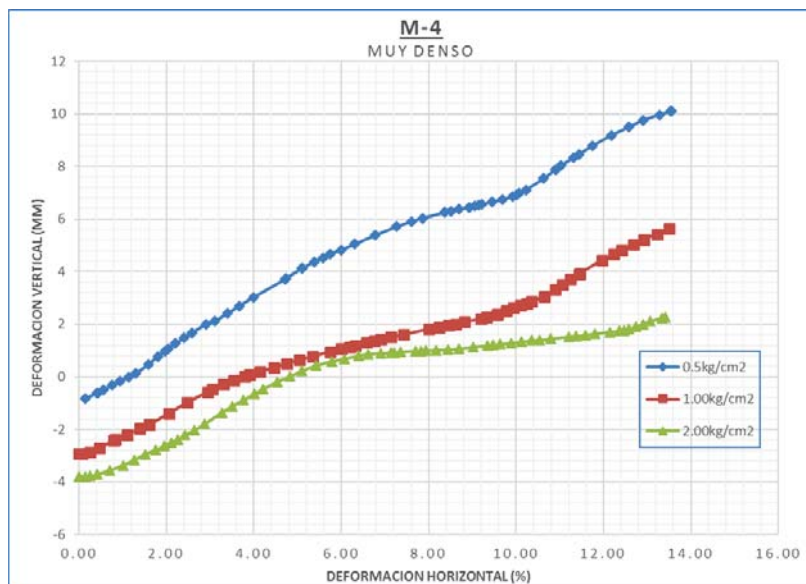
Se presenta la gráfica del comportamiento del asentamiento versus deformación horizontal de la muestra ensayada en los tres estados de compacidad relativa.



(a)



(b)



(c)

Figura 80 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Collana ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

CAPITULO VI

6. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1.1. GRANULOMETRIA

La muestra M-1, procedente de la cantera de Tipon con forma de las partículas angulosos clasificado como grava pobremente graduado (GP) según SUCS, contiene 4.5 % de finos, 14.6% de arena y 80.9% de gravas. La muestra tiene diámetro máximo de las partículas de 38.1 mm, coeficiente de uniformidad de 40.74 y coeficiente de curvatura de 8.75.

La muestra M-2, procedente de la cantera de Larapa con forma de las partículas Sub-angulosos clasificado según SUCS como grava limosa (GM), contiene 13.22 % de finos, 33.13 % de arena y 53.65% de gravas. La muestra tiene diámetro máximo de las partículas de 38.1 mm.

La muestra M-3, procedente de la cantera de Huambutio con forma de las partículas redondeados clasificado según SUCS como grava bien graduado (GW), contiene 4.80 % de finos, 27.0 % de arena y 68.2 % de gravas. La muestra tiene diámetro máximo de las partículas de 38.1 mm, coeficiente de uniformidad de 76.67 y coeficiente de curvatura de 2.65.

La muestra M-4, procedente de la cantera de Collana con forma de las partículas Sub-redondeados clasificado según SUCS como grava bien graduado (GW), contiene 3.6 % de finos, 32.9 % de arena y 63.5% de gravas. La muestra tiene diámetro máximo de las partículas de 38.1 mm, coeficiente de uniformidad de 57.22 y coeficiente de curvatura de 2.06.

En la figura 81, se muestra las curvas granulométricas de las muestras M-1, M-2, M-3 y M-4 clasificados como GP, GM, GW Y GW respectivamente.

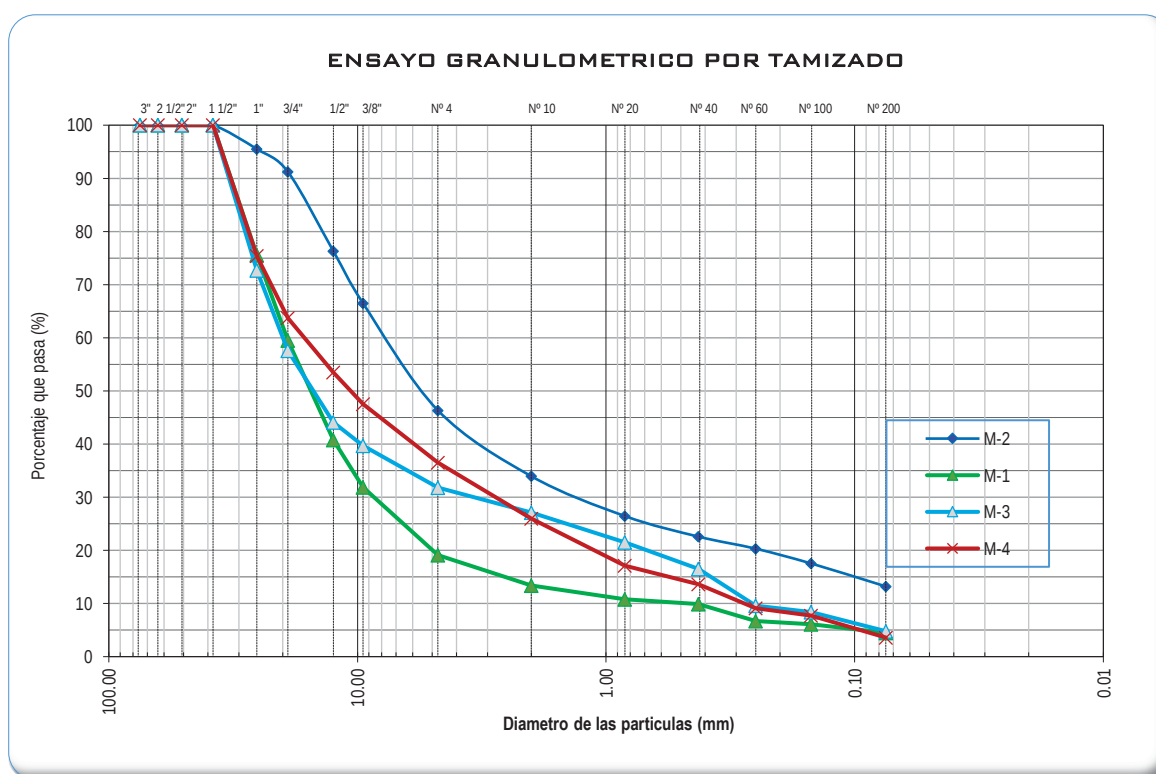


Figura 81 Curva de distribución granulométrica de los suelos gravosos utilizados en la investigación.

6.1.2. ENVOLVENTE DE FALLA

En las figuras 82, 83, 84 y 85 se muestra los envolventes de falla en los ensayos de corte de las muestras M-1, M-2, M-3 Y M-4 cada una conformado en estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso. En las figuras se presenta los resultados de las envolventes de falla para los ensayos de corte con secuencias de cargas verticales de 0.50, 1.00 y 2.00 kg/cm². En las cuatro figuras en general se observa claramente que a medida que la densidad relativa a la que es conformado el espécimen varia de muy suelto, medio a muy denso entonces la fuerza tangencial necesario para el corte del espécimen incrementa, por consiguiente, el ángulo de fricción interna aumenta.

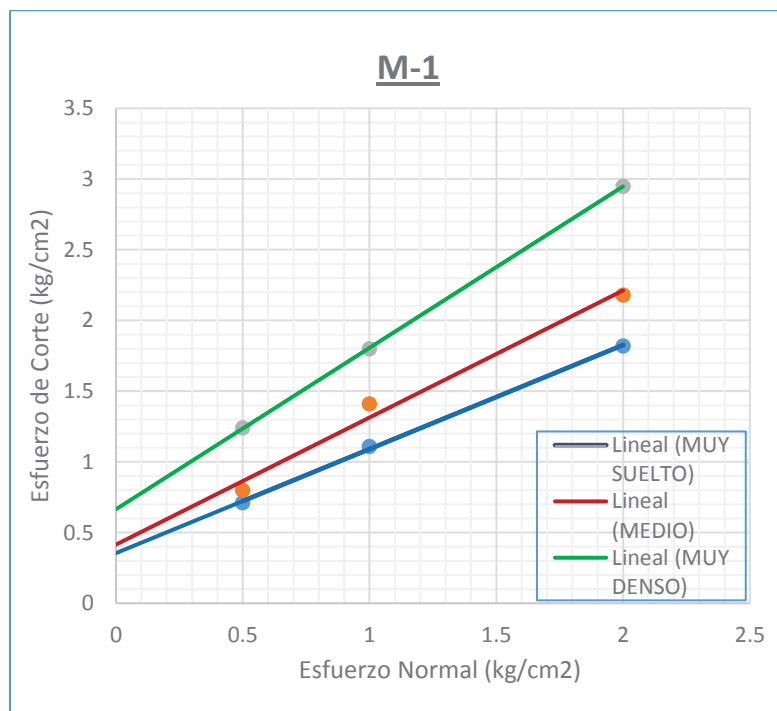


Figura 82 Envolverte de falla en el corte de la muestra M-1 conformados con densidad relativa muy suelto, medio y muy denso

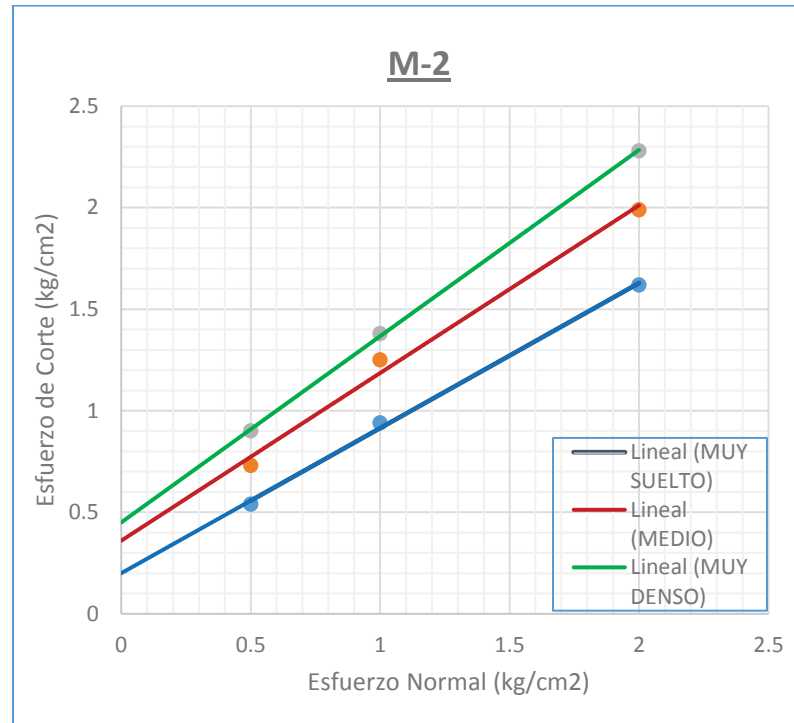


Figura 83 *Envolvente de falla en el corte de la muestra M-2 conformados con densidad relativa muy suelta, medio y muy denso*

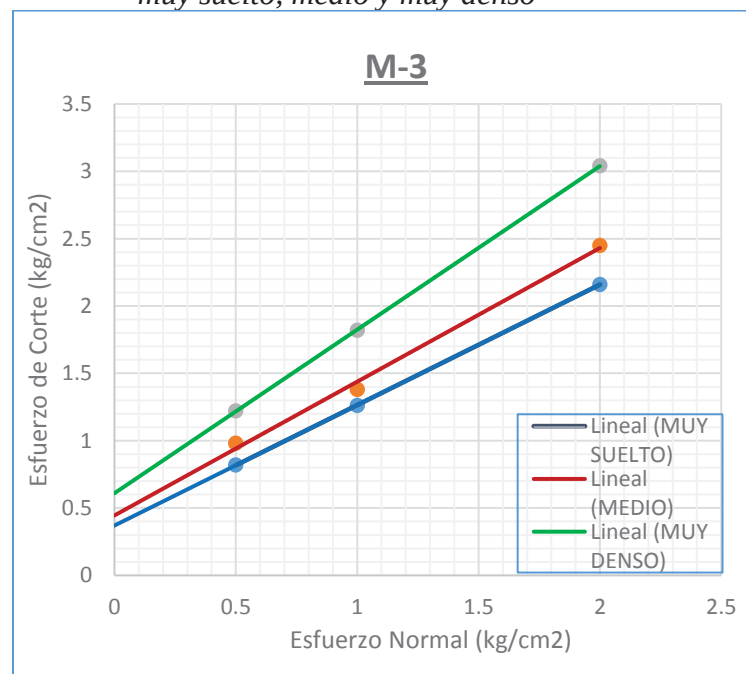


Figura 84 *Envolvente de falla en el corte de la muestra M-3 conformados con densidad relativa muy suelta, medio y muy denso.*

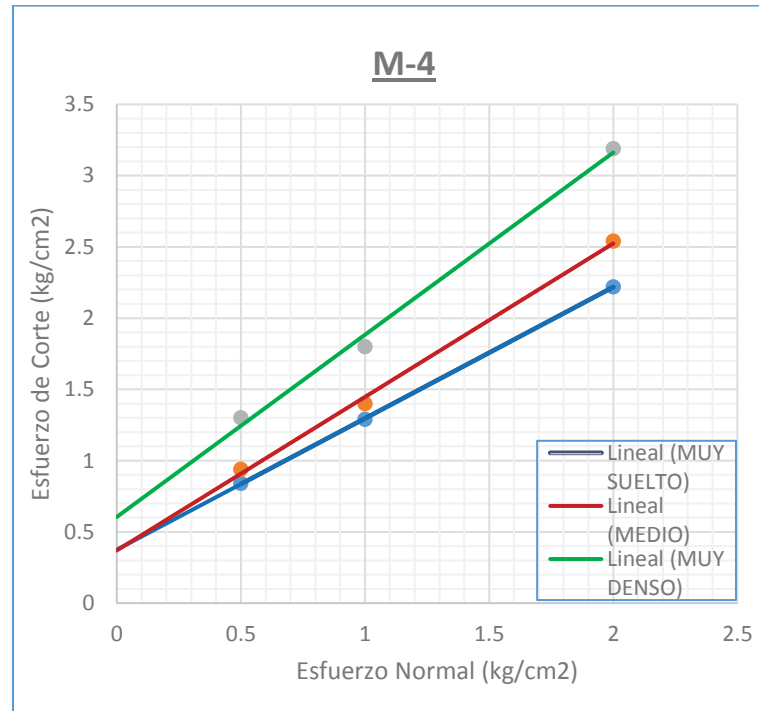


Figura 85 Envoltura de falla en el corte de la muestra M-4 conformados con densidad relativa muy suelta, medio y muy denso.

6.1.3. COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO CORTANTE VS DEFORMACION

HORIZONTAL

A continuación, se presenta en comportamiento de esfuerzo cortante y la deformación tangencial de cada una de las muestras ensayadas en diferentes estados de compacidad relativa.

Se observa que la rigidez inicial en general aumenta al realizar el corte del espécimen conformado en un estado de densidad relativa medio y muy denso en relación a la muestra conformada a una densidad relativa muy suelta, en especial para la muestra M-1 procedente de la cantera de Tipón la rigidez inicial para el espécimen conformada a compacidad relativa muy densa es mucho mayor que para el espécimen muy suelta, lo que probablemente se debe a la forma angular de sus partículas.

En las figuras 86, 87, 88 y 89, se muestra que el esfuerzo de corte se incrementa al realizar el corte de las muestras conformados en estado de densidad relativa medio y muy denso en relación a los especímenes muy sueltos sobre todo en la muestra M-4 procedente de la cantera de Collana clasificado como suelo gravoso bien graduado (GW) cuya forma de sus partículas es sub-redondeado. Mientras en la M-2 procedente de la cantera de Larapa el incremento del esfuerzo de corte es menor en relación al incremento de los esfuerzos de corte requerido en las muestras M-1, M-3 Y M-4.

En los gráficos también se observa que algunos tramos presentan formas de “zigzag”, quizás esto se debe al proceso de rotura del material granular para el caso de especímenes ensayados a una densidad relativa muy densa o el reacomodo de las partículas para especímenes ensayados a una densidad relativa muy suelto. Además, los resultados muestran para los suelos de densidad relativa muy densa, picos de resistencia de corte bien definidos, mientras que, para las muestras sueltas, solo se presenta curvas crecientes. En general para especímenes muy densas el esfuerzo de corte es alcanzado en un intervalo 4-5%, mientras para especímenes de densidad relativa medio en un intervalo de 8-9% y para especímenes muy sueltas en un intervalo de 10-11% de deformación tangencial.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

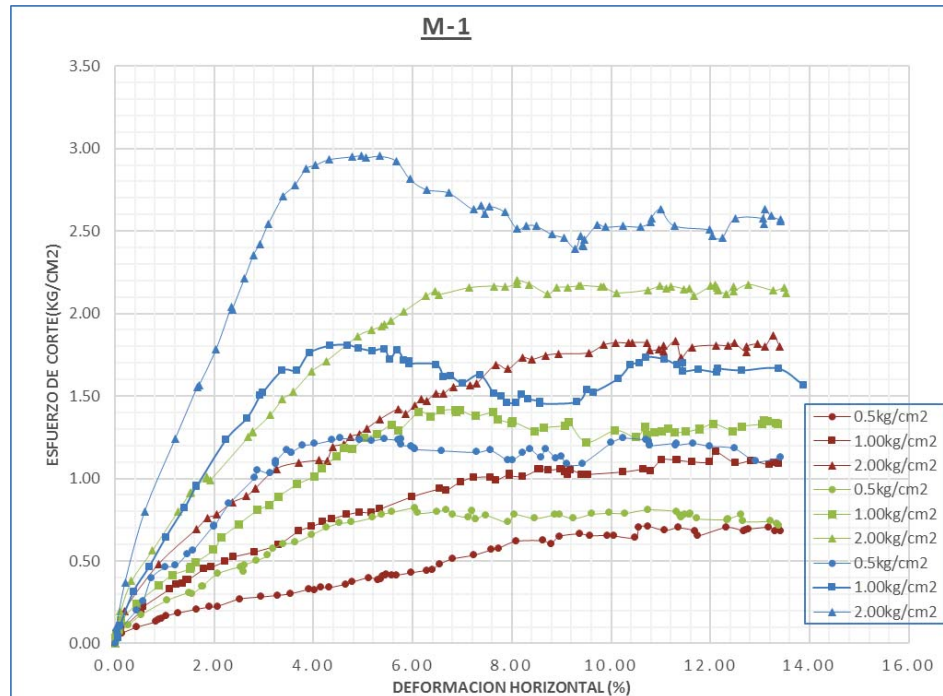


Figura 86 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Tipon (M-1) ensayado en estados de compactación a) muy suelta, b) medio, c) muy denso.

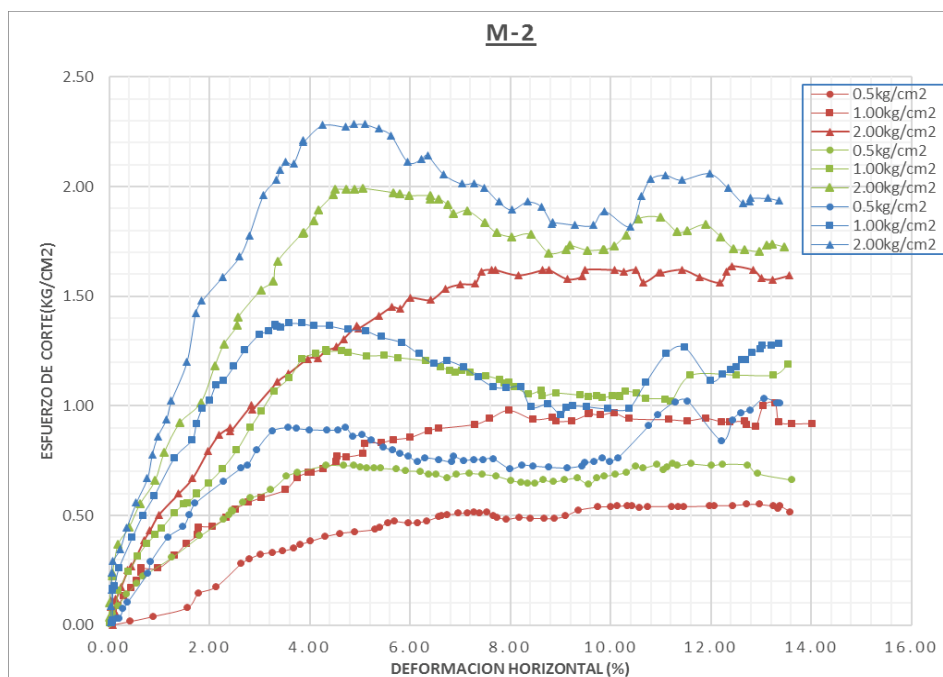


Figura 87 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Larapa (M-2) ensayado en estados de compactación a) muy suelta, b) medio, c) muy denso.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

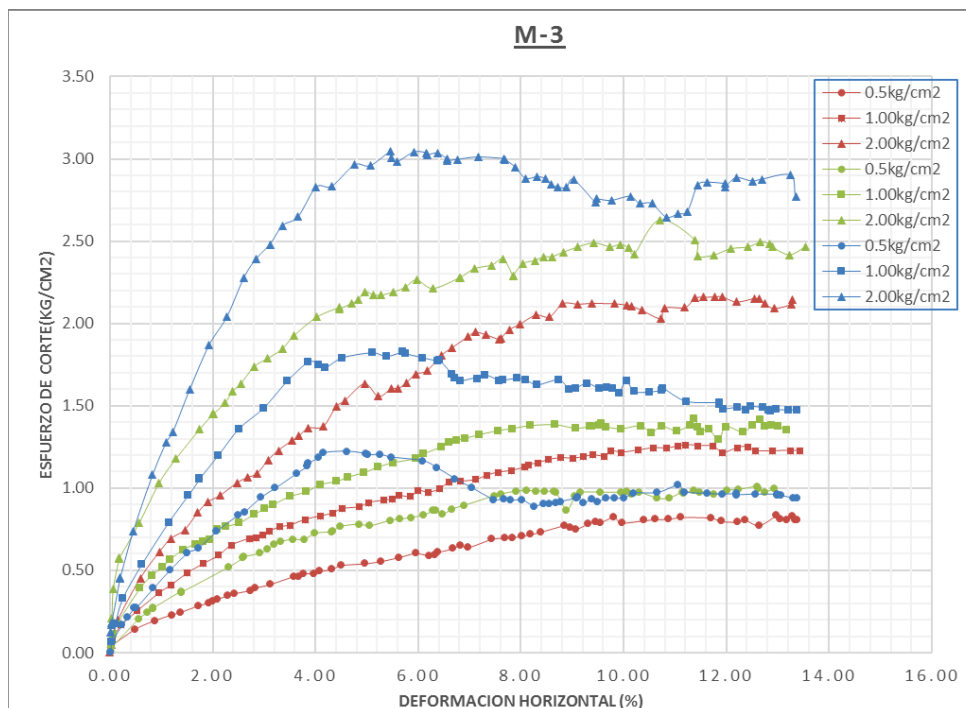


Figura 88 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Huambutio (M-3) ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

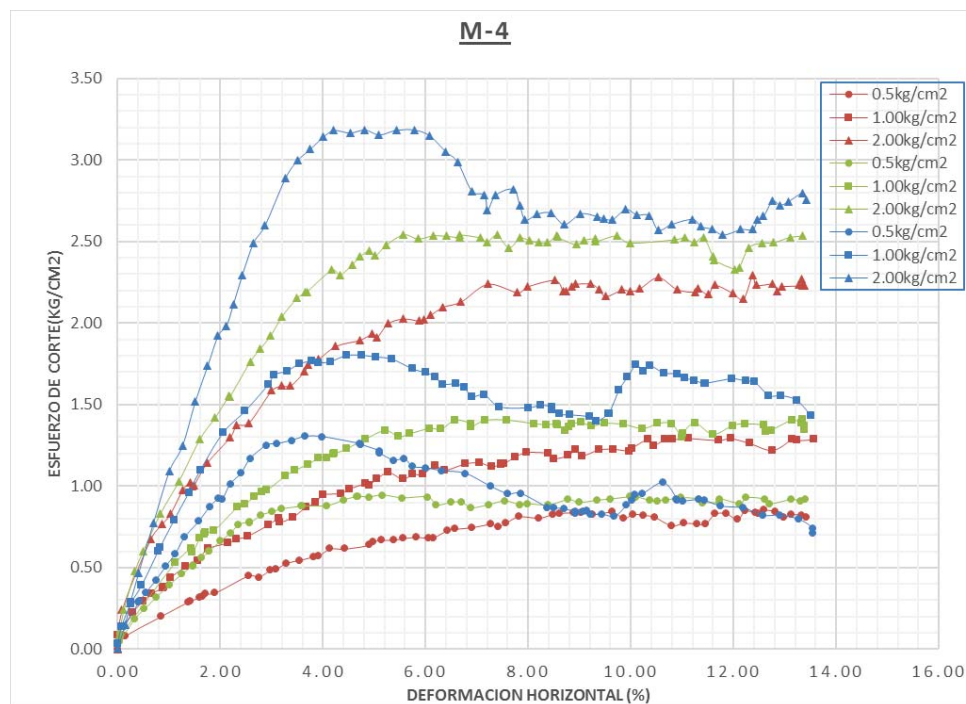


Figura 89 Graficas de esfuerzo de corte vs deformación horizontal de la muestra de Collana (M-4) ensayado en estados de compacidad relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

6.1.4. COMPORTAMIENTO DEL ASENTAMIENTO VS DEFORMACION

HORIZONTAL

A continuación, se presenta en comportamiento de la deformación vertical y la deformación tangencial de cada una de las muestras ensayados en diferentes estados de compactación relativa.

En las figuras 90, 91, 92 y 93, en general se observa que la deformación vertical y/o asentamiento inicial en el corte de especímenes en estado de densidad relativa muy suelto es mayor en relación al asentamiento inicial en los especímenes conformados en estado de densidad relativa muy denso pero que durante el ensayo su variación es mínimo, mientras en los especímenes muy densas la deformación inicial es menor pero la variación de la deformación durante el ensayo es mayor, este hecho se atribuye al proceso de dilatancia ya sea positiva o negativa en el espécimen.

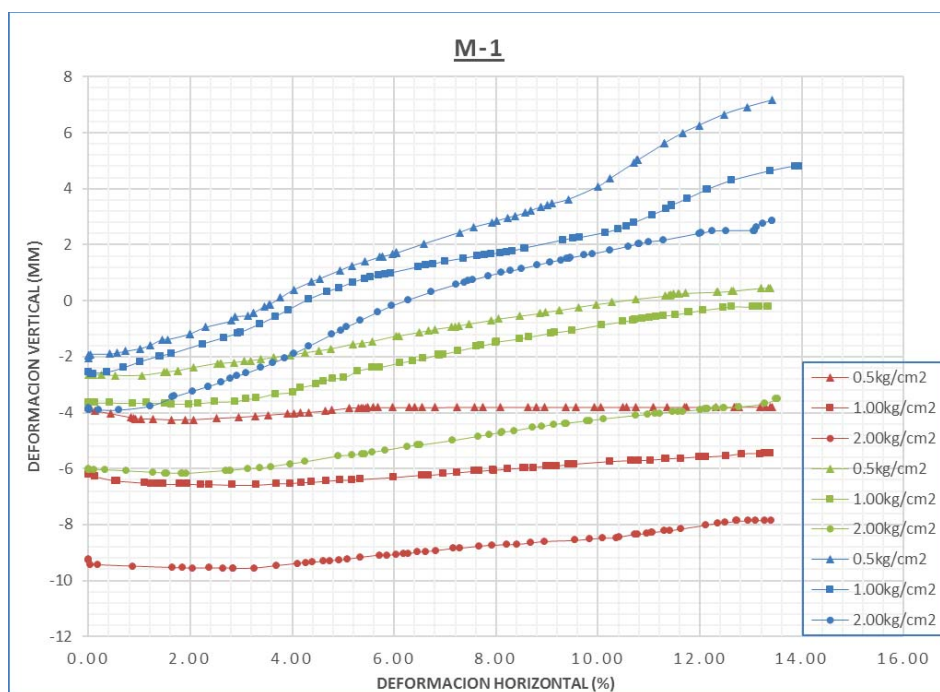


Figura 90 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Tipón ensayado en estados de compactación relativa a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

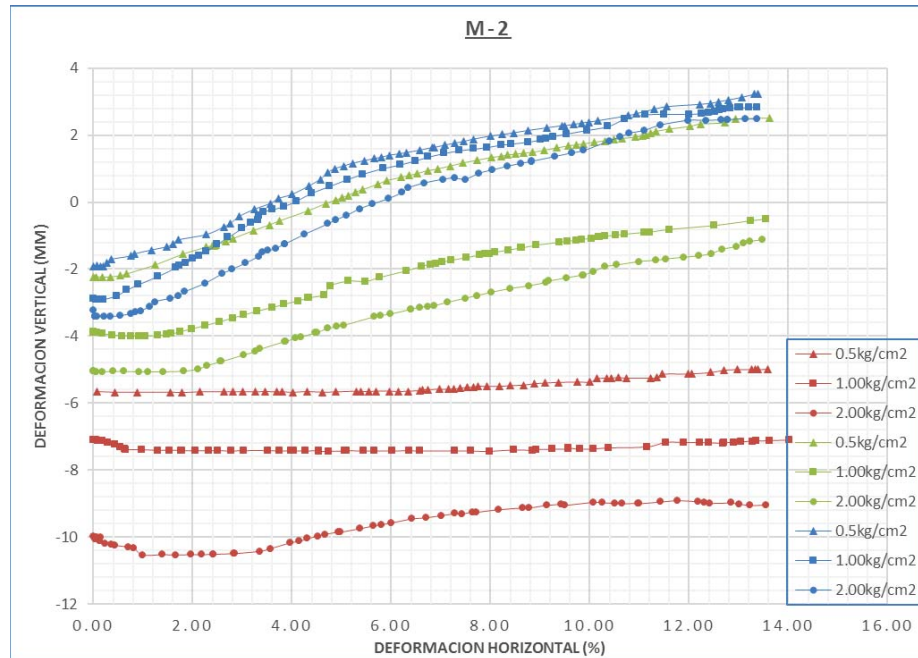


Figura 91 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Larapa ensayado en estados de compactación a) muy suelta, b) medio, c) muy denso.

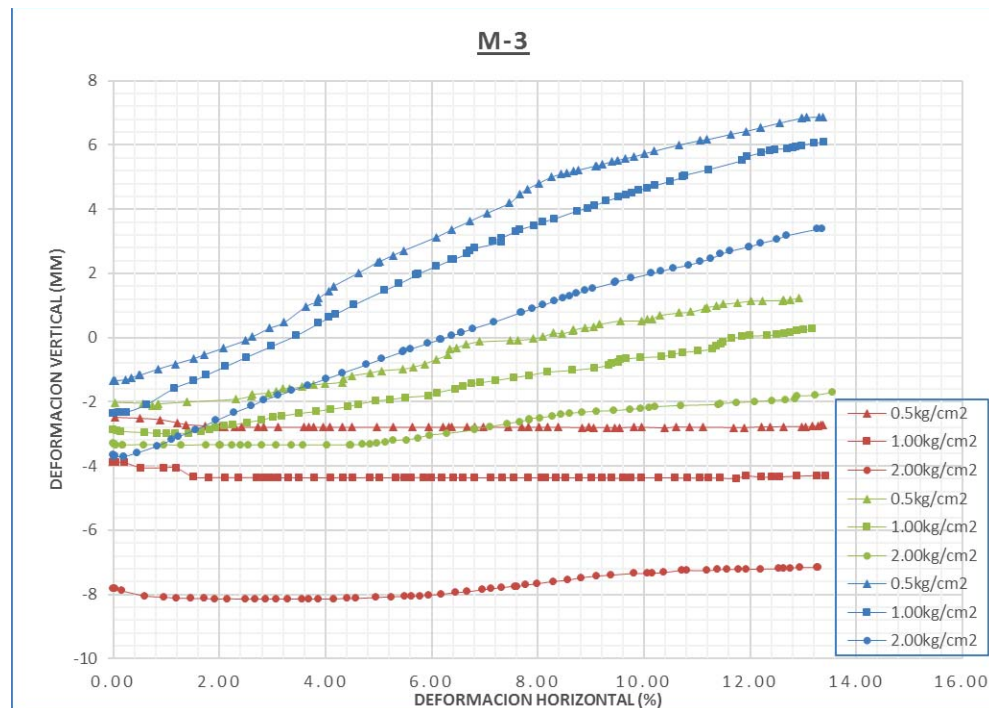


Figura 92 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Huambutio ensayado en estados de compactación a) muy suelta, b) medio, c) muy denso.

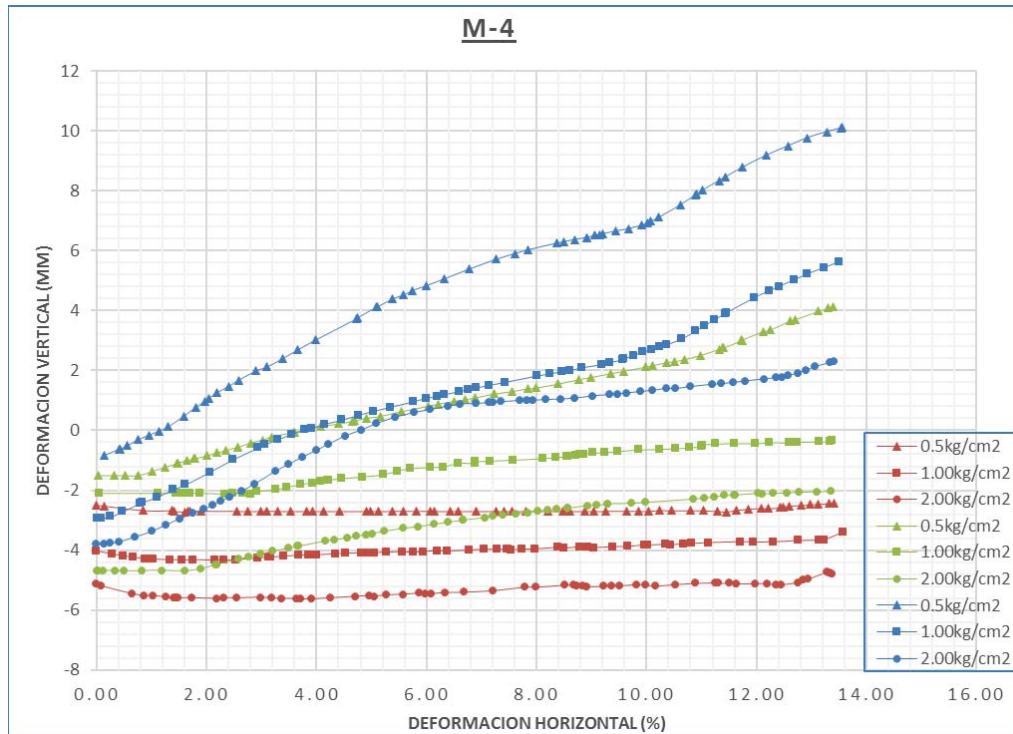


Figura 93 Graficas de asentamiento vs deformación horizontal de la muestra de Collana ensayado en estados de compactación a) muy suelto, b) medio, c) muy denso.

6.1.5. VARIACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE

En la tabla 16, se muestra la variación de los parámetros de la resistencia cortante c y ϕ de los suelos gravosos ensayados en el equipo diseñado e implementado en presente trabajo de investigación.

La muestra M-1, procedente de la cantera de Tipon con forma de partículas angulosos, clasificado como suelo gravoso GP, con contenido de humedad 0.42% ensayados con densidad seca de 1.60, 1.71 y 1.91 gr/cm³ correspondientes a estado de compactación muy suelto, medio y muy denso respectivamente muestra una variación de 0.06 kg/cm² y 0.25 kg/cm² del valor de cohesión aparente para ensayos de los especímenes conformados en estado de densidad relativa muy suelto a medio y de medio a muy denso respectivamente. Mientras que el valor del ángulo de fricción interna muestra una variación de 5.6° y 6.7° para ensayos de los especímenes conformados en estados de densidad relativa muy suelto a medio y de medio a muy denso respectivamente.

La muestra M-2, procedente de la cantera de Larapa con forma de partículas Sub-angulosos, clasificado como suelo gravoso GM, con contenido de humedad 2.36 % ensayados con densidad seca de 1.87, 1.98 y 2.20 gr/cm³ correspondientes a estado de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso respectivamente muestra una variación de 0.16 kg/cm² y 0.09 kg/cm² del valor de cohesión aparente para ensayos de los especímenes conformados en estado de densidad relativa muy suelto a medio y de medio a muy denso respectivamente. Mientras que el valor del ángulo de fricción interna muestra una variación de 4.3° y 2.9° para ensayos de los especímenes conformados en estados de densidad relativa muy suelto a medio y de medio a muy denso respectivamente.

La muestra M-3, procedente de la cantera de Huambutio con forma de partículas Redondeado, clasificado como suelo gravoso GW, con contenido de humedad 0.30% ensayados con densidad seca de 1.97, 2.12 y 2.30 gr/cm³ correspondientes a estado de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso respectivamente muestra una variación de 0.08 kg/cm² y 0.16 kg/cm² del valor de cohesión aparente para ensayos de los especímenes conformados en estado de densidad relativa muy suelto a medio y de medio a muy denso respectivamente. Mientras que el valor del ángulo de fricción interna muestra una variación de 3.2° y 5.7° para ensayos de los especímenes conformados en estados de densidad relativa muy suelto a medio y de medio a muy denso respectivamente.

La muestra M-4, procedente de la cantera de Collana con forma de partículas Redondeado, clasificado como suelo gravoso GW, con contenido de humedad 0.55% ensayados con densidad seca de 1.90, 2.00 y 2.18 gr/cm³ correspondientes a estado de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso respectivamente muestra una variación de -0.01 kg/cm² y 0.19 kg/cm² del valor de cohesión aparente para ensayos de los especímenes conformados en estado de densidad relativa muy suelto a medio y de medio a muy denso respectivamente. Mientras que el valor del ángulo de fricción interna muestra una variación de 4.4° y 5.3° para ensayos de los especímenes conformados en estados de densidad relativa muy suelto a medio y de medio a muy denso respectivamente.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

Tabla 16 Variación de los parámetros de resistencia cortante para las muestras M-1, M-2, M-3 Y M-4 ensayados en estados de densidad relativa muy suelto, medio y muy denso.

Muestra	Forma de Partículas	SUCS	Humedad (%)	Finos (%)	Densidad Relativa	Densidad seca (gr/cm3)	σ_n (kg/cm2)	τ_{max} (kg/cm2)	C (kg/cm2)	ϕ (°)
M-1	Anguloso	GP	0.42	4.50	Muy Suelto	1.60	0.5	0.71	0.35	36.3
							1.00	1.11		
							2.00	1.82		
					Medio	1.71	0.50	0.80	0.41	41.9
							1.00	1.41		
							2.00	2.18		
					Muy Denso	1.91	0.50	1.24	0.66	48.6
							1.00	1.80		
							2.00	2.95		
M-2	Sub Anguloso	GM	2.36	13.22	Muy Suelto	1.87	0.5	0.54	0.20	35.2
							1.00	0.94		
							2.00	1.62		
					Medio	1.98	0.50	0.73	0.36	39.5
							1.00	1.25		
							2.00	1.99		
					Muy Denso	2.20	0.50	0.90	0.45	42.4
							1.00	1.38		
							2.00	2.28		
M-3	Redondeado	GW	0.30	4.80	Muy Suelto	1.97	0.5	0.82	0.37	41.6
							1.00	1.26		
							2.00	2.16		
					Medio	2.12	0.50	0.98	0.45	44.8
							1.00	1.38		
							2.00	2.45		
					Muy Denso	2.30	0.50	1.22	0.61	50.5
							1.00	1.82		
							2.00	3.04		
M-4	Sub Redondeado	GW	0.55	3.60	Muy Suelto	1.90	0.5	0.84	0.38	42.7
							1.00	1.29		
							2.00	2.22		
					Medio	2.00	0.50	0.94	0.37	47.1
							1.00	1.40		
							2.00	2.54		
					Muy Denso	2.18	0.50	1.30	0.56	52.4
							1.00	1.80		
							2.00	3.19		

Fuente: Elaboración propia

6.2. DISCUSION DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos en el programa de investigación, se observa que la cohesión aparente de las muestras extraídas de las diferentes canteras aumenta de 0.35 a 0.66 kg/cm³ para muestra M-1, de 0.20 a 0.45 para muestra M-2, de 0.37 a 0.61 para muestra M-3 y 0.38 a 0.56 para la muestra M-4. A medida que se incrementa la densidad del material. Este incremento posiblemente refleja la influencia de los factores como: la rigidez inicial del material compactado, rotura de partículas entre otros. Edil y Benson (2007) en sus ensayos de corte directo a gran escala, interpretaron que la cohesión aparente del material representa la fricción en la caja de corte y la no linealidad del aparato cerca del origen. En este caso, para el equipo diseñado e implementado en este proyecto de investigación la fricción entre las cajas de corte es cero, sin embargo, la no linealidad del aparato cerca del origen y la rigidez inicial del material conformado, factores no controlados, posiblemente influyen en el incremento de la cohesión aparente.

Por otro lado, el ángulo de fricción varía de 36.3° a 48.6° para la muestra M-1, de 35.2° a 42.4° para la muestra M-2, de 41.6° a 50.5° para la muestra M-3, de 42.7° a 52.4° para la muestra M-4, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación y la literatura técnica, es influenciado por la compacidad del material, forma de partícula, por la distribución granulométrica.

En la muestra M-1 cuyas formas de partículas es anguloso presenta mayor variación del ángulo de fricción interna con la variación de la compacidad relativa del espécimen variando de 36.3° a 48.6°. Holubec y D`Appolonia (1973, citado por Basurto Ravichagua, 2010) realizó pruebas de corte directo sobre 17 agregados en tamaño de partículas que iban desde gravas gruesas hasta arenas finas, reportando que el incremento en la angularidad o en la rugosidad de la superficie, generalmente produce un peso específico bajo para la misma energía de compactación, pero la resistencia aun así aumenta. En consecuencia, el valor alto en la variación del ángulo de fricción del material tipo GP, que se obtiene con el equipo de Corte Directo diseñado e implementado, ha sido influenciado por el estado de compacidad relativa del material y la forma de las partículas (angulosas).

El valor de ángulo de fricción interna para especímenes ensayados en los tres estados de compacidad relativa en la muestra M-3 con forma de partícula redondeado es menor que la muestra M-4 con forma de partícula sub redondeado, ambos con clasificación SUCS como grava bien graduado (GW). Norris (1977; citado por Basurto Ravichagua, 2010) demostró que la resistencia al corte disminuye de manera importante con el incremento de redondez, el mismo concepto fue demostrado por Frossard (Selig y Roner 1987).

Los resultados obtenidos para la muestra M-4 procedente de la cantera de Collana con clasificación SUCS grava bien graduado (GW), muestra el valor del ángulo de fricción interna relativamente alto (52.4°) con una cohesión de 0.56 kg/cm^2 . Marsal (1965) ensayó materiales de enrocamiento de presas con un tamaño máximo de partículas de 20 cm utilizando una gran celda triaxial de alta presión, reportando que la resistencia al corte se incrementa cuando la granulometría se amplía (materiales bien graduadas), Marachi et.al. (1972, citados por Selig y Roner, 1987) llegó a la misma conclusión después de hacer ensayos con energías de compactación similares, Chen (1948, citado por Basurto Ravichagua, 2010) en pruebas triaxiales encontró que el incremento en el coeficiente de uniformidad aumenta la resistencia al corte, tal como se verifica con los valores reportados por diferentes investigadores (Tabla 19 y 20), certificando la validez de los parámetros de resistencia cortante obtenidos con el equipo ensamblado en el laboratorio.

Con base en estas referencias se corrobora la consistencia de los parámetros de resistencia cortante obtenidos con el equipo diseñado e implementado en el presente trabajo de investigación.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

Tabla 17 *Parámetros de resistencia al corte determinados mediante ensayos de corte directo “In Situ”*

Ubicación	Clasificación SUCS	Angulo de Friccion (°)	Cohesion (kg/cm2)	Esfuerzos Normales Aplicados (kg/cm2)	Referencias
Banco de Vivienda Av. Emancipacion y Jr. Canada, Cercado de Lima.	GP	40	0.40	1.00, 2.00 Y 3.00	Estudio de Factibilidad Tecnico, Economico y Antiproyecto del Sistema de Transporte Rapido Masivo de Pasajeros en el Area Metropolitana Lima-Callao-Metro, Lima.
Benificencia de Lima Av. Abancay y Nicolas de Pierola, Cercado de Lima.	GP	37	0.60	1.00, 2.00 Y 3.00	Estudio de Factibilidad Tecnico, Economico y Antiproyecto del Sistema de Transporte Rapido Masivo de Pasajeros en el Area Metropolitana Lima-Callao-Metro, Lima.
Malecon de la Marina, en los acantilados de la costa verde, Miraflores	GP	39.9	0.55	0.50, 1.00 Y 1.50	Estabilidad de Taludes de la Costa Verde, Hidroenergia Consultores en Ingenieria.
Intercambio Vial, Cruce Av. Universitaria y Av. Venezuela, Cercado de Lima	GM	34	0.15	1.13, 2.18 Y 3.32	Intercambio Vial Av. Universitaria-Av. Venezuela, Alpha Consult.
Centro Empresarial San Isidro, Cruce Av. Republica de Panama y Calles Miguel Seminario y San Cristobal, San Isidro.	GP	43.5	0.27	0.50, 1.00 Y 1.50	Proyecto Estudio de Mecanica de Suelos con fines de Cimentacion del Centro Empresarial San Isidro.
Carretera Central Km. 14.8, Ate Vitarte, Lima.	(*)	48.5	0.50	1.00, 2.00 Y 4.00	Estabilidad de Talud Cantera-La Gloria, Cia Minera la Gloria S.A.

(*) No identificado el tipo de material de acuerdo a la clasificacion SUCS en el informe Geotecnico, posiblemente se trata de un material GW-GM de acuerdo al registro fotografico del material.

Fuente: Basurto Ravichagua, 2010

Tabla 18 *valores de ángulo de rozamiento interno en suelos granulares (Hough 1957, citado por Basurto Ravichagua).*

Tipo de Suelo	Angulo de rozamiento interno en funcion de la densidad inicial(*)		
	Suelto	Medianamente denso	Denso
Limo no plastico	26 a 30	28 a 32	30 a 34
Arena uniforme fina a media	26 a 30	30 a 34	32 a 36
Arena bien gradada	30 a 34	34 a 40	38 a 46
Mezclas de arena y grava	32 a 36	36 a 42	40 a 48

(*) Hough (1957) sugiere emplear los valores mas bajos de cada rango para los suelos redondeados o para aquellos que poseen particulas debiles (micas, esquistos), los mas elevados para suelos con particulas angulosas y resistentes.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

Tabla 19 Variación del ángulo de fricción en gravas con diferentes pruebas desarrollados en varios países.

SUELO	ANGULO DE FRICCION INTERNA EN GRADOS (ϕ)			REFERENCIA	TIPO DE PRUEBA
	>70%	50%-70%	<50%		
Densidad Relativa (D_r)	>70%	50%-70%	<50%		
Grava Bien Graduada (GW)	50°	-	-	Bishop-1948-Inglaterra	-
(GP o SP) Redondeada Uniforme	46°	34°	-	Whitney y Colaboradores-1957	-
	35°	28°	-		
Mezcla (SW y GW)	40°-45°	36°-41°	33°-36°	Sherd y Colaboradores-1963-EEU	-
Mezcla (SP y GP)	37°-45°	33°-36°	30°-33°		
Gravas	45°	37°	-	Cuyas-1977-78-URSS	TRIAXIAL(Laboratorio) d=0.75m, h=1.50m
Conglomerado Silificado de Infiernillo	34°-47°	-	35.5°	Masal- Pensendiz-1979-Mexico	TRIAXIAL(Laboratorio) d=1.13m, h=2.50m
Conglomerado y Arena de Malpaso	37°-52°	37°	-		
Grava Pinzonderan y Arena de Angustura	38°-55°	-	34°		
Macro Clastico no Cementado, Boleos, Guijarros, Gravas y Cantos	45°	-	30°	Paniukov-1981-URSS	-
Grava Arenosa	50°	-	35°	Peck y Colaboradores-1962-EEU	-
Gravas del Conglomerado de Lima-Peru (forma subredondeadas)	40°	37°	-	FIC-UNI-Humala-1982-Lima-Peru	CORTE DIRECTO (In-Situ)
Gravas Típicas de Santiago-Chile	44°	-	-	Monsante H., Ortigosa P., Valencia U. 1987-Chile R. Verdugo y K. De la Hoz (2006)	TRIAXIAL(In -Situ) d=0.85m, h=1.70m
Gravas de Lima-Campus UNMS-Peru (Formas subredondeadas)	-	-	34°	FIC-UNI-Humala-1996	CORTE DIRECTO (In-Situ)
Gravas de Lima, Miraflores-Lima-Peru (forma subredondeadas)	-	40°	-	CISMID-FIC-UNI-1997	CORTE DIRECTO (In-Situ)

Tabla Elaborado por A.Martínez V.-1997, en su Investigación de gravas.

Fuente: a. Martínez, 1997.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

Tabla 20 Resultados de los ensayos de Corte Directo a Gran Escala desarrollado en CISMID -UNI.

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	w (%)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	σ_n (kg/cm ²)	$\tau_{\text{máx.}}$ (kg/cm ²)	c (kg/cm ²)	Φ (°)
M-1a	GP	0.00	2.15	0.50 1.00 2.00	0.8 1.24 2.15	0.34	41.9
M-1b	GP	0.00	2.20	0.50 1.00 2.00	1.18 1.58 2.5	0.63	43.5
M-2	GW - GM	2.50	1.97	0.50 1.00 2.00	0.87 1.43 2.68	0.27	50.0
M-3	GC	5.40	2.30	0.50 1.00 2.00	0.89 1.15 2.08	0.30	42.0
M-4	GP-GM	1.60	1.98	0.50 1.00 2.00	0.56 1.1 1.98	0.13	43.0

Fuente: Basurto Ravichagua, 2010

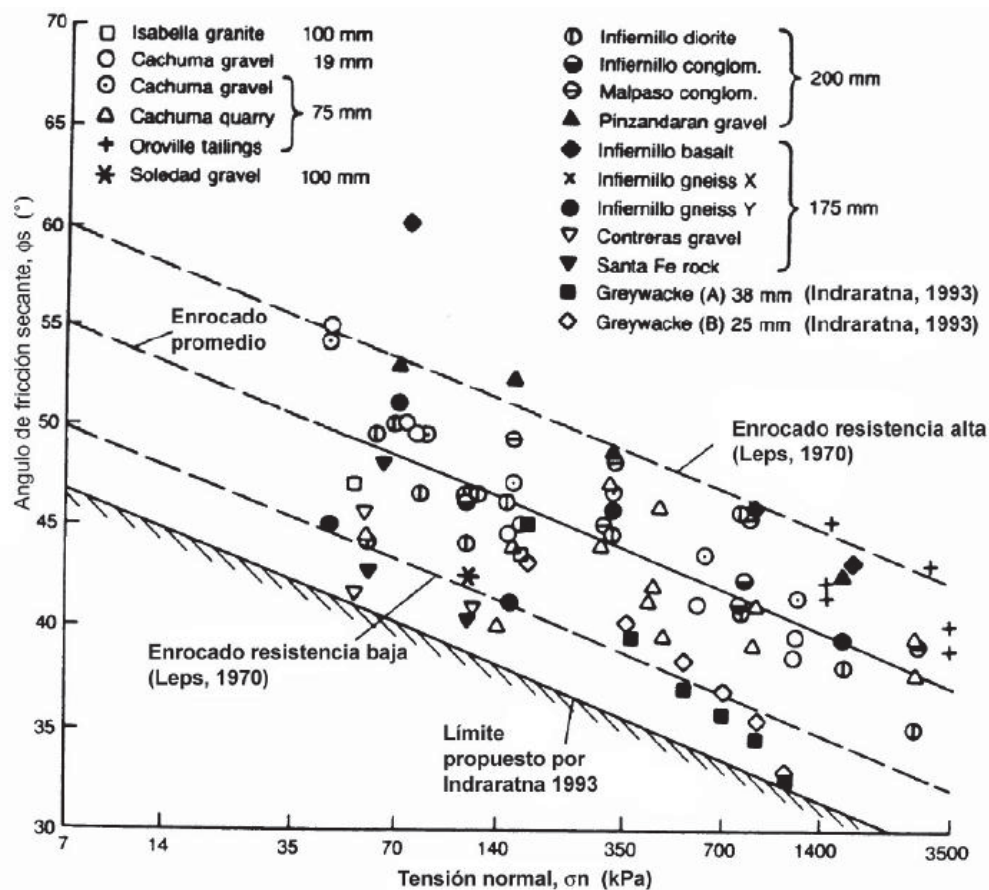


Figura 94 Recopilación de resultados de ángulo de fricción interna de ensayos de diversos estudios. (Indraratna, 1993).

Por otro lado, la muestra M-1 y M-2 ensayados en un estado medianamente denso presenta valores ángulo de fricción interna de 41.9° y 39.5° respectivamente, ambas muestras con un tamaño máximo de $1\frac{1}{2}$ ", con formas de partículas angulosos y sub angulosos. Las referencias bibliográficas mencionan que, para suelos gravosos en estado medianamente denso el valor del ángulo de fricción puede ser de hasta 41° (ver tabla 19). Hough (1957) también hace referencia para suelos gravosos en estado medianamente densos y propone emplear valores de 36° a 42° (tabla 18). El resultado obtenido con el equipo de corte directo diseñado e implementado para la muestra M-1 y M-2 muestran valores de 41.9° y 39.5° , verificándose la tendencia del resultado con valores reportados en la literatura técnica.

Hough (1957; citado por Basurto Ravichagua, 2010) sugiere emplear valores del ángulo de fricción, para mezclas de arena y grava en estados densos, de 40° a 48° (tabla 18). El resultado obtenido con el equipo de corte directo diseñado e implementado se obtiene valores en intervalo de 41° a 49° aproximadamente para todas las muestras ensayados en estados de densidad relativa denso ya que para estados de densidad relativa muy denso varia en el intervalo de 42.4° a 52.4° (tabla 16), verificándose la tendencia del resultado con valores reportados en la literatura técnica.

Bishop (1948) reportó el valor del ángulo de fricción interna de 50° para suelo gravoso (GW) conformado con densidad relativa mayor a 70% (tabla 19). El resultado obtenido en el presente trabajo de investigación para las muestras M-3 y M-4 suelos gravosos clasificados como (GW) conformados en estados de densidad relativa mayor a 70% se obtiene valores de 50.5° y 52.4° respectivamente, verificándose la tendencia del resultado con valores reportados en la literatura técnica.

Peck y Colaboradores (1962) reportó el valor del ángulo de fricción interna de 50° para grava arenosa conformado con densidad relativa mayor a 70% (tabla 19). El resultado obtenido en el presente trabajo de investigación para las muestras M-3 grava arenosa procedente de la cantera de Huambutio conformado en estado de densidad relativa mayor a 70% se obtiene valores de 50.5° , verificándose la tendencia del resultado con valores reportados en la literatura técnica.

Basurto Ravichagua (2010) muestra los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo a gran escala (tabla 20) realizados en el laboratorio de CISMID-UNI y los valores de los parámetros de resistencia al corte determinados mediante ensayos de corte directo “In Situ” (tabla 17) realizados en diferentes lugares de Lima-Perú. Dichos resultados muestran una tendencia con los valores obtenidos del ángulo de fricción interna en las cuatro muestras ensayadas en diferentes estados de compacidad relativa en el presente trabajo de investigación.

Asimismo, las muestras ensayadas en el presente trabajo de investigación fueron sometidos a esfuerzos normales de 0.5 kg/cm² a 2.00 kg/cm² (49 kPa a 196 kPa) y teniendo en cuenta la figura 94, los valores del ángulo de fricción interna pueden llegar aproximadamente hasta 54°. Los resultados obtenidos en las cuatro muestras ensayadas en estados de compacidad relativa muy suelto, medio y muy denso cada una presentan valores del ángulo de fricción interna menores a 54°, verificándose la tendencia del resultado con valores reportados en la literatura técnica.

Finalmente, los resultados obtenidos con el equipo diseñado e implementado para el programa de investigación son coherentes con los resultados en la literatura técnica para este tipo de material, lo cual da confiabilidad del equipo ensamblado y consistencia de los parámetros de resistencia cortante obtenidos para suelos gravosos.

CONCLUSIONES

- El equipo de corte directo diseñado e implementado a gran escala nos permite determinar los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos de hasta 1.5 pulgadas (38.1mm) de tamaño máximo de esta manera se puede incluir partículas de mayor tamaño en el ensayo que represente con mayor aproximación el comportamiento de los suelos gravosos.
- La conformación de la muestra depende principalmente de las propiedades físicas requeridas del material. Para el presente proyecto de investigación los ensayos se realizaron en estados de compacidad relativa: muy suelto, medio y muy denso.
- Las especificaciones que se deben tener en cuenta para realizar el ensayo de corte directo a mayor escala se muestran en el Capítulo IV, ensayo de corte directo para suelos gravosos lo cual es una adaptación de la norma ASTM-D3080, que señala como realizar un ensayo de corte directo.
- Los valores del ángulo de fricción interna ϕ para las cuatro muestras ensayadas varían en promedio de 4.4° y 5.2°, para compacidad relativa muy suelto a medio y medio a muy denso respectivamente.
- La muestra M-1, con partículas de forma angular ensayada con densidad relativa muy denso presenta el valor de cohesión aparente más alto y al mismo tiempo presenta la mayor variación del ángulo de fricción interna variando de 36.3° para compacidad muy suelto a 48.6° para compacidad muy denso.
- La muestra M-2, clasificado como GM según SUCS, con 13.22 % de finos, 33.13 % de arena, presenta el menor valor del ángulo de fricción interna " ϕ " de 35.2° para compacidad muy suelto. Además, presenta la menor variación del ángulo de fricción interna " ϕ "

variando de 35.2° para compacidad muy suelto a 42.4° en un estado de compacidad relativa muy denso.

- Los gráficos de esfuerzo de corte vs deformación horizontal muestran para los especímenes conformados con densidad relativa muy denso, picos de resistencia de corte bien definidos, mientras que, para las muestras sueltas, solo se presenta curvas crecientes.
- En el caso de la cohesión aparente, se observa que varía directamente proporcional al ángulo de fricción, es decir tiende a aumentar conforme se incrementa el valor del ángulo de fricción interna.
- En general para especímenes muy densos el esfuerzo de corte es alcanzado aproximadamente en deformación tangencial de 4%, mientras para especímenes de densidad relativa medio en 8% y para especímenes muy sueltos en un intervalo de 10.5% de deformación tangencial.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mayor investigación de los suelos gravosos con la implementación de los laboratorios de nuestro medio con equipos de mayor dimensión que los existentes.
- Se recomienda investigar la variación de los parámetros de resistencia cortante utilizando suelos gravosos con diferentes formas de partículas, pero de igual granulometría. De esta forma podría establecerse una proporción a partir del cual, se pueda determinar la influencia de la forma de las partículas en los parámetros de resistencia.
- Se recomienda realizar los ensayos de corte utilizando el anillo de polietileno diseñado sobre todo en muestra cuya forma de partículas es anguloso ya que este tipo de muestras al ser ensayado en un estado de densidad relativa muy densa presenta una fricción (al momento de producirse en fenómeno de la dilatancia) con la caja de corte superior lo cual podría influir en los resultados.
- Se sugiere realizar los ensayos de corte teniendo en cuentas el procedimiento mostrado en el capítulo IV, especificaciones que se deben tener en cuenta para realizar el ensayo de corte directo gravosos lo cual es una adaptación de la norma ASTM-D3080, que señala como realizar un ensayo de corte directo.
- Se recomienda por seguridad el uso de una pequeña grúa para el levantado del espécimen conformado en la caja de corte debido a que el conjunto pesa aproximadamente 60 kg. en el presente trabajo de investigación no se cuenta con una grúa.

ANEXOS

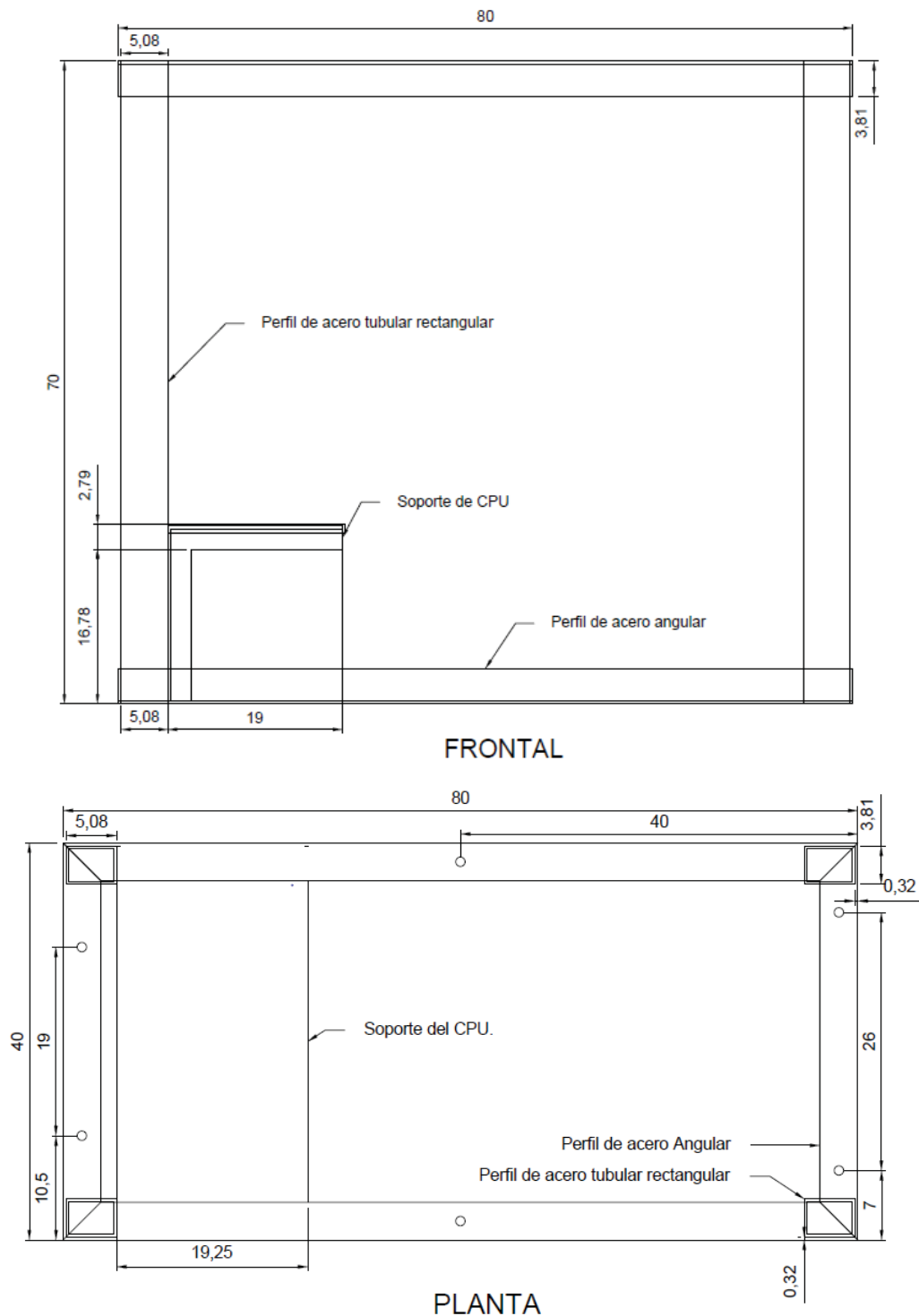
ANEXO A

DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

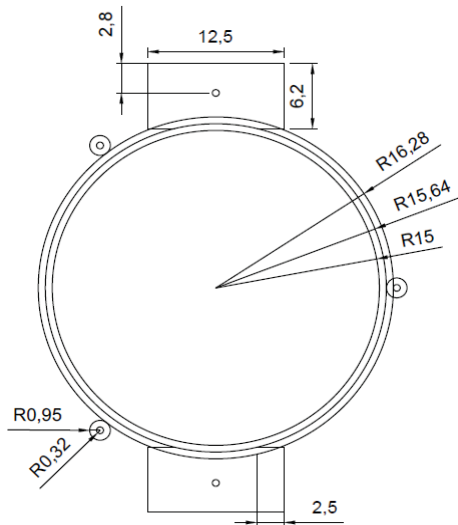
1. SOPORTE DE LA PLATAFORMA DE ACERO

La unidad de las dimensiones de todos los planos mostrados en el anexo está en centímetros.

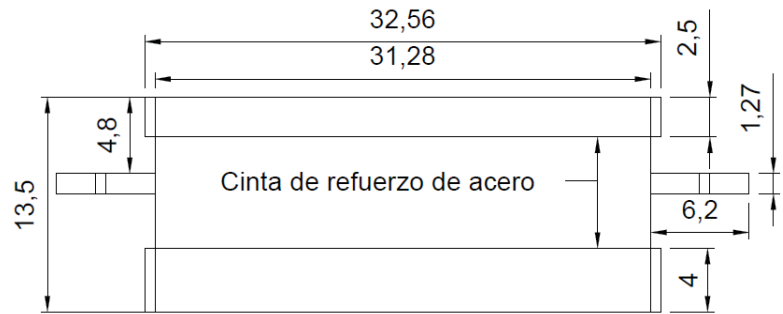


DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

2. CAJA DE CORTE SUPERIOR

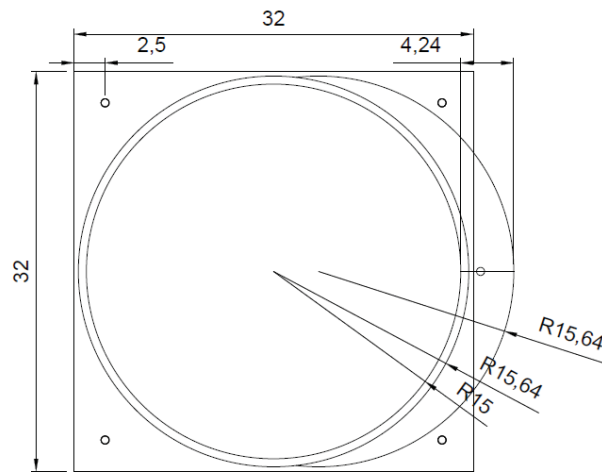


PLANTA

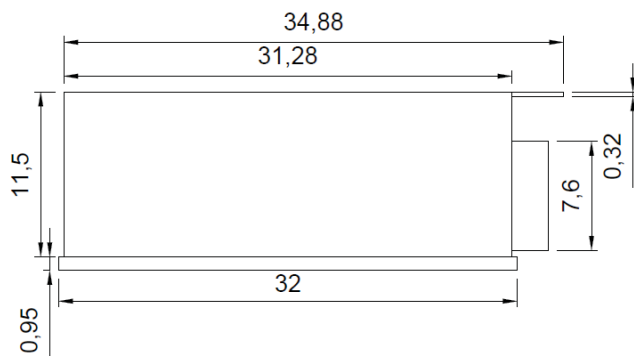


PERFIL

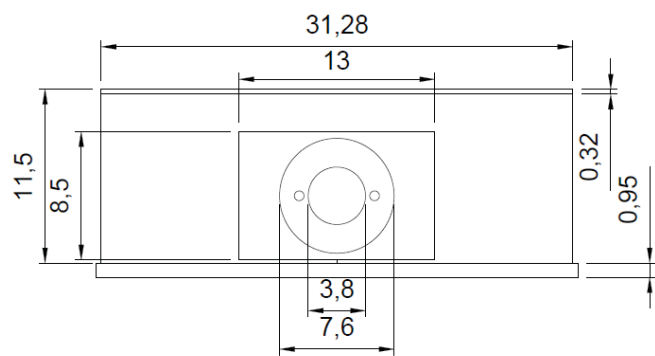
3. CAJA DE CORTE INFERIOR



PLANTA



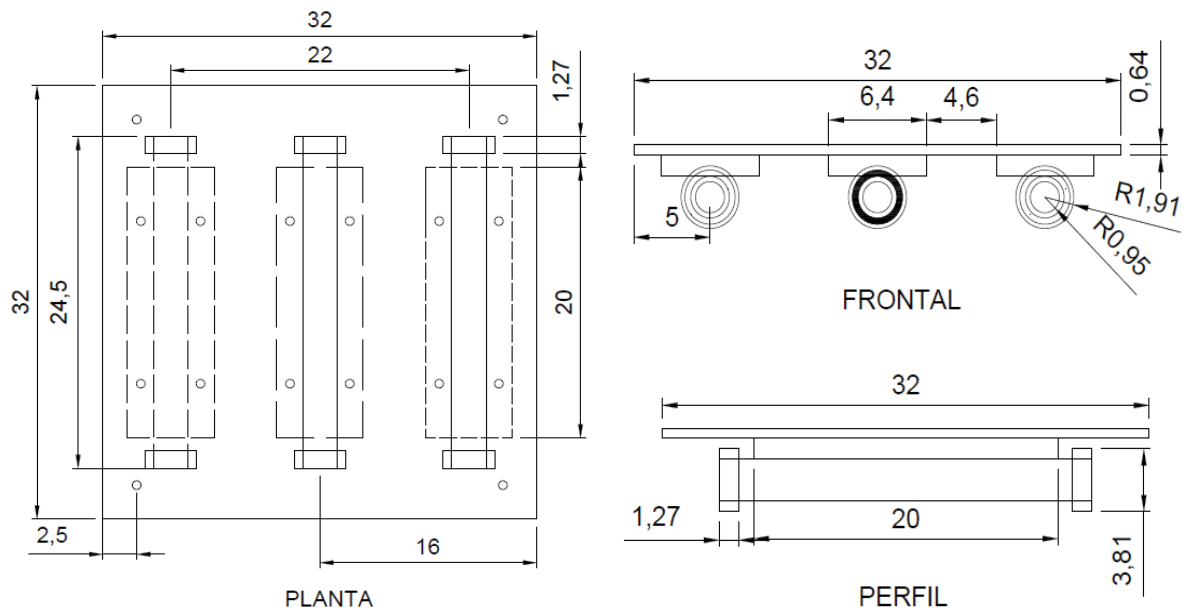
FRONTAL



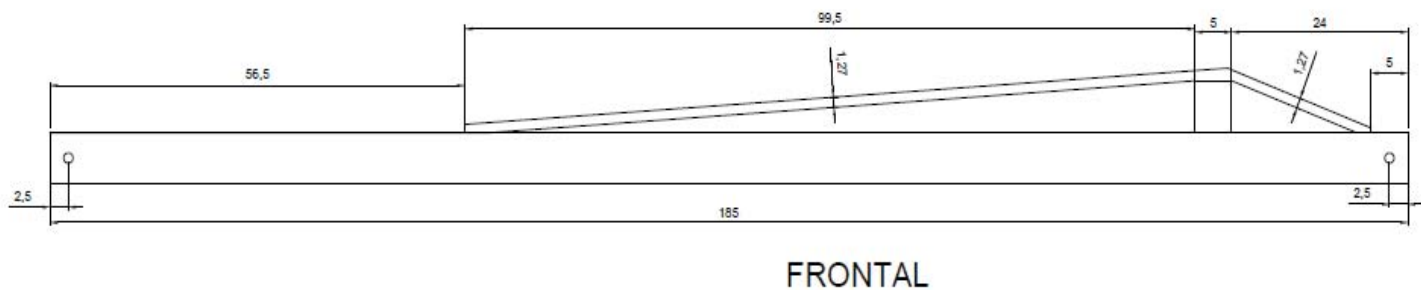
PERFIL

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

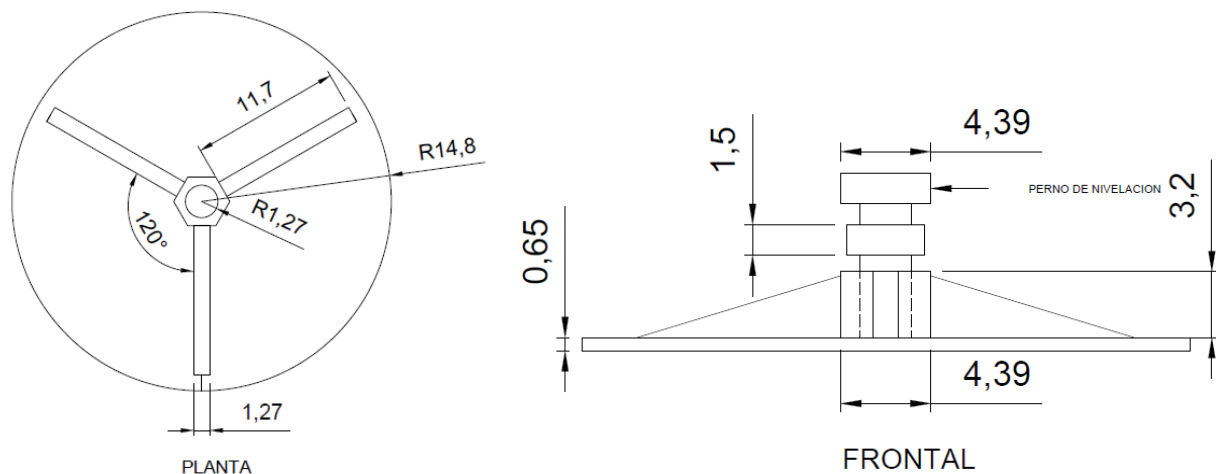
4. PLATAFORMA MOVIL



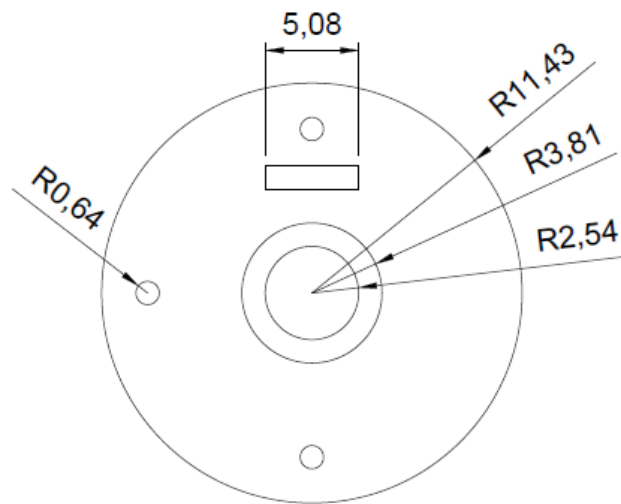
5. BRAZO DE PALANCA



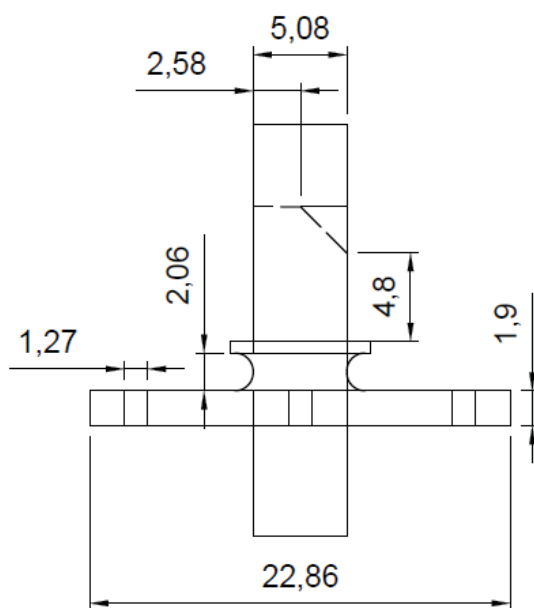
6. DISCO TRANSMISOR DE CARGA VERTICAL



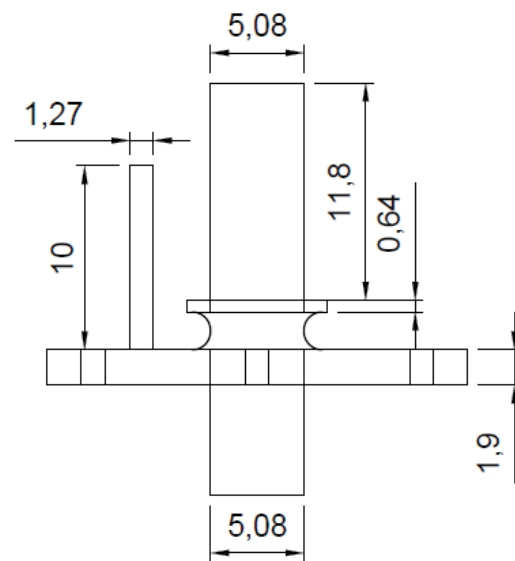
7. SOPORTE POSTERIOR



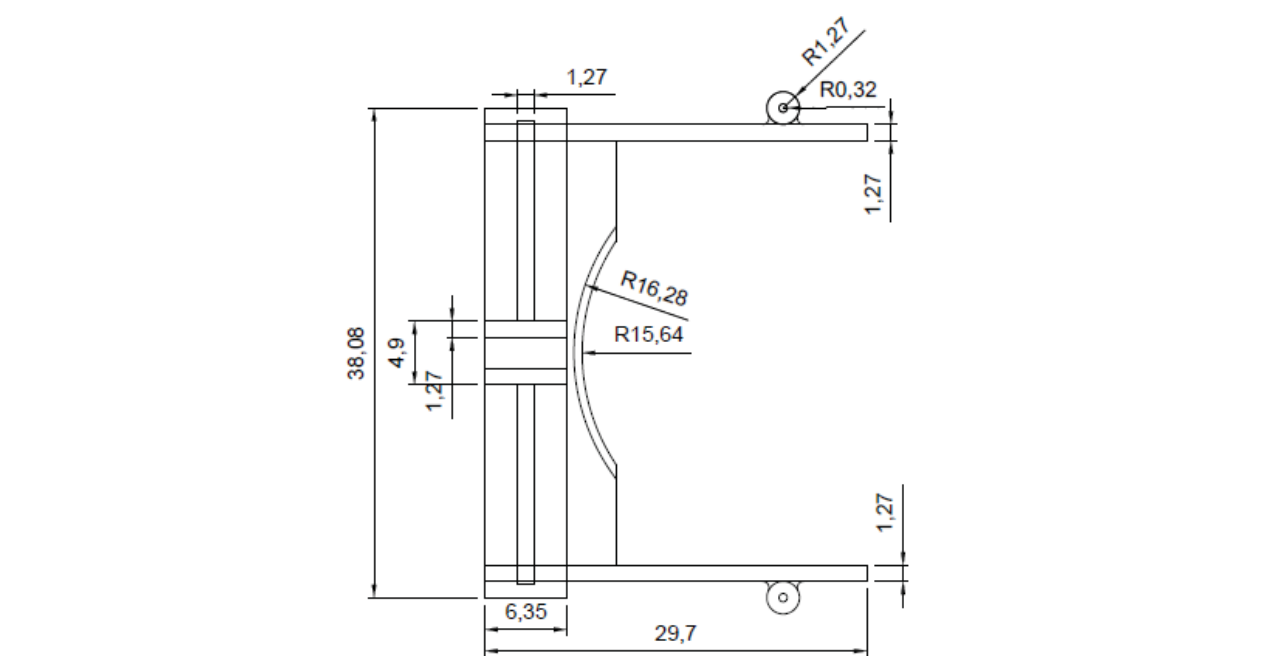
PLANTA



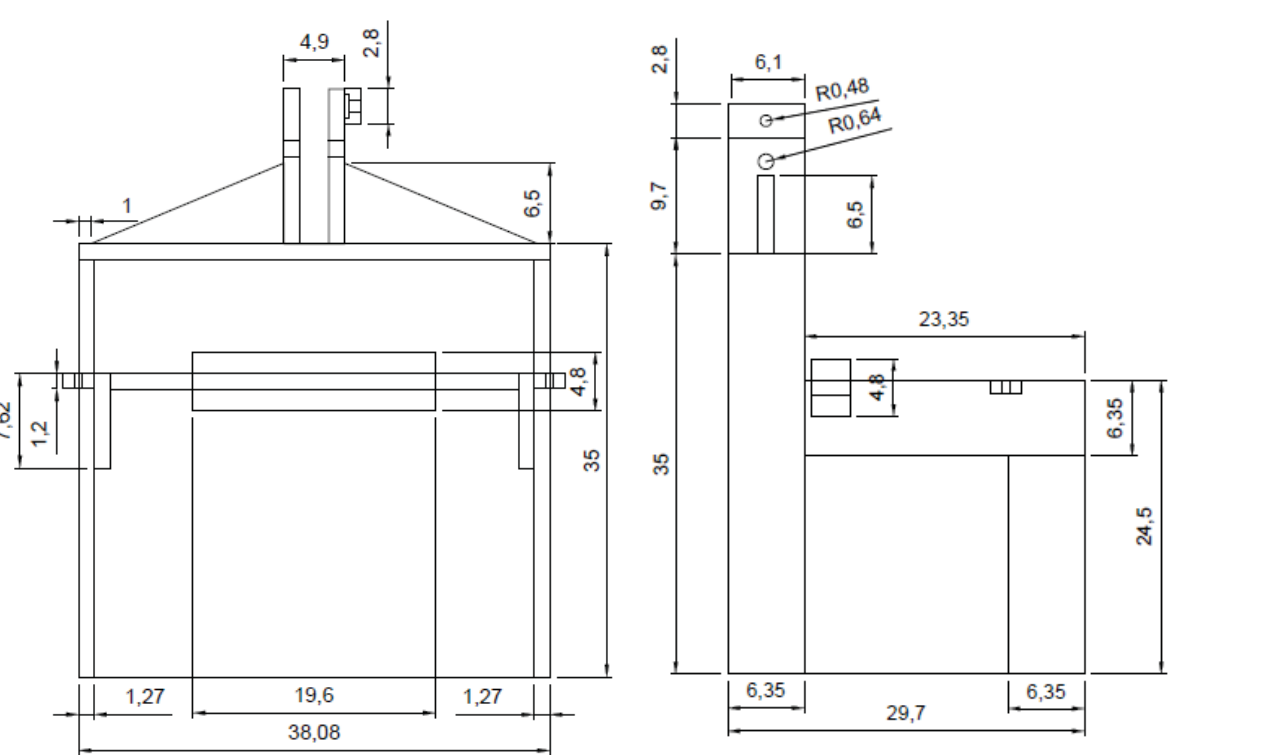
FRONTAL



PERFIL



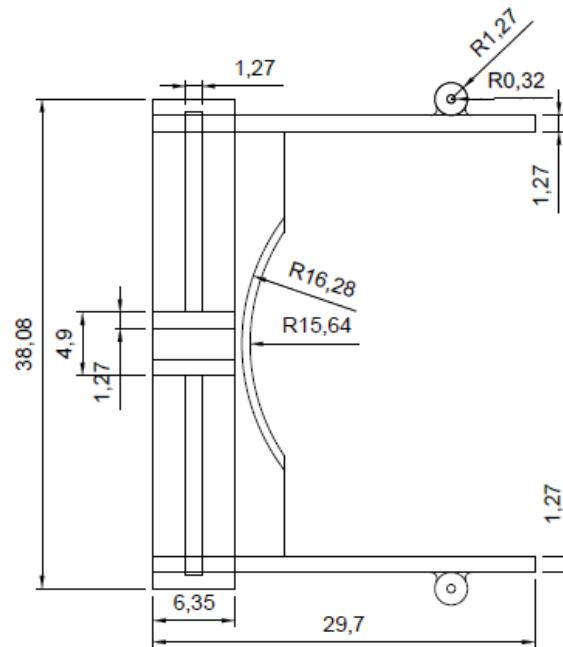
PLANTA



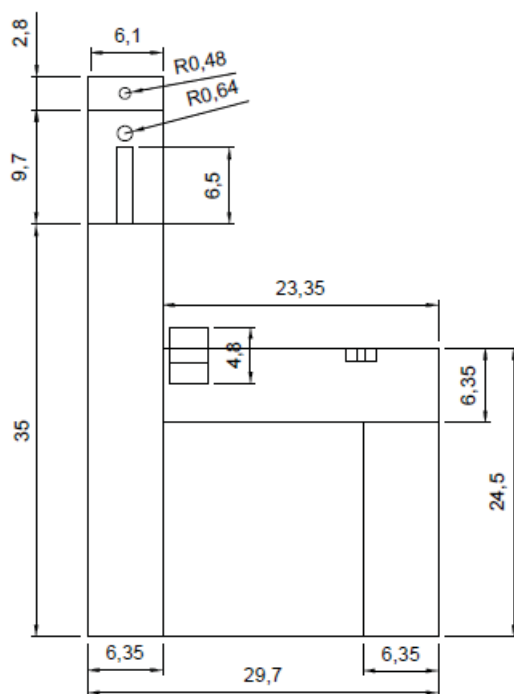
PERFIL FRONTAL

PERFIL FRONTAL

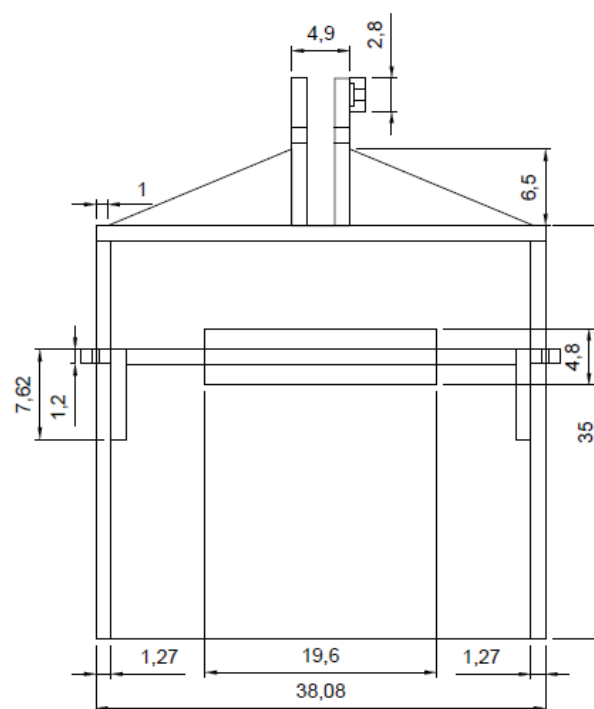
9. SOPORTE DE CAJA DE CORTE Y BRAZO DE PALANCA



PLANTA

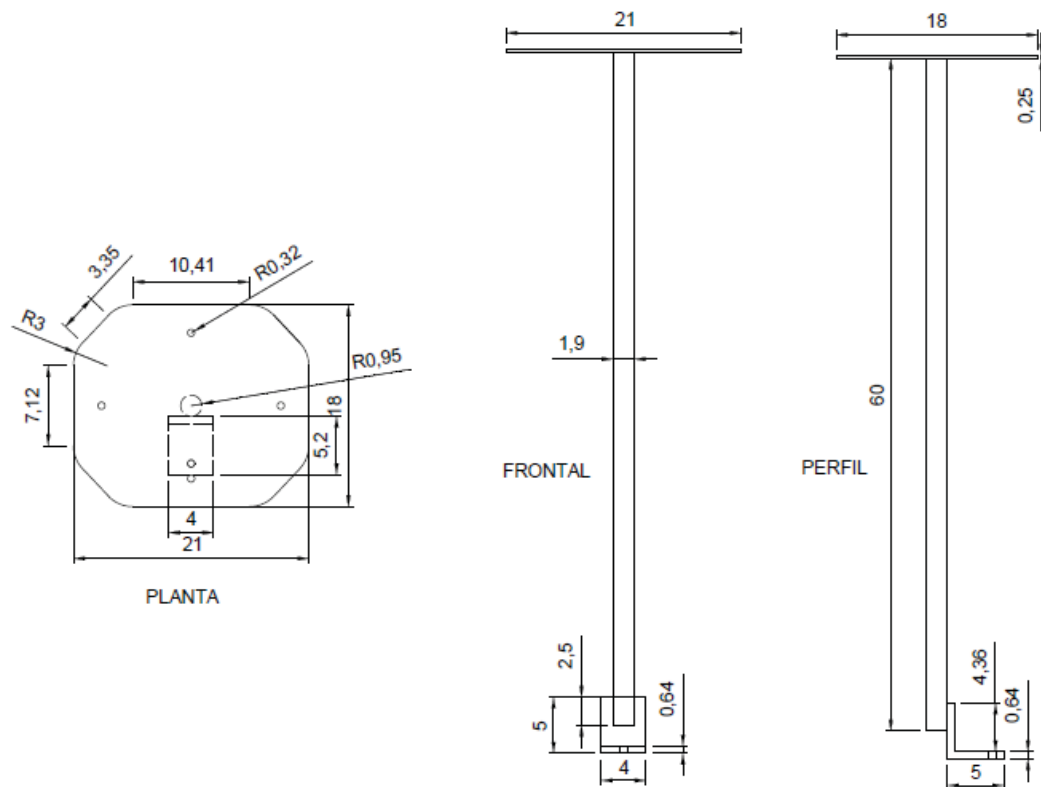


FRONTAL

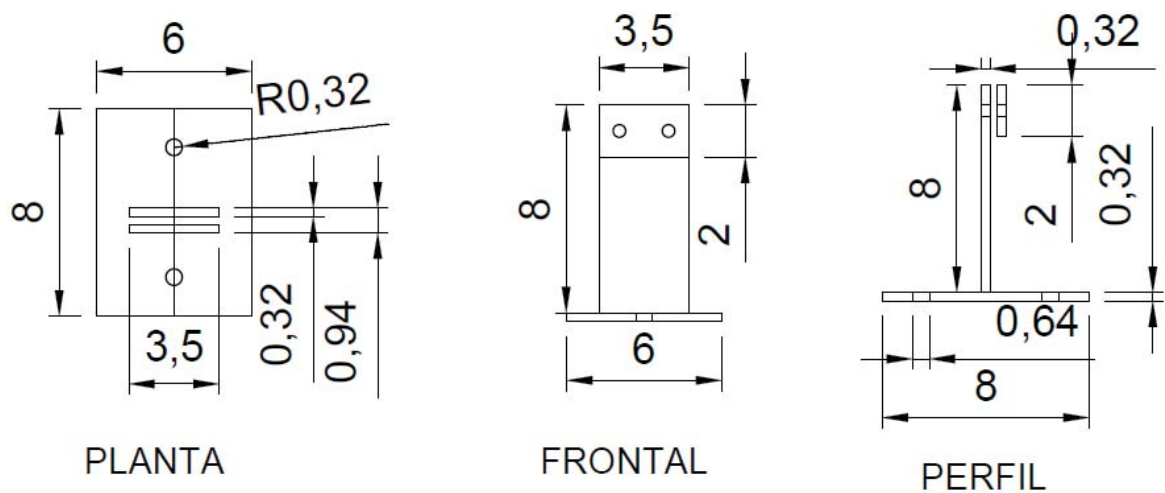


PERFIL

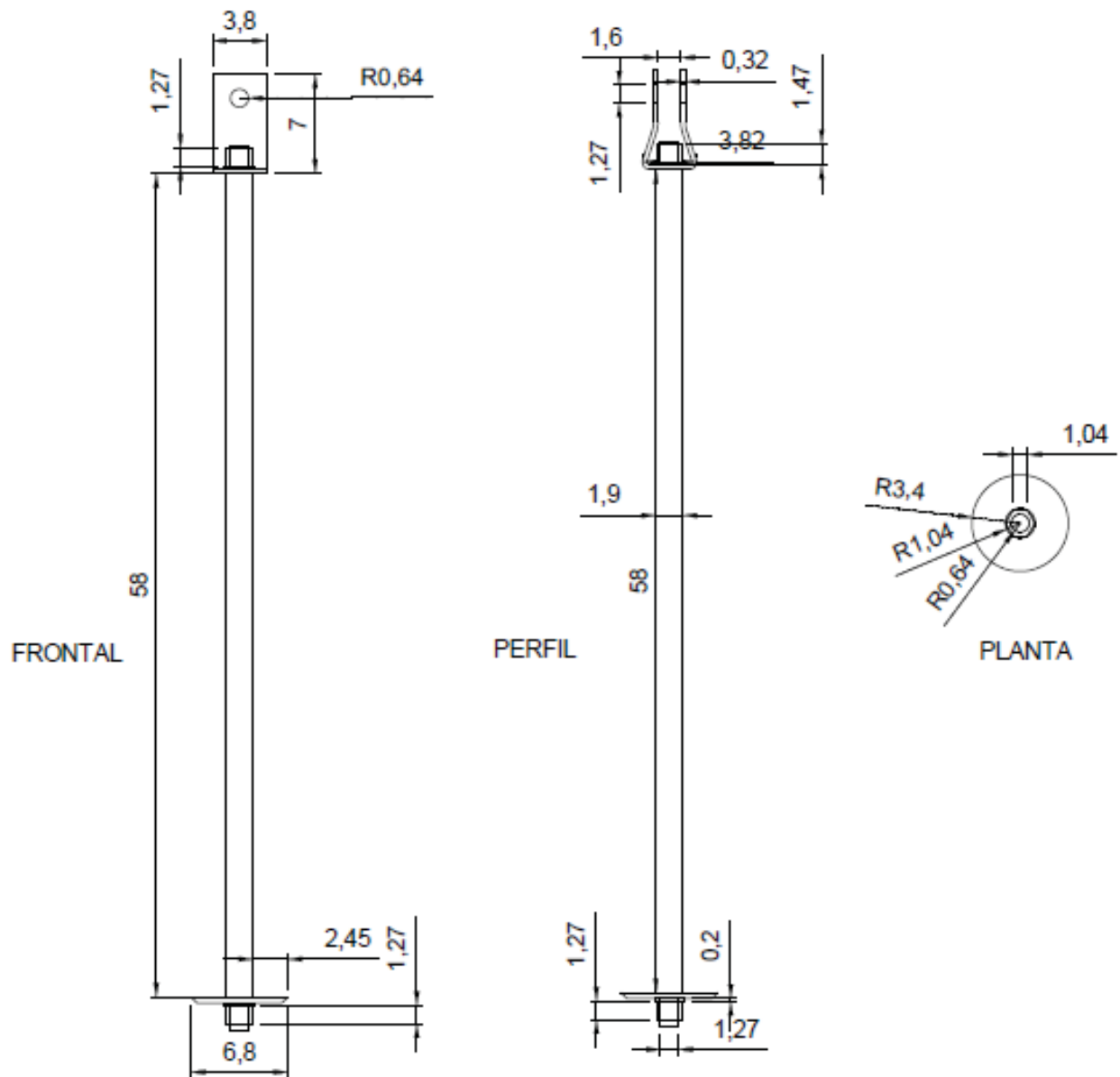
10. SOPORTE DEL MONITOR



11. SOPORTE DEL VERNIER DE MEDICION DE LA DEFORMACION HORIZONTAL



12. MENSULA PARA APLICAR FUERZA NORMAL



ANEXO B

HOJAS DE DETALLE DE LOS ENSAYOS DE CORTE

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Quispicanchi-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD	:0.42%				
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.62 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-3.82	15.9	273.98	5.30	0.39
20	-1.4	0	0.00	0.00	0.00	780	-3.82	16.09	275.48	5.36	0.39
40	-3.46	0	0.00	0.00	0.00	800	-3.82	16.2	287.55	5.40	0.41
60	-3.67	0	0.00	0.00	0.00	820	-3.82	16.35	290.35	5.45	0.41
80	-3.72	0	0.00	0.00	0.00	840	-3.81	16.42	297.55	5.47	0.42
100	-3.74	0	0.00	0.00	0.00	860	-3.81	16.75	290.35	5.58	0.41
120	-3.77	0	0.00	0.00	0.00	880	-3.81	17.02	292.93	5.67	0.41
140	-3.78	0	0.00	0.00	0.00	900	-3.81	17.92	303.72	5.97	0.43
160	-3.78	0	0.00	0.00	0.00	920	-3.81	18.87	313.92	6.29	0.44
180	-3.79	0	0.00	0.00	0.00	940	-3.81	19.19	317.76	6.40	0.45
200	-3.79	0	0.00	0.00	0.00	960	-3.81	19.65	340.82	6.55	0.48
220	-3.8	0	0.00	0.00	0.00	980	-3.81	20.42	362.92	6.81	0.51
240	-3.81	0	0.00	0.00	0.00	1000	-3.8	21.71	378.9	7.24	0.54
260	-3.81	0	0.00	0.00	0.00	1020	-3.8	22.76	401.85	7.59	0.57
280	-3.81	0	0.00	0.00	0.00	1040	-3.8	23.2	408.28	7.73	0.58
300	-3.81	0	0.00	0.00	0.00	1060	-3.8	24.24	438.24	8.08	0.62
320	-3.85	0.1	23.95	0.03	0.03	1080	-3.8	25.9	440.47	8.63	0.62
340	-3.93	0.41	43.06	0.14	0.06	1100	-3.8	26.35	425.74	8.78	0.60
360	-4.04	1.32	69.77	0.44	0.10	1120	-3.8	26.88	459.63	8.96	0.65
380	-4.18	2.49	93.40	0.83	0.13	1140	-3.8	28.11	470.57	9.37	0.67
400	-4.2	2.65	103.83	0.88	0.15	1160	-3.8	28.69	462.51	9.56	0.65
420	-4.22	2.78	106.08	0.93	0.15	1180	-3.8	29.76	463.77	9.92	0.66
440	-4.23	3.1	118.37	1.03	0.17	1200	-3.8	30.15	461.6	10.05	0.65
460	-4.24	3.83	130.95	1.28	0.19	1220	-3.8	31.44	453.33	10.48	0.64
480	-4.27	4.92	146.64	1.64	0.21	1240	-3.8	31.69	497.92	10.56	0.70
500	-4.26	5.7	156.35	1.90	0.22	1260	-3.8	32.23	502.89	10.74	0.71
520	-4.26	6.2	159.36	2.07	0.23	1280	-3.8	33.23	485.05	11.08	0.69
540	-4.21	7.54	190.82	2.51	0.27	1300	-3.8	34.05	495.9	11.35	0.70
560	-4.17	8.85	199.79	2.95	0.28	1320	-3.8	35.08	482.71	11.69	0.68
580	-4.13	9.84	206.67	3.28	0.29	1340	-3.8	35.22	461.03	11.74	0.65
600	-4.09	10.59	213.17	3.53	0.30	1360	-3.8	36.96	497.64	12.32	0.70
620	-4.04	11.73	231.79	3.91	0.33	1380	-3.8	38.04	481.28	12.68	0.68
640	-4.03	12.08	227.86	4.03	0.32	1400	-3.79	38.12	486.85	12.71	0.69
660	-4.01	12.46	240.24	4.15	0.34	1420	-3.79	38.32	490.85	12.77	0.69
680	-3.99	12.95	239.91	4.32	0.34	1440	-3.79	39.54	497.85	13.18	0.70
700	-3.94	13.93	254.14	4.64	0.36	1460	-3.79	39.89	480.85	13.30	0.68
720	-3.91	14.35	263.49	4.78	0.37	1480	-3.79	40.12	488.85	13.37	0.69
740	-3.83	15.35	282.26	5.12	0.40	1500	-3.79	40.24	482.85	13.41	0.68

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Quispicanchi-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD		:0.42%			
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.60 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-6.41	14.81	562.1	4.94	0.80
20	-0.79	0	0.00	0.00	0.00	780	-6.4	15.52	559.41	5.17	0.79
40	-1.12	0	0.00	0.00	0.00	800	-6.38	16.01	575.28	5.34	0.81
60	-2.2	0	0.00	0.00	0.00	820	-6.31	17.98	629.14	5.99	0.89
80	-2.57	0	0.00	0.00	0.00	840	-6.23	19.65	662	6.55	0.94
100	-3.06	0	0.00	0.00	0.00	860	-6.23	20.05	657.18	6.68	0.93
120	-3.84	0	0.00	0.00	0.00	880	-6.19	20.9	692.96	6.97	0.98
140	-4.09	0	0.00	0.00	0.00	900	-6.15	21.68	710.69	7.23	1.01
160	-4.97	0	0.00	0.00	0.00	920	-6.09	22.72	712.51	7.57	1.01
180	-5.61	0	0.00	0.00	0.00	940	-6.09	23.03	699.21	7.68	0.99
200	-5.68	0	0.00	0.00	0.00	960	-6.05	23.84	726.32	7.95	1.03
220	-5.88	0	0.00	0.00	0.00	980	-6.06	23.86	719.72	7.95	1.02
240	-6.08	0	0.00	0.00	0.00	1000	-6.02	24.66	715.43	8.22	1.01
260	-6.08	0	0.00	0.00	0.00	1020	-5.98	25.61	745.89	8.54	1.06
280	-6.14	0	0.00	0.00	0.00	1040	-5.98	25.72	747.75	8.57	1.06
300	-6.16	0	0.00	0.00	0.00	1060	-5.96	26.23	742.97	8.74	1.05
320	-6.22	0.02	0.20	0.01	0.00	1080	-5.91	26.95	748.02	8.98	1.06
340	-6.22	0.06	24.82	0.02	0.04	1100	-5.91	27.02	748.42	9.01	1.06
360	-6.22	0.31	52.17	0.10	0.07	1120	-5.92	27.21	733.18	9.07	1.04
380	-6.28	0.38	60.95	0.13	0.09	1140	-5.91	27.37	725.62	9.12	1.03
400	-6.44	1.6	141.64	0.53	0.20	1160	-5.91	27.36	724.76	9.12	1.03
420	-6.44	1.69	157.47	0.56	0.22	1180	-5.91	27.55	743.98	9.18	1.05
440	-6.51	3.3	233.24	1.10	0.33	1200	-5.86	28.24	723.87	9.41	1.02
460	-6.54	3.71	253.54	1.24	0.36	1220	-5.84	28.61	724.33	9.54	1.02
480	-6.55	4.08	257.12	1.36	0.36	1240	-5.75	30.73	734.97	10.24	1.04
500	-6.55	4.3	272.86	1.43	0.39	1260	-5.72	31.95	745.83	10.65	1.06
520	-6.55	4.43	273.50	1.48	0.39	1280	-5.72	32.37	739.28	10.79	1.05
540	-6.55	5.37	318.19	1.79	0.45	1300	-5.7	33.07	786.59	11.02	1.11
560	-6.55	5.83	327.26	1.94	0.46	1320	-5.66	33.99	784.77	11.33	1.11
580	-6.56	6.64	351.70	2.21	0.50	1340	-5.66	33.97	785.14	11.32	1.11
600	-6.56	7.14	370.55	2.38	0.52	1360	-5.63	34.88	778.37	11.63	1.10
620	-6.58	8.46	392.42	2.82	0.56	1380	-5.59	35.96	777.34	11.99	1.10
640	-6.58	9.87	424.13	3.29	0.60	1400	-5.59	36.32	820.8	12.11	1.16
660	-6.53	11.1	481.30	3.70	0.68	1420	-5.55	37.52	772.66	12.51	1.09
680	-6.52	11.89	500.86	3.96	0.71	1440	-5.48	38.48	782.67	12.83	1.11
700	-6.49	12.54	519.70	4.18	0.74	1460	-5.47	39.57	764.96	13.19	1.08
720	-6.48	13.13	533.96	4.38	0.76	1480	-5.46	39.84	774.35	13.28	1.10
740	-6.44	14.01	552.02	4.67	0.78	1500	-5.46	40.14	768.46	13.38	1.09

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Quispicanchi-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD		:0.42%			
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.61 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-9.09	17.15	1004.66	5.72	1.42
20	-1.04	0	0.00	0.00	0.00	780	-9.09	17.57	984.98	5.86	1.39
40	-2.37	0	0.00	0.00	0.00	800	-9.07	18.13	1020.78	6.04	1.44
60	-3.25	0	0.00	0.00	0.00	820	-9.04	18.54	1048.09	6.18	1.48
80	-4.07	0	0.00	0.00	0.00	840	-9.03	18.85	1039.83	6.28	1.47
100	-4.76	0	0.00	0.00	0.00	860	-8.99	19.39	1071.9	6.46	1.52
120	-6.48	0	0.00	0.00	0.00	880	-8.96	19.86	1068.91	6.62	1.51
140	-7.33	0	0.00	0.00	0.00	900	-8.93	20.45	1099.58	6.82	1.56
160	-7.81	0	0.00	0.00	0.00	920	-8.85	21.48	1104.69	7.16	1.56
180	-7.84	0	0.00	0.00	0.00	940	-8.84	21.87	1112.8	7.29	1.57
200	-8.52	0	0.00	0.00	0.00	960	-8.77	23.02	1192.62	7.67	1.69
220	-8.91	0	0.00	0.00	0.00	980	-8.73	23.77	1175.32	7.92	1.66
240	-9.11	0	0.00	0.00	0.00	1000	-8.72	24.62	1224.06	8.21	1.73
260	-9.22	0	0.00	0.00	0.00	1020	-8.7	25.23	1216.95	8.41	1.72
280	-9.23	0	0.00	0.00	0.00	1040	-8.66	26.02	1233.89	8.67	1.75
300	-9.24	0	0.00	0.00	0.00	1060	-8.6	26.83	1241.46	8.94	1.76
320	-9.27	0.02	0.60	0.01	0.00	1080	-8.56	28.64	1245.23	9.55	1.76
340	-9.28	0.01	23.30	0.00	0.03	1100	-8.51	29.54	1278.41	9.85	1.81
360	-9.43	0.14	49.80	0.05	0.07	1120	-8.48	30.29	1288.83	10.10	1.82
380	-9.44	0.56	139.78	0.19	0.20	1140	-8.47	31.06	1286.73	10.35	1.82
400	-9.49	2.62	338.72	0.87	0.48	1160	-8.44	31.27	1289.42	10.42	1.82
420	-9.54	4.94	490.98	1.65	0.69	1180	-8.34	32.19	1287.31	10.73	1.82
440	-9.55	5.57	537.80	1.86	0.76	1200	-8.34	32.33	1255.99	10.78	1.78
460	-9.56	6.15	552.98	2.05	0.78	1220	-8.31	32.89	1261.03	10.96	1.78
480	-9.55	7.11	604.79	2.37	0.86	1240	-8.28	33.16	1275.3	11.05	1.80
500	-9.56	7.93	630.18	2.64	0.89	1260	-8.27	33.19	1252.08	11.06	1.77
520	-9.56	8.51	664.37	2.84	0.94	1280	-8.23	33.92	1297.2	11.31	1.84
540	-9.57	8.51	665.43	2.84	0.94	1300	-8.21	34.25	1225.13	11.42	1.73
560	-9.56	9.76	748.37	3.25	1.06	1320	-8.15	34.89	1268.98	11.63	1.80
580	-9.47	11.09	774.66	3.70	1.10	1340	-8.01	36.34	1277.75	12.11	1.81
600	-9.39	12.32	784.35	4.11	1.11	1360	-7.94	37.05	1275.69	12.35	1.80
620	-9.36	12.83	783.94	4.28	1.11	1380	-7.93	37.46	1286.01	12.49	1.82
640	-9.35	13.19	842.67	4.40	1.19	1400	-7.86	38.16	1248.23	12.72	1.77
660	-9.31	13.85	852.90	4.62	1.21	1420	-7.86	38.21	1273.24	12.74	1.80
680	-9.29	14.22	886.51	4.74	1.25	1440	-7.85	38.86	1283.22	12.95	1.82
700	-9.27	14.78	897.80	4.93	1.27	1460	-7.84	39.28	1270.01	13.09	1.80
720	-9.24	15.23	920.83	5.08	1.30	1480	-7.84	39.81	1318.45	13.27	1.87
740	-9.17	16.01	959.87	5.34	1.36	1500	-7.84	40.21	1273.43	13.40	1.80

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Medio					HUMEDAD	:0.42%				
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.71 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-1.72	14.29	520.16	4.76	0.74
20	-0.94	0	0.00	0.00	0.00	780	-1.56	15.55	539.66	5.18	0.76
40	-1.86	0	0.00	0.00	0.00	800	-1.52	16.11	554.77	5.37	0.78
60	-2.02	0	0.00	0.00	0.00	820	-1.45	16.74	563.39	5.58	0.80
80	-2.63	0	0.00	0.00	0.00	840	-1.26	18.12	581.7	6.04	0.82
100	-2.64	0	0.00	0.00	0.00	860	-1.26	18.27	559.06	6.09	0.79
120	-2.64	0	0.00	0.00	0.00	880	-1.13	19.46	566.31	6.49	0.80
140	-2.64	0	0.00	0.00	0.00	900	-1.07	20.05	573.47	6.68	0.81
160	-2.64	0	0.00	0.00	0.00	920	-1.02	20.43	553.38	6.81	0.78
180	-2.66	0	0.00	0.00	0.00	940	-0.94	21.38	542.18	7.13	0.77
200	-2.65	0	0.00	0.00	0.00	960	-0.92	21.59	567.91	7.20	0.80
220	-2.65	0	0.00	0.00	0.00	980	-0.9	21.79	533.71	7.26	0.76
240	-2.65	0	0.00	0.00	0.00	1000	-0.83	22.4	550.21	7.47	0.78
260	-2.65	0	0.00	0.00	0.00	1020	-0.7	23.73	519.92	7.91	0.74
280	-2.65	0	0.00	0.00	0.00	1040	-0.65	24.15	553.81	8.05	0.78
300	-2.65	0	0.00	0.00	0.00	1060	-0.55	25.38	536.89	8.46	0.76
320	-2.66	0.06	11.10	0.02	0.02	1080	-0.45	26.61	553.62	8.87	0.78
340	-2.66	0.11	21.39	0.04	0.03	1100	-0.41	26.9	552.15	8.97	0.78
360	-2.66	0.29	47.18	0.10	0.07	1120	-0.34	27.73	536.63	9.24	0.76
380	-2.66	0.79	78.29	0.26	0.11	1140	-0.23	28.84	555.15	9.61	0.79
400	-2.68	1.58	123.54	0.53	0.17	1160	-0.13	29.91	559.5	9.97	0.79
420	-2.67	3.16	185.40	1.05	0.26	1180	-0.06	30.83	558.54	10.28	0.79
440	-2.56	4.48	218.33	1.49	0.31	1200	0.06	32.24	574.58	10.75	0.81
460	-2.55	4.64	213.27	1.55	0.30	1220	0.17	33.94	566.36	11.31	0.80
480	-2.5	5.27	244.88	1.76	0.35	1240	0.19	34.15	547.72	11.38	0.77
500	-2.5	5.29	246.23	1.76	0.35	1260	0.2	34.21	540.17	11.40	0.76
520	-2.39	6.19	299.13	2.06	0.42	1280	0.21	34.29	545.24	11.43	0.77
540	-2.24	7.62	328.33	2.54	0.46	1300	0.24	34.46	554.72	11.49	0.78
560	-2.24	7.75	307.76	2.58	0.44	1320	0.24	34.73	554.38	11.58	0.78
580	-2.24	7.83	336.36	2.61	0.48	1340	0.24	34.77	555.28	11.59	0.79
600	-2.21	8.56	355.79	2.85	0.50	1360	0.27	35.15	535.67	11.72	0.76
620	-2.17	9.2	377.54	3.07	0.53	1380	0.31	37.01	530.99	12.34	0.75
640	-2.14	9.56	406.54	3.19	0.58	1400	0.31	37.05	533.41	12.35	0.75
660	-2.1	10.16	427.92	3.39	0.61	1420	0.34	37.85	552.15	12.62	0.78
680	-2.03	10.9	433.19	3.63	0.61	1440	0.35	37.98	523.82	12.66	0.74
700	-1.95	11.87	465.59	3.96	0.66	1460	0.45	39.61	523.81	13.20	0.74
720	-1.86	12.78	498.14	4.26	0.70	1480	0.45	40.01	513.81	13.34	0.73
740	-1.79	13.58	516.02	4.53	0.73	1500	0.45	40.12	503.81	13.37	0.71

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Medio					HUMEDAD		:0.42%			
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.71 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-2.51	15.86	898.44	5.29	1.27
20	-1.3	0	0.00	0.00	0.00	780	-2.4	16.71	936.16	5.57	1.32
40	-2.08	0	0.00	0.00	0.00	800	-2.38	17.13	910.72	5.71	1.29
60	-2.29	0	0.00	0.00	0.00	820	-2.22	18.36	990.24	6.12	1.40
80	-2.53	0	0.00	0.00	0.00	840	-2.14	19.1	972.71	6.37	1.38
100	-2.62	0	0.00	0.00	0.00	860	-2.07	19.71	998.11	6.57	1.41
120	-2.64	0	0.00	0.00	0.00	880	-1.93	20.6	999.62	6.87	1.41
140	-2.65	0	0.00	0.00	0.00	900	-1.94	20.66	991.46	6.89	1.40
160	-2.84	0	0.00	0.00	0.00	920	-1.91	20.87	998.39	6.96	1.41
180	-2.93	0	0.00	0.00	0.00	940	-1.79	21.78	973.86	7.26	1.38
200	-2.98	0	0.00	0.00	0.00	960	-1.64	22.87	989.58	7.62	1.40
220	-3.15	0	0.00	0.00	0.00	980	-1.61	23.12	961.71	7.71	1.36
240	-3.23	0	0.00	0.00	0.00	1000	-1.5	23.97	943.69	7.99	1.34
260	-3.45	0	0.00	0.00	0.00	1020	-1.47	24.06	950.12	8.02	1.34
280	-3.61	0	0.00	0.00	0.00	1040	-1.36	25.39	910.31	8.46	1.29
300	-3.65	0	0.00	0.00	0.00	1060	-1.3	25.93	924.19	8.64	1.31
320	-3.65	0.03	25.03	0.01	0.04	1080	-1.16	27.21	933.15	9.07	1.32
340	-3.65	0.07	42.79	0.02	0.06	1100	-1.14	27.43	948.46	9.14	1.34
360	-3.65	0.38	97.77	0.13	0.14	1120	-1.05	28.49	861.72	9.50	1.22
380	-3.65	1.28	169.31	0.43	0.24	1140	-0.86	30.24	912.22	10.08	1.29
400	-3.66	2.62	247.31	0.87	0.35	1160	-0.75	31.48	883.15	10.49	1.25
420	-3.65	3.45	293.43	1.15	0.42	1180	-0.69	32.07	927.16	10.69	1.31
440	-3.67	4.53	318.95	1.51	0.45	1200	-0.67	32.19	893.76	10.73	1.26
460	-3.68	4.58	328.47	1.53	0.46	1220	-0.64	32.62	904.72	10.87	1.28
480	-3.69	4.87	346.38	1.62	0.49	1240	-0.6	33.04	909.88	11.01	1.29
500	-3.69	5.95	400.89	1.98	0.57	1260	-0.57	33.44	921.39	11.15	1.30
520	-3.67	6.44	453.10	2.15	0.64	1280	-0.54	33.86	904.83	11.29	1.28
540	-3.62	7.46	510.43	2.49	0.72	1300	-0.5	34.53	906.52	11.51	1.28
560	-3.6	8.62	571.32	2.87	0.81	1320	-0.42	35.34	918.36	11.78	1.30
580	-3.52	9.3	592.92	3.10	0.84	1340	-0.42	35.36	916.36	11.79	1.30
600	-3.48	9.88	629.32	3.29	0.89	1360	-0.34	36.18	940.76	12.06	1.33
620	-3.33	11.02	682.16	3.67	0.97	1380	-0.25	37.36	910.1	12.45	1.29
640	-3.27	12.06	716.28	4.02	1.01	1400	-0.21	37.88	929.79	12.63	1.32
660	-3.11	12.5	752.39	4.17	1.06	1420	-0.22	39.11	940.21	13.04	1.33
680	-2.98	13.42	803.67	4.47	1.14	1440	-0.21	39.23	954.19	13.08	1.35
700	-2.88	13.82	836.51	4.61	1.18	1460	-0.2	39.48	953.14	13.16	1.35
720	-2.78	14.36	833.98	4.79	1.18	1480	-0.2	39.98	943.14	13.33	1.33
740	-2.75	15.06	878.99	5.02	1.24	1500	-0.2	40.06	941.14	13.35	1.33

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Medio					HUMEDAD		:0.42%			
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.71 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-5.48	16.27	1364.79	5.42	1.93
20	-0.08	0	0.00	0.00	0.00	780	-5.42	16.69	1382.22	5.56	1.96
40	-3.04	0	0.00	0.00	0.00	800	-5.35	17.45	1420.91	5.82	2.01
60	-4.19	0	0.00	0.00	0.00	820	-5.21	18.79	1487.63	6.26	2.10
80	-4.31	0	0.00	0.00	0.00	840	-5.16	19.37	1509.13	6.46	2.13
100	-4.68	0	0.00	0.00	0.00	860	-5.16	19.55	1493.62	6.52	2.11
120	-5.11	0	0.00	0.00	0.00	880	-5	21.41	1523.35	7.14	2.16
140	-5.48	0	0.00	0.00	0.00	900	-4.85	22.94	1530.16	7.65	2.16
160	-5.74	0	0.00	0.00	0.00	920	-4.78	23.59	1526.95	7.86	2.16
180	-5.75	0	0.00	0.00	0.00	940	-4.71	24.3	1538.92	8.10	2.18
200	-5.88	0	0.00	0.00	0.00	960	-4.7	24.34	1554.82	8.11	2.20
220	-5.91	0	0.00	0.00	0.00	980	-4.65	25.05	1538.36	8.35	2.18
240	-5.95	0	0.00	0.00	0.00	1000	-4.53	26.15	1497.04	8.72	2.12
260	-5.99	0	0.00	0.00	0.00	1020	-4.5	26.69	1523.34	8.90	2.16
280	-6	0	0.00	0.00	0.00	1040	-4.42	27.39	1526.21	9.13	2.16
300	-6	0	0.00	0.00	0.00	1060	-4.38	28.06	1531.6	9.35	2.17
320	-6.04	0.01	1.19	0.00	0.00	1080	-4.38	28.14	1533.32	9.38	2.17
340	-6.04	0.08	27.09	0.03	0.04	1100	-4.29	29.36	1527.12	9.79	2.16
360	-6.04	0.32	136.27	0.11	0.19	1120	-4.28	29.54	1528.47	9.85	2.16
380	-6.05	0.99	268.08	0.33	0.38	1140	-4.22	30.34	1501.71	10.11	2.12
400	-6.09	2.26	400.66	0.75	0.57	1160	-4.1	32.22	1513.95	10.74	2.14
420	-6.14	3.79	565.86	1.26	0.80	1180	-4.06	32.93	1532.02	10.98	2.17
440	-6.17	4.53	645.40	1.51	0.91	1200	-4.03	33.36	1519.75	11.12	2.15
460	-6.17	4.6	649.48	1.53	0.92	1220	-4.02	33.64	1529.09	11.21	2.16
480	-6.17	5.51	713.83	1.84	1.01	1240	-3.97	34.42	1517.92	11.47	2.15
500	-6.17	5.53	705.98	1.84	1.00	1260	-3.95	34.73	1519.43	11.58	2.15
520	-6.18	5.74	700.23	1.91	0.99	1280	-3.95	34.99	1491.04	11.66	2.11
540	-6.08	8.07	886.26	2.69	1.25	1300	-3.89	36.02	1531.28	12.01	2.17
560	-6.08	8.3	904.66	2.77	1.28	1320	-3.88	36.28	1536.75	12.09	2.17
580	-6.07	8.35	909.46	2.78	1.29	1340	-3.88	36.42	1525.78	12.14	2.16
600	-6.01	9.4	980.42	3.13	1.39	1360	-3.88	36.44	1511.77	12.15	2.14
620	-5.99	10.11	1046.52	3.37	1.48	1380	-3.84	36.94	1498.98	12.31	2.12
640	-5.93	10.76	1078.48	3.59	1.53	1400	-3.83	37.4	1527.36	12.47	2.16
660	-5.83	11.91	1166.69	3.97	1.65	1420	-3.83	37.41	1509.3	12.47	2.14
680	-5.76	12.77	1209.60	4.26	1.71	1440	-3.8	38.29	1536.87	12.76	2.17
700	-5.56	14.69	1317.35	4.90	1.86	1460	-3.68	39.81	1511.36	13.27	2.14
720	-5.52	15.5	1342.25	5.17	1.90	1480	-3.52	40.49	1525.58	13.50	2.16
740	-5.48	16.11	1357.85	5.37	1.92	1500	-3.5	40.56	1502.23	13.52	2.13

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso					HUMEDAD	:0.42%				
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.91 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	0.39	12.08	855.22	4.03	1.21
20	-0.01	0	0.00	0.00	0.00	780	0.67	13.12	871.34	4.37	1.23
40	-0.02	0	0.00	0.00	0.00	800	0.79	13.61	878.96	4.54	1.24
60	-0.23	0	0.00	0.00	0.00	820	1.08	14.8	874.47	4.93	1.24
80	-0.88	0	0.00	0.00	0.00	840	1.25	15.5	870.14	5.17	1.23
100	-1.34	0	0.00	0.00	0.00	860	1.39	16.28	875.75	5.43	1.24
120	-1.56	0	0.00	0.00	0.00	880	1.56	17.14	872.65	5.71	1.23
140	-1.58	0	0.00	0.00	0.00	900	1.57	17.3	876.14	5.77	1.24
160	-1.59	0	0.00	0.00	0.00	920	1.57	17.29	851.58	5.76	1.20
180	-1.66	0	0.00	0.00	0.00	940	1.67	17.93	845.95	5.98	1.20
200	-1.68	0	0.00	0.00	0.00	960	1.72	18.1	837.02	6.03	1.18
220	-1.77	0	0.00	0.00	0.00	980	1.7	18.12	832.45	6.04	1.18
240	-1.86	0	0.00	0.00	0.00	1000	2.03	19.74	826.39	6.58	1.17
260	-1.9	0	0.00	0.00	0.00	1020	2.44	21.85	819.62	7.28	1.16
280	-2.04	0	0.00	0.00	0.00	1040	2.63	22.7	828.15	7.57	1.17
300	-2.05	0	0.00	0.00	0.00	1060	2.79	23.75	785.01	7.92	1.11
320	-1.96	0.03	0.48	0.01	0.00	1080	2.85	24.05	785.9	8.02	1.11
340	-1.96	0.04	1.32	0.01	0.00	1100	2.96	24.67	817.78	8.22	1.16
360	-1.91	0.13	45.91	0.04	0.06	1120	3.03	25.11	832.81	8.37	1.18
380	-1.9	1.28	142.44	0.43	0.20	1140	3.14	25.74	799.42	8.58	1.13
400	-1.86	1.69	182.84	0.56	0.26	1160	3.22	26.04	833.49	8.68	1.18
420	-1.8	2.2	281.24	0.73	0.40	1180	3.35	26.66	795.4	8.89	1.13
440	-1.71	3.03	326.82	1.01	0.46	1200	3.41	27.01	800.3	9.00	1.13
460	-1.58	3.67	334.24	1.22	0.47	1220	3.47	27.31	768.99	9.10	1.09
480	-1.38	4.34	383.55	1.45	0.54	1240	3.62	28.26	771.48	9.42	1.09
500	-1.38	4.69	398.30	1.56	0.56	1260	4.08	30.01	860.24	10.00	1.22
520	-1.2	5.96	506.62	1.99	0.72	1280	4.37	30.73	879.82	10.24	1.24
540	-1.19	5.98	500.97	1.99	0.71	1300	4.92	32.12	872.68	10.71	1.23
560	-0.95	6.9	599.20	2.30	0.85	1320	5.02	32.29	863.1	10.76	1.22
580	-0.72	8.42	709.72	2.81	1.00	1340	5.03	32.35	848.97	10.78	1.20
600	-0.57	8.61	742.84	2.87	1.05	1360	5.03	32.36	847.58	10.79	1.20
620	-0.54	9.4	729.22	3.13	1.03	1380	5.62	33.93	858.39	11.31	1.21
640	-0.45	9.71	771.71	3.24	1.09	1400	5.63	33.92	850.06	11.31	1.20
660	-0.44	9.73	781.30	3.24	1.11	1420	5.99	34.97	858.14	11.66	1.21
680	-0.2	10.37	829.30	3.46	1.17	1440	6.26	35.94	845.92	11.98	1.20
700	-0.13	10.66	818.11	3.55	1.16	1460	6.66	37.44	836.28	12.48	1.18
720	-0.13	10.68	818.79	3.56	1.16	1480	6.92	38.77	781.37	12.92	1.11
740	0.11	11.32	847.60	3.77	1.20	1500	7.16	40.25	797.67	13.42	1.13

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso					HUMEDAD		:0.42%			
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.91 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	0.65	15.55	1250.45	5.18	1.77
20	-0.49	0	0.00	0.00	0.00	780	0.79	16.29	1259.92	5.43	1.78
40	-1	0	0.00	0.00	0.00	800	0.85	16.63	1217.67	5.54	1.72
60	-1.51	0	0.00	0.00	0.00	820	0.91	17.08	1256.18	5.69	1.78
80	-1.7	0	0.00	0.00	0.00	840	0.95	17.48	1211.94	5.83	1.71
100	-2.02	0	0.00	0.00	0.00	860	0.99	17.8	1207.7	5.93	1.71
120	-2	0	0.00	0.00	0.00	880	0.99	17.82	1198.42	5.94	1.70
140	-2.04	0	0.00	0.00	0.00	900	1.2	19.41	1193.98	6.47	1.69
160	-2.08	0	0.00	0.00	0.00	920	1.26	19.88	1142.59	6.63	1.62
180	-2.21	0	0.00	0.00	0.00	940	1.31	20.31	1145.6	6.77	1.62
200	-2.31	0	0.00	0.00	0.00	960	1.4	21.01	1114.98	7.00	1.58
220	-2.42	0	0.00	0.00	0.00	980	1.51	22.07	1149.75	7.36	1.63
240	-2.42	0	0.00	0.00	0.00	1000	1.59	22.91	1070.84	7.64	1.51
260	-2.54	0	0.00	0.00	0.00	1020	1.62	23.34	1059.41	7.78	1.50
280	-2.56	0	0.00	0.00	0.00	1040	1.66	23.72	1032.78	7.91	1.46
300	-2.56	0	0.00	0.00	0.00	1060	1.7	24.24	1030.24	8.08	1.46
320	-2.6	0.16	11.13	0.05	0.02	1080	1.75	24.61	1065.17	8.20	1.51
340	-2.6	0.18	24.83	0.06	0.04	1100	1.78	24.97	1046.34	8.32	1.48
360	-2.62	0.17	26.65	0.06	0.04	1120	1.86	25.68	1036.85	8.56	1.47
380	-2.6	0.31	76.10	0.10	0.11	1140	1.88	25.73	1025.84	8.58	1.45
400	-2.56	1.11	221.16	0.37	0.31	1160	2.16	27.95	1033.18	9.32	1.46
420	-2.4	2.06	327.46	0.69	0.46	1180	2.23	28.55	1087.31	9.52	1.54
440	-2.18	3.06	452.80	1.02	0.64	1200	2.25	28.93	1075.83	9.64	1.52
460	-1.98	4.18	578.71	1.39	0.82	1220	2.43	30.45	1134.16	10.15	1.60
480	-1.98	4.22	579.74	1.41	0.82	1240	2.55	31.18	1190.98	10.39	1.68
500	-1.89	4.91	674.78	1.64	0.95	1260	2.66	31.7	1202.67	10.57	1.70
520	-1.89	4.92	670.10	1.64	0.95	1280	2.78	32.14	1226.23	10.71	1.73
540	-1.55	6.73	873.27	2.24	1.24	1300	3.06	33.21	1216.71	11.07	1.72
560	-1.32	8	965.51	2.67	1.37	1320	3.27	34.01	1192.37	11.34	1.69
580	-1.17	8.79	1062.55	2.93	1.50	1340	3.39	34.34	1201.63	11.45	1.70
600	-1.14	8.94	1074.14	2.98	1.52	1360	3.41	34.36	1165.05	11.45	1.65
620	-0.83	10.12	1167.43	3.37	1.65	1380	3.64	35.27	1171.41	11.76	1.66
640	-0.57	11.01	1169.17	3.67	1.65	1400	3.97	36.42	1160.19	12.14	1.64
660	-0.33	11.76	1242.98	3.92	1.76	1420	3.97	36.44	1175.47	12.15	1.66
680	0.05	12.99	1274.08	4.33	1.80	1440	4.29	37.88	1168.06	12.63	1.65
700	0.31	14.04	1277.71	4.68	1.81	1460	4.63	40.13	1176.17	13.38	1.66
720	0.46	14.75	1263.44	4.92	1.79	1480	4.81	41.63	1106.32	13.88	1.57
740	0.65	15.56	1250.45	5.19	1.77	1500	4.81	41.83	1080.49	13.94	1.53

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-1)											
FORMA DE PARTICULA	:Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Tipon-Oropesa-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso					HUMEDAD		:0.42%			
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.91 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-0.7	16.03	2087.95	5.34	2.95
20	-0.6	0	0.00	0.00	0.00	780	-0.41	17.03	2067.44	5.68	2.92
40	-1.6	0	0.00	0.00	0.00	800	-0.19	17.85	1989.71	5.95	2.81
60	-2.13	0	0.00	0.00	0.00	820	0.03	18.85	1944.9	6.28	2.75
80	-2.43	0	0.00	0.00	0.00	840	0.31	20.2	1930.6	6.73	2.73
100	-2.98	0	0.00	0.00	0.00	860	0.58	21.67	1859.66	7.22	2.63
120	-3.5	0	0.00	0.00	0.00	880	0.66	22.12	1875.59	7.37	2.65
140	-3.62	0	0.00	0.00	0.00	900	0.7	22.35	1840.99	7.45	2.60
160	-3.63	0	0.00	0.00	0.00	920	0.74	22.62	1872.57	7.54	2.65
180	-3.7	0	0.00	0.00	0.00	940	0.89	23.57	1849.3	7.86	2.62
200	-3.74	0	0.00	0.00	0.00	960	1	24.32	1776.51	8.11	2.51
220	-3.74	0	0.00	0.00	0.00	980	1.06	24.87	1790.24	8.29	2.53
240	-3.82	0	0.00	0.00	0.00	1000	1.14	25.48	1789.34	8.49	2.53
260	-3.83	0	0.00	0.00	0.00	1020	1.27	26.44	1752.68	8.81	2.48
280	-3.83	0	0.00	0.00	0.00	1040	1.38	27.18	1736.31	9.06	2.46
300	-3.83	0	0.00	0.00	0.00	1060	1.45	27.84	1692.22	9.28	2.39
320	-3.89	0.02	8.61	0.01	0.01	1080	1.5	28.16	1744.87	9.39	2.47
340	-3.9	0.09	70.14	0.03	0.10	1100	1.51	28.28	1706.92	9.43	2.41
360	-3.9	0.61	261.53	0.20	0.37	1120	1.51	28.33	1700.9	9.44	2.41
380	-3.9	1.8	565.38	0.60	0.80	1140	1.53	28.39	1728.3	9.46	2.45
400	-3.76	3.65	877.75	1.22	1.24	1160	1.62	29.17	1792.97	9.72	2.54
420	-3.45	4.97	1096.60	1.66	1.55	1180	1.67	29.68	1784.49	9.89	2.52
440	-3.42	5.08	1105.19	1.69	1.56	1200	1.8	30.71	1788.41	10.24	2.53
460	-3.23	6.12	1261.35	2.04	1.78	1220	1.94	31.78	1785.81	10.59	2.53
480	-3.06	7.04	1443.51	2.35	2.04	1240	2.03	32.4	1804.24	10.80	2.55
500	-3.06	7.08	1429.84	2.36	2.02	1260	2.03	32.44	1822.65	10.81	2.58
520	-2.9	7.84	1565.44	2.61	2.21	1280	2.1	32.99	1859.82	11.00	2.63
540	-2.78	8.37	1663.28	2.79	2.35	1300	2.16	33.83	1790.35	11.28	2.53
560	-2.69	8.75	1712.22	2.92	2.42	1320	2.4	35.95	1773.49	11.98	2.51
580	-2.59	9.27	1797.11	3.09	2.54	1340	2.41	36.1	1745.87	12.03	2.47
600	-2.39	10.18	1916.15	3.39	2.71	1360	2.48	36.73	1738.74	12.24	2.46
620	-2.23	10.86	1961.78	3.62	2.78	1380	2.5	37.52	1820.93	12.51	2.58
640	-2.04	11.56	2034.54	3.85	2.88	1400	2.5	39.19	1822.15	13.06	2.58
660	-1.89	12.1	2049.22	4.03	2.90	1420	2.5	39.23	1798.74	13.08	2.54
680	-1.63	12.96	2074.27	4.32	2.93	1440	2.64	39.32	1860.93	13.11	2.63
700	-1.21	14.33	2086.11	4.78	2.95	1460	2.77	39.69	1832.15	13.23	2.59
720	-1.05	14.88	2090.34	4.96	2.96	1480	2.85	40.24	1816	13.41	2.57
740	-0.95	15.19	2082.22	5.06	2.95	1500	2.85	40.25	1810.5	13.42	2.56

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Angular					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD	:2.36%				
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.87 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Febrero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-5.66	18.45	330.12	6.15	0.47
20	-2.14	0	0.00	0.00	0.00	780	-5.65	19.01	335.38	6.34	0.47
40	-2.19	0	0.00	0.00	0.00	800	-5.63	19.73	349.04	6.58	0.49
60	-4.64	0	0.00	0.00	0.00	820	-5.61	19.92	351.23	6.64	0.50
80	-4.64	0	0.00	0.00	0.00	840	-5.6	20.24	354.45	6.75	0.50
100	-4.63	0	0.00	0.00	0.00	860	-5.59	20.92	359.47	6.97	0.51
120	-4.65	0	0.00	0.00	0.00	880	-5.59	21.47	361.83	7.16	0.51
140	-4.66	0	0.00	0.00	0.00	900	-5.58	21.81	363.86	7.27	0.51
160	-4.73	0	0.00	0.00	0.00	920	-5.56	22.16	361.07	7.39	0.51
180	-4.78	0	0.00	0.00	0.00	940	-5.53	22.61	363.26	7.54	0.51
200	-5.2	0	0.00	0.00	0.00	960	-5.53	22.99	351.39	7.66	0.50
220	-5.22	0	0.00	0.00	0.00	980	-5.5	23.24	347.11	7.75	0.49
240	-5.63	0	0.00	0.00	0.00	1000	-5.5	23.79	340.77	7.93	0.48
260	-5.65	0	0.00	0.00	0.00	1020	-5.5	24.54	346.77	8.18	0.49
280	-5.65	0	0.00	0.00	0.00	1040	-5.48	25.21	344.2	8.40	0.49
300	-5.65	0	0.00	0.00	0.00	1060	-5.46	26.03	343.54	8.68	0.49
320	-5.66	0.21	0.09	0.07	0.00	1080	-5.42	26.66	343.29	8.89	0.49
340	-5.68	1.28	11.23	0.43	0.02	1100	-5.4	27.32	350.86	9.11	0.50
360	-5.68	2.64	27.21	0.88	0.04	1120	-5.38	28.11	370.23	9.37	0.52
380	-5.68	4.67	54.99	1.56	0.08	1140	-5.37	29.24	380.01	9.75	0.54
400	-5.69	5.34	100.99	1.78	0.14	1160	-5.37	30.03	381.93	10.01	0.54
420	-5.67	6.42	123.65	2.14	0.17	1180	-5.27	30.42	383.11	10.14	0.54
440	-5.67	7.89	197.10	2.63	0.28	1200	-5.25	31.03	384.66	10.34	0.54
460	-5.67	8.42	213.54	2.81	0.30	1220	-5.25	31.32	383.7	10.44	0.54
480	-5.67	9.03	227.55	3.01	0.32	1240	-5.23	31.72	378.35	10.57	0.54
500	-5.67	9.78	234.16	3.26	0.33	1260	-5.25	32.23	381.35	10.74	0.54
520	-5.66	10.37	238.12	3.46	0.34	1280	-5.25	33.67	382.7	11.22	0.54
540	-5.67	11.07	248.01	3.69	0.35	1300	-5.24	34.06	382.3	11.35	0.54
560	-5.67	11.42	258.87	3.81	0.37	1320	-5.13	34.41	381.7	11.47	0.54
580	-5.68	12.07	270.01	4.02	0.38	1340	-5.13	35.93	383.51	11.98	0.54
600	-5.66	12.95	284.93	4.32	0.40	1360	-5.12	36.19	384.54	12.06	0.54
620	-5.68	13.83	295.38	4.61	0.42	1380	-5.08	37.3	385.6	12.43	0.55
640	-5.67	14.68	300.50	4.89	0.43	1400	-5.01	38.14	388.7	12.71	0.55
660	-5.65	15.9	307.56	5.30	0.44	1420	-4.99	38.92	388.7	12.97	0.55
680	-5.66	16.18	315.05	5.39	0.45	1440	-4.99	39.77	382.85	13.26	0.54
700	-5.66	16.68	329.88	5.56	0.47	1460	-4.98	40.01	376.56	13.34	0.53
720	-5.65	17.08	334.40	5.69	0.47	1480	-4.99	40.17	383.36	13.39	0.54
740	-5.65	17.88	328.81	5.96	0.47	1500	-4.98	40.77	365.22	13.59	0.52

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Angular					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD	:2.36%				
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.88 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Febrero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-7.43	12.11	492.32	4.04	0.70
20	-0.01	0	0.00	0.00	0.00	780	-7.43	12.81	502.32	4.27	0.71
40	-2.22	0	0.00	0.00	0.00	800	-7.42	13.61	527.05	4.54	0.75
60	-4.01	0	0.00	0.00	0.00	820	-7.44	13.64	543.88	4.55	0.77
80	-5.8	0	0.00	0.00	0.00	840	-7.44	14.22	542.09	4.74	0.77
100	-6.54	0	0.00	0.00	0.00	860	-7.43	15.17	553.08	5.06	0.78
120	-6.92	0	0.00	0.00	0.00	880	-7.42	15.31	584.14	5.10	0.83
140	-7.11	0	0.00	0.00	0.00	900	-7.43	16.32	587.83	5.44	0.83
160	-7.11	0	0.00	0.00	0.00	920	-7.43	17	597.12	5.67	0.84
180	-7.11	0	0.00	0.00	0.00	940	-7.43	18.04	604.7	6.01	0.86
200	-7.11	0	0.00	0.00	0.00	960	-7.42	19.11	626.64	6.37	0.89
220	-7.1	0	0.00	0.00	0.00	980	-7.43	19.73	633.56	6.58	0.90
240	-7.11	0	0.00	0.00	0.00	1000	-7.43	21.87	646.34	7.29	0.91
260	-7.11	0	0.00	0.00	0.00	1020	-7.43	22.8	665.6	7.60	0.94
280	-7.11	0	0.00	0.00	0.00	1040	-7.44	23.94	691.85	7.98	0.98
300	-7.11	0	0.00	0.00	0.00	1060	-7.4	25.39	662.69	8.46	0.94
320	-7.11	0.01	0.69	0.00	0.00	1080	-7.41	26.56	667.94	8.85	0.94
340	-7.11	0.17	2.84	0.06	0.00	1100	-7.39	26.75	657.04	8.92	0.93
360	-7.12	0.26	49.32	0.09	0.07	1120	-7.38	27.72	658.67	9.24	0.93
380	-7.13	0.53	61.75	0.18	0.09	1140	-7.37	28.72	680.77	9.57	0.96
400	-7.19	0.86	93.59	0.29	0.13	1160	-7.34	28.73	682.57	9.58	0.97
420	-7.23	1.29	119.96	0.43	0.17	1180	-7.38	29.41	676.5	9.80	0.96
440	-7.31	1.65	141.65	0.55	0.20	1200	-7.37	30.23	684.42	10.08	0.97
460	-7.36	1.91	169.08	0.64	0.24	1220	-7.34	31.13	665.28	10.38	0.94
480	-7.39	1.93	182.31	0.64	0.26	1240	-7.31	33.48	661.67	11.16	0.94
500	-7.39	2.93	182.36	0.98	0.26	1260	-7.18	34.62	658.34	11.54	0.93
520	-7.41	3.92	222.94	1.31	0.32	1280	-7.18	35.7	665.96	11.90	0.94
540	-7.41	4.62	261.82	1.54	0.37	1300	-7.18	36.65	655.38	12.22	0.93
560	-7.41	5.31	289.90	1.77	0.41	1320	-7.19	37.18	655.06	12.39	0.93
580	-7.42	5.35	315.42	1.78	0.45	1340	-7.2	38.04	656.02	12.68	0.93
600	-7.42	6.16	318.02	2.05	0.45	1360	-7.17	38.14	645	12.71	0.91
620	-7.42	6.99	345.17	2.33	0.49	1380	-7.19	38.69	638.62	12.90	0.90
640	-7.42	7.54	373.33	2.51	0.53	1400	-7.16	39.16	707.37	13.05	1.00
660	-7.43	8.33	394.65	2.78	0.56	1420	-7.15	39.85	714.7	13.28	1.01
680	-7.42	9.11	409.82	3.04	0.58	1440	-7.14	40.09	654.36	13.36	0.93
700	-7.42	10.55	435.37	3.52	0.62	1460	-7.13	40.86	649.83	13.62	0.92
720	-7.43	11.26	475.63	3.75	0.67	1480	-7.13	40.85	647.82	13.62	0.92
740	-7.43	11.95	491.51	3.98	0.70	1500	-7.11	42.09	649.83	14.03	0.92

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)											
FORMA DE PARTICULA		:Sub-Angular					ESTADO		Remoldeado		
PROCEDENCIA		:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar		
DENSIDAD RELATIVA		:Muy suelto					HUMEDAD		:2.36%		
ESFUERZO NORMAL		:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.87 g/cm3		
VELOCIDAD DE ENSAYO		:2mm/min					FECHA		:Febrero-2017		
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-10.13	12.46	862.02	4.15	1.22
20	-0.73	0	0.00	0.00	0.00	780	-10.05	12.95	884.12	4.32	1.25
40	-3.54	0	0.00	0.00	0.00	800	-9.97	13.57	897.01	4.52	1.27
60	-5.72	0	0.00	0.00	0.00	820	-9.92	14.01	922.87	4.67	1.31
80	-6.27	0	0.00	0.00	0.00	840	-9.85	14.82	965.77	4.94	1.37
100	-6.29	0	0.00	0.00	0.00	860	-9.86	14.9	956.55	4.97	1.35
120	-7.08	0	0.00	0.00	0.00	880	-9.75	16.13	998.32	5.38	1.41
140	-7.7	0	0.00	0.00	0.00	900	-9.67	16.9	1024.88	5.63	1.45
160	-8.19	0	0.00	0.00	0.00	920	-9.63	17.43	1020.72	5.81	1.44
180	-8.53	0	0.00	0.00	0.00	940	-9.58	17.99	1054.51	6.00	1.49
200	-8.64	0	0.00	0.00	0.00	960	-9.46	19.23	1048.48	6.41	1.48
220	-8.81	0	0.00	0.00	0.00	980	-9.42	20.12	1084.04	6.71	1.53
240	-8.99	0	0.00	0.00	0.00	1000	-9.36	21.02	1098.55	7.01	1.55
260	-9.85	0	0.00	0.00	0.00	1020	-9.3	21.87	1101.11	7.29	1.56
280	-9.98	0	0.00	0.00	0.00	1040	-9.31	22.28	1140.76	7.43	1.61
300	-9.98	0	0.00	0.00	0.00	1060	-9.25	22.9	1145.75	7.63	1.62
320	-10	0.2	-0.77	0.07	0.00	1080	-9.26	23.13	1144.94	7.71	1.62
340	-10	0.45	32.72	0.15	0.05	1100	-9.18	24.49	1127.85	8.16	1.60
360	-10.02	0.1	57.59	0.03	0.08	1120	-9.13	25.93	1144.5	8.64	1.62
380	-10.06	0.11	77.84	0.04	0.11	1140	-9.13	26.33	1145.01	8.78	1.62
400	-10.13	0.38	84.94	0.13	0.12	1160	-9.05	27.41	1115.34	9.14	1.58
420	-10.19	0.7	123.86	0.23	0.18	1180	-9.02	28.3	1123.58	9.43	1.59
440	-10.23	1.11	177.37	0.37	0.25	1200	-9.05	28.49	1145.73	9.50	1.62
460	-10.25	1.32	190.43	0.44	0.27	1220	-8.96	30.22	1144.84	10.07	1.62
480	-10.3	2.09	275.15	0.70	0.39	1240	-8.97	30.79	1139.9	10.26	1.61
500	-10.32	2.43	305.48	0.81	0.43	1260	-8.99	31.52	1144.4	10.51	1.62
520	-10.54	2.97	356.04	0.99	0.50	1280	-9	31.98	1105.71	10.66	1.56
540	-10.53	4.16	424.23	1.39	0.60	1300	-8.99	32.9	1135.69	10.97	1.61
560	-10.54	4.98	474.07	1.66	0.67	1320	-9	32.99	1135.27	11.00	1.61
580	-10.53	5.91	562.01	1.97	0.80	1340	-8.95	34.27	1145.73	11.42	1.62
600	-10.53	6.56	612.70	2.19	0.87	1360	-8.91	35.31	1122.9	11.77	1.59
620	-10.52	7.25	636.56	2.42	0.90	1380	-8.94	36.53	1104.25	12.18	1.56
640	-10.52	7.24	623.94	2.41	0.88	1400	-8.97	36.94	1140.14	12.31	1.61
660	-10.5	8.51	708.77	2.84	1.00	1420	-8.99	37.26	1157.57	12.42	1.64
680	-10.5	8.54	694.03	2.85	0.98	1440	-8.98	38.53	1144.68	12.84	1.62
700	-10.43	10.07	785.29	3.36	1.11	1460	-9.01	39.05	1118.81	13.02	1.58
720	-10.35	10.7	810.31	3.57	1.15	1480	-9.05	39.71	1113.79	13.24	1.58
740	-10.18	11.88	858.70	3.96	1.21	1500	-9.04	40.67	1126.69	13.56	1.59

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Angular					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Medio					HUMEDAD	:2.36%				
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.98 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Febrero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	0.3	15.85	506.74	5.28	0.72
20	-0.9	0	0.00	0.00	0.00	780	0.37	16.25	505.83	5.42	0.72
40	-1.53	0	0.00	0.00	0.00	800	0.53	17.17	502.67	5.72	0.71
60	-1.59	0	0.00	0.00	0.00	820	0.64	17.73	498.02	5.91	0.70
80	-2.12	0	0.00	0.00	0.00	840	0.74	18.6	495.31	6.20	0.70
100	-2.16	0	0.00	0.00	0.00	860	0.8	19.11	484.42	6.37	0.69
120	-2.17	0	0.00	0.00	0.00	880	0.85	19.55	485.52	6.52	0.69
140	-2.18	0	0.00	0.00	0.00	900	0.94	20.21	475.57	6.74	0.67
160	-2.2	0	0.00	0.00	0.00	920	0.99	20.8	486.19	6.93	0.69
180	-2.2	0	0.00	0.00	0.00	940	1.08	21.56	489.32	7.19	0.69
200	-2.2	0	0.00	0.00	0.00	960	1.17	22.35	486.49	7.45	0.69
220	-2.21	0	0.00	0.00	0.00	980	1.25	23.17	480.57	7.72	0.68
240	-2.21	0	0.00	0.00	0.00	1000	1.33	24.05	466.68	8.02	0.66
260	-2.22	0	0.00	0.00	0.00	1020	1.37	24.63	460.66	8.21	0.65
280	-2.22	0	0.00	0.00	0.00	1040	1.41	25.06	455.89	8.35	0.64
300	-2.22	0	0.00	0.00	0.00	1060	1.43	25.51	458.04	8.50	0.65
320	-2.23	0.02	3.44	0.01	0.00	1080	1.46	25.99	467.1	8.66	0.66
340	-2.23	0.19	36.64	0.06	0.05	1100	1.49	26.57	462.09	8.86	0.65
360	-2.23	0.52	62.60	0.17	0.09	1120	1.55	27.27	468.54	9.09	0.66
380	-2.23	1.01	98.17	0.34	0.14	1140	1.62	28.02	473.22	9.34	0.67
400	-2.19	1.64	135.14	0.55	0.19	1160	1.68	28.72	453.27	9.57	0.64
420	-2.14	2.03	158.23	0.68	0.22	1180	1.71	29.18	474.62	9.73	0.67
440	-1.87	3.75	218.24	1.25	0.31	1200	1.74	29.64	480	9.88	0.68
460	-1.55	5.43	287.10	1.81	0.41	1220	1.79	30.28	485.48	10.09	0.69
480	-1.34	6.83	339.19	2.28	0.48	1240	1.83	30.94	492.23	10.31	0.70
500	-1.3	7.19	354.95	2.40	0.50	1260	1.87	31.49	511.23	10.50	0.72
520	-1.3	7.32	368.22	2.44	0.52	1280	1.9	31.96	506.56	10.65	0.72
540	-1.29	7.4	368.11	2.47	0.52	1300	1.94	32.79	516.36	10.93	0.73
560	-1.17	7.99	397.23	2.66	0.56	1320	1.98	33.18	501.12	11.06	0.71
580	-1.09	8.43	409.30	2.81	0.58	1340	2.01	33.41	508.35	11.14	0.72
600	-0.85	9.67	436.32	3.22	0.62	1360	2.06	33.71	519.73	11.24	0.74
620	-0.68	10.63	480.05	3.54	0.68	1380	2.11	34	514.05	11.33	0.73
640	-0.56	11.25	492.69	3.75	0.70	1400	2.18	34.81	519.95	11.60	0.74
660	-0.26	12.96	514.11	4.32	0.73	1420	2.26	36.04	514.89	12.01	0.73
680	-0.04	14.06	514.31	4.69	0.73	1440	2.33	36.69	518.73	12.23	0.73
700	0.06	14.63	514.27	4.88	0.73	1460	2.37	38.19	516.34	12.73	0.73
720	0.14	15.05	509.34	5.02	0.72	1480	2.48	38.81	489.17	12.94	0.69
740	0.2	15.4	506.50	5.13	0.72	1500	2.51	40.89	467.71	13.63	0.66

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Angular					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Medio					HUMEDAD	:2.36%				
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.99 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Febrero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-2.86	12.99	885.74	4.33	1.25
20	-0.69	0	0.00	0.00	0.00	780	-2.85	13.04	882.19	4.35	1.25
40	-1.44	0	0.00	0.00	0.00	800	-2.77	13.94	883.09	4.65	1.25
60	-1.48	0	0.00	0.00	0.00	820	-2.5	14.31	878.27	4.77	1.24
80	-2.09	0	0.00	0.00	0.00	840	-2.36	15.43	867.68	5.14	1.23
100	-2.6	0	0.00	0.00	0.00	860	-2.37	16.45	868.41	5.48	1.23
120	-3	0	0.00	0.00	0.00	880	-2.25	17.31	861.67	5.77	1.22
140	-3.59	0	0.00	0.00	0.00	900	-2.05	18.94	850.8	6.31	1.20
160	-3.77	0	0.00	0.00	0.00	920	-1.92	19.82	832.13	6.61	1.18
180	-3.81	0	0.00	0.00	0.00	940	-1.86	20.39	818.89	6.80	1.16
200	-3.83	0	0.00	0.00	0.00	960	-1.83	20.72	813.18	6.91	1.15
220	-3.85	0	0.00	0.00	0.00	980	-1.79	21.1	820.4	7.03	1.16
240	-3.86	0	0.00	0.00	0.00	1000	-1.74	21.61	815.55	7.20	1.15
260	-3.87	0	0.00	0.00	0.00	1020	-1.66	22.55	803.29	7.52	1.14
280	-3.87	0	0.00	0.00	0.00	1040	-1.58	23.36	791.22	7.79	1.12
300	-3.87	0	0.00	0.00	0.00	1060	-1.55	23.67	780.23	7.89	1.10
320	-3.9	0.03	5.23	0.01	0.01	1080	-1.54	23.96	783.34	7.99	1.11
340	-3.9	0.23	22.13	0.08	0.03	1100	-1.5	24.27	768.55	8.09	1.09
360	-3.93	0.56	110.08	0.19	0.16	1120	-1.43	25.11	744.47	8.37	1.05
380	-3.97	1.16	172.36	0.39	0.24	1140	-1.37	25.86	756.72	8.62	1.07
400	-3.99	1.71	222.85	0.57	0.32	1160	-1.37	25.91	737.43	8.64	1.04
420	-3.99	2.25	261.99	0.75	0.37	1180	-1.29	26.75	747.09	8.92	1.06
440	-4	2.74	289.82	0.91	0.41	1200	-1.2	28.19	740.59	9.40	1.05
460	-4	3.12	310.90	1.04	0.44	1220	-1.17	28.67	736.59	9.56	1.04
480	-3.98	3.9	361.43	1.30	0.51	1240	-1.14	29.19	738.88	9.73	1.05
500	-3.95	4.46	389.41	1.49	0.55	1260	-1.12	29.5	732.58	9.83	1.04
520	-3.93	4.68	393.09	1.56	0.56	1280	-1.08	30.14	738.49	10.05	1.04
540	-3.88	5.23	422.46	1.74	0.60	1300	-1.05	30.58	735.87	10.19	1.04
560	-3.87	5.25	423.72	1.75	0.60	1320	-1.05	30.57	738.56	10.19	1.04
580	-3.78	5.95	458.09	1.98	0.65	1340	-1.02	30.92	752.61	10.31	1.06
600	-3.68	6.77	503.76	2.26	0.71	1360	-0.99	31.59	746.92	10.53	1.06
620	-3.57	7.64	564.23	2.55	0.80	1380	-0.96	32.11	731.15	10.70	1.03
640	-3.46	8.43	635.67	2.81	0.90	1400	-0.91	33.29	728.34	11.10	1.03
660	-3.37	9.09	689.20	3.03	0.98	1420	-0.9	33.63	720.15	11.21	1.02
680	-3.26	9.87	753.20	3.29	1.07	1440	-0.82	34.8	804.7	11.60	1.14
700	-3.15	10.79	797.74	3.60	1.13	1460	-0.7	37.54	805.66	12.51	1.14
720	-3.05	11.54	858.35	3.85	1.21	1480	-0.56	39.75	805.61	13.25	1.14
740	-2.95	12.36	874.83	4.12	1.24	1500	-0.51	40.64	839.57	13.55	1.19

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Medio					HUMEDAD		:2.36%			
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.97 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Febrero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-3.9	13.4	1388.09	4.47	1.96
20	-0.85	0	0.00	0.00	0.00	780	-3.89	13.5	1404.43	4.50	1.99
40	-0.89	0	0.00	0.00	0.00	800	-3.77	14.18	1404.5	4.73	1.99
60	-0.9	0	0.00	0.00	0.00	820	-3.72	14.69	1405.61	4.90	1.99
80	-0.9	0	0.00	0.00	0.00	840	-3.67	15.16	1408.24	5.05	1.99
100	-0.9	0	0.00	0.00	0.00	860	-3.42	16.98	1394.44	5.66	1.97
120	-2.75	0	0.00	0.00	0.00	880	-3.38	17.36	1389.63	5.79	1.97
140	-2.83	0	0.00	0.00	0.00	900	-3.34	17.96	1384.74	5.99	1.96
160	-3.46	0	0.00	0.00	0.00	920	-3.2	19.18	1384.43	6.39	1.96
180	-4.17	0	0.00	0.00	0.00	940	-3.19	19.22	1372.01	6.41	1.94
200	-4.54	0	0.00	0.00	0.00	960	-3.14	19.73	1373.13	6.58	1.94
220	-4.88	0	0.00	0.00	0.00	980	-3.11	20.24	1356.27	6.75	1.92
240	-5.03	0	0.00	0.00	0.00	1000	-3.09	20.6	1326.27	6.87	1.88
260	-5.05	0	0.00	0.00	0.00	1020	-2.99	21.43	1336.15	7.14	1.89
280	-5.04	0	0.00	0.00	0.00	1040	-2.87	22.47	1296.88	7.49	1.83
300	-5.05	0	0.00	0.00	0.00	1060	-2.79	23.17	1265.25	7.72	1.79
320	-5.05	0.01	25.03	0.00	0.04	1080	-2.69	24.08	1252	8.03	1.77
340	-5.05	0.02	71.04	0.01	0.10	1100	-2.58	25.21	1259.36	8.40	1.78
360	-5.06	0.16	159.35	0.05	0.23	1120	-2.5	26.31	1199.74	8.77	1.70
380	-5.06	0.19	167.77	0.06	0.24	1140	-2.4	27.35	1210.43	9.12	1.71
400	-5.06	0.53	260.15	0.18	0.37	1160	-2.36	27.54	1224.98	9.18	1.73
420	-5.05	1.18	314.88	0.39	0.45	1180	-2.26	28.61	1208.81	9.54	1.71
440	-5.05	1.85	391.85	0.62	0.55	1200	-2.18	29.57	1210.99	9.86	1.71
460	-5.06	2.74	465.90	0.91	0.66	1220	-2.18	29.63	1210.12	9.88	1.71
480	-5.06	3.3	557.90	1.10	0.79	1240	-2.08	30.21	1222.37	10.07	1.73
500	-5.06	4.22	652.39	1.41	0.92	1260	-1.93	30.91	1258.48	10.30	1.78
520	-5.04	5.48	718.16	1.83	1.02	1280	-1.88	31.65	1309.51	10.55	1.85
540	-4.98	6.31	834.98	2.10	1.18	1300	-1.78	32.96	1314.2	10.99	1.86
560	-4.88	6.86	905.58	2.29	1.28	1320	-1.74	33.99	1267.62	11.33	1.79
580	-4.76	7.67	965.52	2.56	1.37	1340	-1.7	34.61	1272.94	11.54	1.80
600	-4.76	7.71	992.71	2.57	1.40	1360	-1.65	35.68	1290.67	11.89	1.83
620	-4.56	9.07	1079.82	3.02	1.53	1380	-1.61	36.58	1252.31	12.19	1.77
640	-4.46	9.8	1107.72	3.27	1.57	1400	-1.54	37.35	1214.2	12.45	1.72
660	-4.39	10.06	1171.49	3.35	1.66	1420	-1.41	38.03	1210.15	12.68	1.71
680	-4.16	11.57	1264.33	3.86	1.79	1440	-1.33	38.89	1205.56	12.96	1.71
700	-4.16	11.64	1265.98	3.88	1.79	1460	-1.23	39.32	1226.61	13.11	1.74
720	-4.05	12.23	1303.65	4.08	1.84	1480	-1.18	39.66	1228.87	13.22	1.74
740	-4.03	12.52	1337.30	4.17	1.89	1500	-1.13	40.42	1219.13	13.47	1.72

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)												
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Angular					ESTADO	Remoldeado					
PROCEDENCIA	:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar					
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso					HUMEDAD	:2.36%					
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:2.20 g/cm3					
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Febrero-2017					
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)										
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)		Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00		760	1	14.59	608.75	4.86	0.86
20	-0.01	0	0.00	0.00	0.00		780	1.08	15.13	613.47	5.04	0.87
40	-0.7	0	0.00	0.00	0.00		800	1.16	15.67	596.44	5.22	0.84
60	-1.35	0	0.00	0.00	0.00		820	1.24	16.4	573.12	5.47	0.81
80	-1.85	0	0.00	0.00	0.00		840	1.3	16.97	563.15	5.66	0.80
100	-1.87	0	0.00	0.00	0.00		860	1.34	17.41	551.84	5.80	0.78
120	-1.87	0	0.00	0.00	0.00		880	1.4	17.89	543.2	5.96	0.77
140	-1.89	0	0.00	0.00	0.00		900	1.44	18.47	525.67	6.16	0.74
160	-1.88	0	0.00	0.00	0.00		920	1.48	18.93	537.85	6.31	0.76
180	-1.88	0	0.00	0.00	0.00		940	1.55	19.73	532.74	6.58	0.75
200	-1.9	0	0.00	0.00	0.00		960	1.63	20.48	525.63	6.83	0.74
220	-1.89	0	0.00	0.00	0.00		980	1.63	20.6	543.22	6.87	0.77
240	-1.9	0	0.00	0.00	0.00		1000	1.7	21.23	530.75	7.08	0.75
260	-1.91	0	0.00	0.00	0.00		1020	1.76	21.83	533.46	7.28	0.75
280	-1.91	0	0.00	0.00	0.00		1040	1.81	22.38	532.55	7.46	0.75
300	-1.91	0	0.00	0.00	0.00		1060	1.88	22.97	535.81	7.66	0.76
320	-1.9	0.2	6.13	0.07	0.01		1080	1.97	23.99	503.1	8.00	0.71
340	-1.91	0.45	21.93	0.15	0.03		1100	2.02	24.73	514.69	8.24	0.73
360	-1.91	0.61	21.97	0.20	0.03		1120	2.07	25.4	511.87	8.47	0.72
380	-1.81	0.84	52.31	0.28	0.07		1140	2.14	26.29	508.18	8.76	0.72
400	-1.71	1.11	74.01	0.37	0.10		1160	2.22	27.42	505.78	9.14	0.72
420	-1.61	2.29	167.14	0.76	0.24		1180	2.28	28.33	513.35	9.44	0.73
440	-1.55	2.49	204.42	0.83	0.29		1200	2.28	28.48	522.22	9.49	0.74
460	-1.43	3.52	282.75	1.17	0.40		1220	2.32	29.02	526.7	9.67	0.75
480	-1.34	4.41	316.50	1.47	0.45		1240	2.36	29.52	538.84	9.84	0.76
500	-1.25	4.8	355.62	1.60	0.50		1260	2.39	29.95	527.91	9.98	0.75
520	-1.13	5.15	391.80	1.72	0.55		1280	2.43	30.48	539.54	10.16	0.76
540	-0.97	6.84	463.25	2.28	0.66		1300	2.58	32.31	641.98	10.77	0.91
560	-0.74	7.89	504.94	2.63	0.71		1320	2.64	32.82	676.64	10.94	0.96
580	-0.63	8.3	515.72	2.77	0.73		1340	2.77	33.88	718.55	11.29	1.02
600	-0.42	8.84	565.66	2.95	0.80		1360	2.85	34.63	721.53	11.54	1.02
620	-0.21	9.76	623.93	3.25	0.88		1380	2.92	36.65	594.38	12.22	0.84
640	-0.04	10.7	635.60	3.57	0.90		1400	2.95	37.33	661.4	12.44	0.94
660	0.11	11.19	632.66	3.73	0.90		1420	3	37.81	683.21	12.60	0.97
680	0.23	12.01	628.84	4.00	0.89		1440	3.05	38.38	693.54	12.79	0.98
700	0.48	13.02	627.29	4.34	0.89		1460	3.13	39.2	729.99	13.07	1.03
720	0.68	13.71	628.94	4.57	0.89		1480	3.22	39.97	715.88	13.32	1.01
740	0.88	14.16	635.66	4.72	0.90		1500	3.22	40.17	715.88	13.39	1.01

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Angular					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso					HUMEDAD	:2.36%				
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:2.18 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Febrero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-0.22	10.79	972.51	3.60	1.38
20	-0.68	0	0.00	0.00	0.00	780	-0.12	11.52	972.51	3.84	1.38
40	-1.25	0	0.00	0.00	0.00	800	0.04	12.28	965.29	4.09	1.37
60	-2.6	0	0.00	0.00	0.00	820	0.27	13.18	964.8	4.39	1.36
80	-2.72	0	0.00	0.00	0.00	840	0.48	14.29	953.07	4.76	1.35
100	-2.83	0	0.00	0.00	0.00	860	0.68	15.35	948.71	5.12	1.34
120	-2.85	0	0.00	0.00	0.00	880	0.84	16.28	929.41	5.43	1.31
140	-2.86	0	0.00	0.00	0.00	900	1.01	17.51	911.39	5.84	1.29
160	-2.87	0	0.00	0.00	0.00	920	1.12	18.55	874.19	6.18	1.24
180	-2.89	0	0.00	0.00	0.00	940	1.24	19.47	842.51	6.49	1.19
200	-2.88	0	0.00	0.00	0.00	960	1.35	20.23	852.82	6.74	1.21
220	-2.89	0	0.00	0.00	0.00	980	1.46	21.21	832.89	7.07	1.18
240	-2.89	0	0.00	0.00	0.00	1000	1.54	22.09	799.43	7.36	1.13
260	-2.89	0	0.00	0.00	0.00	1020	1.59	23	769.07	7.67	1.09
280	-2.89	0	0.00	0.00	0.00	1040	1.64	23.79	765.05	7.93	1.08
300	-2.89	0	0.00	0.00	0.00	1060	1.71	24.65	767.01	8.22	1.09
320	-2.92	0.17	6.20	0.06	0.01	1080	1.74	25.26	702.54	8.42	0.99
340	-2.91	0.21	14.58	0.07	0.02	1100	1.8	26.28	712.65	8.76	1.01
360	-2.9	0.23	117.40	0.08	0.17	1120	1.86	27.03	677.42	9.01	0.96
380	-2.91	0.33	125.17	0.11	0.18	1140	1.9	27.38	700.05	9.13	0.99
400	-2.9	0.6	184.43	0.20	0.26	1160	1.96	27.78	707.19	9.26	1.00
420	-2.79	1.39	281.46	0.46	0.40	1180	2.04	28.58	704.69	9.53	1.00
440	-2.62	2.01	353.40	0.67	0.50	1200	2.15	29.85	697.5	9.95	0.99
460	-2.46	2.7	415.68	0.90	0.59	1220	2.26	31.1	699.2	10.37	0.99
480	-2.21	3.9	537.71	1.30	0.76	1240	2.48	32.12	781.97	10.71	1.11
500	-1.96	4.97	597.18	1.66	0.84	1260	2.61	33.34	874.11	11.11	1.24
520	-1.9	5.22	647.18	1.74	0.92	1280	2.63	34.47	895.28	11.49	1.27
540	-1.82	5.56	697.07	1.85	0.99	1300	2.63	36	789.42	12.00	1.12
560	-1.69	6.02	723.95	2.01	1.02	1320	2.65	36.74	809.18	12.25	1.14
580	-1.59	6.39	773.36	2.13	1.09	1340	2.68	37.19	823.31	12.40	1.16
600	-1.46	6.83	786.59	2.28	1.11	1360	2.71	37.57	831.48	12.52	1.18
620	-1.26	7.46	833.07	2.49	1.18	1380	2.75	37.85	854.91	12.62	1.21
640	-1.05	8.12	886.61	2.71	1.25	1400	2.79	38.08	854.92	12.69	1.21
660	-0.78	8.99	937.29	3.00	1.33	1420	2.8	38.47	878.47	12.82	1.24
680	-0.61	9.54	947.43	3.18	1.34	1440	2.82	38.97	888.69	12.99	1.26
700	-0.52	9.93	966.73	3.31	1.37	1460	2.82	39.11	901.14	13.04	1.27
720	-0.41	10.03	963.65	3.34	1.36	1480	2.83	39.64	901.15	13.21	1.27
740	-0.28	10.26	958.32	3.42	1.36	1500	2.84	40.11	906.01	13.37	1.28

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-2)												
FORMA DE PARTICULA		:Sub-Angular					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA		:Larapa-San Jeronimo-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA		:Muy Denso					HUMEDAD		:2.36%			
ESFUERZO NORMAL		:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:2.20 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO		:2mm/min					FECHA		:Febrero-2017			
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)										
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-1.45	10.57	1494.91	3.52	2.11	
20	-0.53	0	0.00	0.00	0.00	780	-1.39	11.03	1489.04	3.68	2.11	
40	-0.54	0	0.00	0.00	0.00	800	-1.24	11.59	1565	3.86	2.21	
60	-1.73	0	0.00	0.00	0.00	820	-1.25	11.59	1556.79	3.86	2.20	
80	-1.73	0	0.00	0.00	0.00	840	-0.97	12.75	1611.87	4.25	2.28	
100	-2.06	0	0.00	0.00	0.00	860	-0.65	14.17	1606.67	4.72	2.27	
120	-2.28	0	0.00	0.00	0.00	880	-0.54	14.63	1614.98	4.88	2.28	
140	-2.56	0	0.00	0.00	0.00	900	-0.4	15.29	1614.62	5.10	2.28	
160	-2.78	0	0.00	0.00	0.00	920	-0.2	16.11	1600.72	5.37	2.26	
180	-2.99	0	0.00	0.00	0.00	940	-0.06	16.87	1579.47	5.62	2.23	
200	-3.02	0	0.00	0.00	0.00	960	0.11	17.87	1494.08	5.96	2.11	
220	-3.19	0	0.00	0.00	0.00	980	0.29	18.67	1502.08	6.22	2.13	
240	-3.21	0	0.00	0.00	0.00	1000	0.43	19.05	1515.01	6.35	2.14	
260	-3.22	0	0.00	0.00	0.00	1020	0.57	20.02	1453.95	6.67	2.06	
280	-3.23	0	0.00	0.00	0.00	1040	0.68	21.12	1423.14	7.04	2.01	
300	-3.23	0	0.00	0.00	0.00	1060	0.72	21.82	1425.03	7.27	2.02	
320	-3.41	0.09	10.27	0.03	0.01	1080	0.68	22.47	1410.82	7.49	2.00	
340	-3.42	0.11	61.23	0.04	0.09	1100	0.86	23.31	1365.22	7.77	1.93	
360	-3.42	0.13	112.88	0.04	0.16	1120	0.96	24.1	1339.69	8.03	1.90	
380	-3.42	0.13	168.90	0.04	0.24	1140	1.07	25.02	1365.22	8.34	1.93	
400	-3.41	0.21	205.91	0.07	0.29	1160	1.16	25.87	1350.02	8.62	1.91	
420	-3.42	0.64	245.15	0.21	0.35	1180	1.21	26.5	1292.1	8.83	1.83	
440	-3.42	1.04	313.15	0.35	0.44	1200	1.22	26.52	1299.4	8.84	1.84	
460	-3.4	1.61	394.67	0.54	0.56	1220	1.36	27.89	1290.98	9.30	1.83	
480	-3.33	2.28	473.45	0.76	0.67	1240	1.47	28.95	1290.4	9.65	1.83	
500	-3.29	2.56	548.69	0.85	0.78	1260	1.54	29.65	1335.18	9.88	1.89	
520	-3.25	2.89	608.69	0.96	0.86	1280	1.83	31.19	1285.8	10.40	1.82	
540	-3.11	3.41	662.91	1.14	0.94	1300	1.95	31.86	1382.4	10.62	1.96	
560	-2.98	3.71	723.03	1.24	1.02	1320	2.06	32.4	1438.43	10.80	2.03	
580	-2.88	4.64	848.51	1.55	1.20	1340	2.14	33.29	1451.61	11.10	2.05	
600	-2.8	5.16	1005.26	1.72	1.42	1360	2.3	34.26	1436.06	11.42	2.03	
620	-2.68	5.54	1045.69	1.85	1.48	1380	2.44	35.93	1456.7	11.98	2.06	
640	-2.42	6.77	1121.97	2.26	1.59	1400	2.44	37.06	1408.92	12.35	1.99	
660	-2.14	7.8	1187.97	2.60	1.68	1420	2.46	37.93	1361.34	12.64	1.93	
680	-2.01	8.37	1256.80	2.79	1.78	1440	2.46	38.33	1366.75	12.78	1.93	
700	-1.82	9.22	1386.45	3.07	1.96	1460	2.47	38.35	1376.88	12.78	1.95	
720	-1.62	9.99	1436.51	3.33	2.03	1480	2.48	39.43	1376.69	13.14	1.95	
740	-1.5	10.21	1467.45	3.40	2.08	1500	2.48	40.11	1369.54	13.37	1.94	

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)											
FORMA DE PARTICULA	:Redondeado					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Huambutio-Oropesa-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD	:0.30%				
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.96 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-2.79	15.83	392.21	5.28	0.55
20	-0.62	0	0.00	0.00	0.00	780	-2.79	16.9	409.45	5.63	0.58
40	-0.86	0	0.00	0.00	0.00	800	-2.79	17.85	426.41	5.95	0.60
60	-1.07	0	0.00	0.00	0.00	820	-2.79	18.63	416.41	6.21	0.59
80	-1.16	0	0.00	0.00	0.00	840	-2.79	18.99	418.55	6.33	0.59
100	-1.49	0	0.00	0.00	0.00	860	-2.79	19.13	430.62	6.38	0.61
120	-1.89	0	0.00	0.00	0.00	880	-2.79	20.02	446.61	6.67	0.63
140	-2.06	0	0.00	0.00	0.00	900	-2.79	20.45	461.57	6.82	0.65
160	-2.32	0	0.00	0.00	0.00	920	-2.79	20.93	452.42	6.98	0.64
180	-2.4	0	0.00	0.00	0.00	940	-2.79	22.31	488	7.44	0.69
200	-2.49	0	0.00	0.00	0.00	960	-2.79	23.08	492.26	7.69	0.70
220	-2.49	0	0.00	0.00	0.00	980	-2.79	23.49	494.87	7.83	0.70
240	-2.49	0	0.00	0.00	0.00	1000	-2.79	24.08	501.22	8.03	0.71
260	-2.49	0	0.00	0.00	0.00	1020	-2.79	24.53	507.62	8.18	0.72
280	-2.49	0	0.00	0.00	0.00	1040	-2.79	25.15	518.62	8.38	0.73
300	-2.49	0	0.00	0.00	0.00	1060	-2.8	26.53	546.06	8.84	0.77
320	-2.49	0.09	29.27	0.03	0.04	1080	-2.78	26.9	537.29	8.97	0.76
340	-2.52	1.49	100.29	0.50	0.14	1100	-2.8	27.18	529.06	9.06	0.75
360	-2.56	2.64	137.80	0.88	0.19	1120	-2.8	27.91	553.59	9.30	0.78
380	-2.66	3.63	162.16	1.21	0.23	1140	-2.8	28.36	562	9.45	0.80
400	-2.71	4.13	173.00	1.38	0.24	1160	-2.8	28.64	559.2	9.55	0.79
420	-2.75	5.17	201.09	1.72	0.28	1180	-2.79	29.41	582.72	9.80	0.82
440	-2.77	5.77	212.62	1.92	0.30	1200	-2.79	29.89	558.68	9.96	0.79
460	-2.78	6	222.98	2.00	0.32	1220	-2.81	31.17	568.11	10.39	0.80
480	-2.79	6.27	229.61	2.09	0.32	1240	-2.78	31.83	573.23	10.61	0.81
500	-2.79	6.89	244.00	2.30	0.35	1260	-2.79	32.6	574.24	10.87	0.81
520	-2.79	7.27	253.33	2.42	0.36	1280	-2.79	33.36	581.94	11.12	0.82
540	-2.79	8.18	266.62	2.73	0.38	1300	-2.8	35.08	579.76	11.69	0.82
560	-2.79	8.49	277.73	2.83	0.39	1320	-2.8	35.69	565.28	11.90	0.80
580	-2.79	9.34	292.51	3.11	0.41	1340	-2.78	36.63	561.73	12.21	0.79
600	-2.79	10.77	327.86	3.59	0.46	1360	-2.78	37.12	569.08	12.37	0.81
620	-2.79	11.03	326.21	3.68	0.46	1380	-2.77	37.91	547.16	12.64	0.77
640	-2.79	11.32	339.53	3.77	0.48	1400	-2.77	38.94	589.28	12.98	0.83
660	-2.79	11.89	339.58	3.96	0.48	1420	-2.78	39.16	573.36	13.05	0.81
680	-2.79	12.22	348.95	4.07	0.49	1440	-2.76	39.5	571.8	13.17	0.81
700	-2.79	12.97	357.81	4.32	0.51	1460	-2.76	39.84	584.58	13.28	0.83
720	-2.79	13.5	374.93	4.50	0.53	1480	-2.73	40	570.94	13.33	0.81
740	-2.79	14.89	382.67	4.96	0.54	1500	-2.73	40.12	569.92	13.37	0.81

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)												
FORMA DE PARTICULA	:Redondeado						ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Huambutio-Oropesa-Cusco						CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto						HUMEDAD	:0.30%				
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2						DENSIDAD SECA	:1.97 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min						FECHA	:Enero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)												
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)		Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00		760	-4.36	15.99	653.94	5.33	0.93
20	-0.18	0	0.00	0.00	0.00		780	-4.37	16.5	660.4	5.50	0.93
40	-1.22	0	0.00	0.00	0.00		800	-4.36	16.87	674.37	5.62	0.95
60	-2.49	0	0.00	0.00	0.00		820	-4.36	17.54	669.65	5.85	0.95
80	-2.54	0	0.00	0.00	0.00		840	-4.36	18.01	695.56	6.00	0.98
100	-3.08	0	0.00	0.00	0.00		860	-4.37	18.59	687.82	6.20	0.97
120	-3.19	0	0.00	0.00	0.00		880	-4.37	19.26	703.52	6.42	1.00
140	-3.8	0	0.00	0.00	0.00		900	-4.37	19.79	731.64	6.60	1.04
160	-3.89	0	0.00	0.00	0.00		920	-4.37	20.45	734.89	6.82	1.04
180	-3.9	0	0.00	0.00	0.00		940	-4.37	21.36	742.74	7.12	1.05
200	-3.9	0	0.00	0.00	0.00		960	-4.37	22.03	762.35	7.34	1.08
220	-3.9	0	0.00	0.00	0.00		980	-4.37	22.66	773.81	7.55	1.09
240	-3.9	0	0.00	0.00	0.00		1000	-4.37	23.47	782.33	7.82	1.11
260	-3.9	0	0.00	0.00	0.00		1020	-4.37	24.21	796.22	8.07	1.13
280	-3.89	0	0.00	0.00	0.00		1040	-4.37	24.42	806.29	8.14	1.14
300	-3.89	0	0.00	0.00	0.00		1060	-4.37	25.02	814.63	8.34	1.15
320	-3.9	0.02	10.06	0.01	0.01		1080	-4.37	25.6	828.28	8.53	1.17
340	-3.9	0.17	62.94	0.06	0.09		1100	-4.37	26.33	836.01	8.78	1.18
360	-3.9	0.66	118.49	0.22	0.17		1120	-4.37	27.03	833.97	9.01	1.18
380	-4.06	1.59	180.52	0.53	0.26		1140	-4.37	27.65	841.04	9.22	1.19
400	-4.06	2.87	257.45	0.96	0.36		1160	-4.38	28.2	848.2	9.40	1.20
420	-4.06	3.55	290.61	1.18	0.41		1180	-4.38	28.86	843.95	9.62	1.19
440	-4.34	4.52	343.05	1.51	0.49		1200	-4.38	29.25	865.86	9.75	1.22
460	-4.36	5.42	381.39	1.81	0.54		1220	-4.37	29.87	859.86	9.96	1.22
480	-4.36	6.34	418.36	2.11	0.59		1240	-4.37	30.86	869.25	10.29	1.23
500	-4.36	7.08	461.72	2.36	0.65		1260	-4.37	31.75	878.8	10.58	1.24
520	-4.36	8.15	490.49	2.72	0.69		1280	-4.38	32.49	877.54	10.83	1.24
540	-4.36	8.55	491.69	2.85	0.70		1300	-4.37	33.19	886.6	11.06	1.25
560	-4.36	8.91	506.67	2.97	0.72		1320	-4.37	33.64	892.49	11.21	1.26
580	-4.37	9.32	523.03	3.11	0.74		1340	-4.38	34.32	888.51	11.44	1.26
600	-4.36	9.91	539.90	3.30	0.76		1360	-4.39	35.23	886.09	11.74	1.25
620	-4.37	10.53	547.73	3.51	0.77		1380	-4.31	35.76	858.07	11.92	1.21
640	-4.37	11.39	572.00	3.80	0.81		1400	-4.35	36.65	879.58	12.22	1.24
660	-4.37	12.31	586.97	4.10	0.83		1420	-4.34	37.24	884.43	12.41	1.25
680	-4.36	13	599.06	4.33	0.85		1440	-4.34	37.68	866.43	12.56	1.23
700	-4.37	13.55	618.11	4.52	0.87		1460	-4.32	38.67	865.63	12.89	1.22
720	-4.36	14.55	625.61	4.85	0.89		1480	-4.3	39.77	867.77	13.26	1.23
740	-4.37	15.09	643.90	5.03	0.91		1500	-4.3	40.29	865.29	13.43	1.22

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)											
FORMA DE PARTICULA	:Redondeado					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Huambutio-Oropesa-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD	:0.30%				
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.97 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-8.08	15.69	1100.46	5.23	1.56
20	-0.15	0	0.00	0.00	0.00	780	-8.07	16.45	1134.49	5.48	1.60
40	-1.8	0	0.00	0.00	0.00	800	-8.07	16.84	1134.04	5.61	1.60
60	-2.28	0	0.00	0.00	0.00	820	-8.05	17.33	1160	5.78	1.64
80	-3.92	0	0.00	0.00	0.00	840	-8.03	17.85	1196.45	5.95	1.69
100	-4.08	0	0.00	0.00	0.00	860	-8	18.51	1210.25	6.17	1.71
120	-5.41	0	0.00	0.00	0.00	880	-7.95	19.36	1276.97	6.45	1.81
140	-6	0	0.00	0.00	0.00	900	-7.92	19.99	1310.01	6.66	1.85
160	-6.5	0	0.00	0.00	0.00	920	-7.86	20.89	1355.88	6.96	1.92
180	-6.94	0	0.00	0.00	0.00	940	-7.83	21.34	1376.67	7.11	1.95
200	-7.23	0	0.00	0.00	0.00	960	-7.79	21.95	1365.85	7.32	1.93
220	-7.29	0	0.00	0.00	0.00	980	-7.75	22.72	1345.67	7.57	1.90
240	-7.43	0	0.00	0.00	0.00	1000	-7.76	22.84	1350.61	7.61	1.91
260	-7.56	0	0.00	0.00	0.00	1020	-7.71	23.32	1386.59	7.77	1.96
280	-7.65	0	0.00	0.00	0.00	1040	-7.67	23.97	1412.14	7.99	2.00
300	-7.65	0	0.00	0.00	0.00	1060	-7.6	24.88	1449.85	8.29	2.05
320	-7.81	0	0.45	0.00	0.00	1080	-7.56	25.68	1442.45	8.56	2.04
340	-7.81	0.1	36.24	0.03	0.05	1100	-7.48	26.46	1499.52	8.82	2.12
360	-7.89	0.5	141.59	0.17	0.20	1120	-7.43	27.33	1497.04	9.11	2.12
380	-8.05	1.8	320.24	0.60	0.45	1140	-7.4	28.12	1500.22	9.37	2.12
400	-8.09	2.89	430.71	0.96	0.61	1160	-7.35	29.45	1498.9	9.82	2.12
420	-8.12	3.56	489.12	1.19	0.69	1180	-7.35	30.2	1492.54	10.07	2.11
440	-8.13	4.38	527.26	1.46	0.75	1200	-7.34	30.49	1487.37	10.16	2.10
460	-8.13	5.14	600.81	1.71	0.85	1220	-7.32	31.09	1470.04	10.36	2.08
480	-8.15	5.72	646.31	1.91	0.91	1240	-7.25	32.15	1435.04	10.72	2.03
500	-8.14	6.46	675.60	2.15	0.96	1260	-7.25	32.4	1481.09	10.80	2.10
520	-8.15	7.45	730.01	2.48	1.03	1280	-7.26	33.58	1482.65	11.19	2.10
540	-8.15	8.04	752.17	2.68	1.06	1300	-7.23	34.18	1522.89	11.39	2.15
560	-8.15	8.61	769.39	2.87	1.09	1320	-7.22	34.68	1526.41	11.56	2.16
580	-8.15	9.23	825.81	3.08	1.17	1340	-7.22	35.33	1528.38	11.78	2.16
600	-8.15	9.84	867.84	3.28	1.23	1360	-7.21	35.76	1528.88	11.92	2.16
620	-8.15	10.65	911.39	3.55	1.29	1380	-7.21	36.59	1506.25	12.20	2.13
640	-8.15	11.04	930.04	3.68	1.32	1400	-7.2	37.62	1521.4	12.54	2.15
660	-8.15	11.6	964.76	3.87	1.36	1420	-7.18	37.91	1518.83	12.64	2.15
680	-8.14	12.46	971.34	4.15	1.37	1440	-7.18	38.26	1497.66	12.75	2.12
700	-8.13	13.23	1057.84	4.41	1.50	1460	-7.16	38.8	1478.09	12.93	2.09
720	-8.13	13.72	1081.48	4.57	1.53	1480	-7.16	39.78	1496.23	13.26	2.12
740	-8.1	14.87	1155.08	4.96	1.63	1500	-7.16	39.87	1516.89	13.29	2.15

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)											
FORMA DE PARTICULA	:Redondeado					ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Huambutio-Lucre-Quispicanchi-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Medio					HUMEDAD		:0.30%			
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:2.12 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-0.98	16.39	567.61	5.46	0.80
20	-0.58	0	0.00	0.00	0.00	780	-0.92	16.95	572.27	5.65	0.81
40	-1.33	0	0.00	0.00	0.00	800	-0.82	17.59	579.34	5.86	0.82
60	-1.9	0	0.00	0.00	0.00	820	-0.67	18.29	589.91	6.10	0.83
80	-1.94	0	0.00	0.00	0.00	840	-0.54	18.89	609.29	6.30	0.86
100	-1.96	0	0.00	0.00	0.00	860	-0.35	19.01	612.44	6.34	0.87
120	-1.97	0	0.00	0.00	0.00	880	-0.31	19.41	593.41	6.47	0.84
140	-1.98	0	0.00	0.00	0.00	900	-0.21	19.97	615.78	6.66	0.87
160	-1.99	0	0.00	0.00	0.00	920	-0.13	20.71	632.41	6.90	0.89
180	-1.99	0	0.00	0.00	0.00	940	-0.09	22.45	672.78	7.48	0.95
200	-2	0	0.00	0.00	0.00	960	-0.08	22.86	680.98	7.62	0.96
220	-2	0	0.00	0.00	0.00	980	-0.04	23.72	692.44	7.91	0.98
240	-2.01	0	0.00	0.00	0.00	1000	0.03	24.31	694.36	8.10	0.98
260	-2.01	0	0.00	0.00	0.00	1020	0.14	24.88	693.58	8.29	0.98
280	-2.01	0	0.00	0.00	0.00	1040	0.13	25.39	691.29	8.46	0.98
300	-2.01	0	0.00	0.00	0.00	1060	0.2	25.95	691.94	8.65	0.98
320	-2.02	0.08	21.27	0.03	0.03	1080	0.24	26.04	689.15	8.68	0.97
340	-2.05	1.68	144.69	0.56	0.20	1100	0.31	26.66	611.99	8.89	0.87
360	-2.11	2.19	171.14	0.73	0.24	1120	0.33	27.15	673.54	9.05	0.95
380	-2.12	2.5	189.45	0.83	0.27	1140	0.41	27.51	688.24	9.17	0.97
400	-2.07	2.54	192.32	0.85	0.27	1160	0.52	28.65	687.88	9.55	0.97
420	-2.01	4.15	263.34	1.38	0.37	1180	0.52	29.85	688.06	9.95	0.97
440	-2.01	4.17	258.82	1.39	0.37	1200	0.56	30.19	693.74	10.06	0.98
460	-1.92	6.94	367.22	2.31	0.52	1220	0.58	30.49	678.58	10.16	0.96
480	-1.82	7.78	406.52	2.59	0.58	1240	0.69	30.89	688.19	10.30	0.97
500	-1.77	7.84	411.16	2.61	0.58	1260	0.77	31.98	661.44	10.66	0.94
520	-1.73	8.77	426.11	2.92	0.60	1280	0.8	32.66	664.09	10.89	0.94
540	-1.67	9.22	444.74	3.07	0.63	1300	0.91	33.43	688.51	11.14	0.97
560	-1.59	9.6	463.87	3.20	0.66	1320	0.94	33.53	683.6	11.18	0.97
580	-1.59	9.98	476.56	3.33	0.67	1340	0.99	34.09	697.41	11.36	0.99
600	-1.53	10.68	485.83	3.56	0.69	1360	1.04	34.46	689.82	11.49	0.98
620	-1.47	11.33	485.23	3.78	0.69	1380	1.09	35.29	677.8	11.76	0.96
640	-1.44	11.98	511.78	3.99	0.72	1400	1.14	36.04	696	12.01	0.98
660	-1.39	12.96	517.17	4.32	0.73	1420	1.15	36.68	699.19	12.23	0.99
680	-1.29	13	519.68	4.33	0.74	1440	1.15	37.83	714.09	12.61	1.01
700	-1.19	13.48	541.08	4.49	0.77	1460	1.16	37.88	702.47	12.63	0.99
720	-1.1	14.54	550.37	4.85	0.78	1480	1.18	38.27	689.49	12.76	0.98
740	-1.03	15.18	543.73	5.06	0.77	1500	1.24	38.78	705.59	12.93	1.00

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)											
FORMA DE PARTICULA	:Redondeado					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Huambutio-Lucre-Quispicanchi-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Medio					HUMEDAD	:0.30%				
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:2.12 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-1.94	15.64	795.77	5.21	1.13
20	-0.44	0	0.00	0.00	0.00	780	-1.87	16.54	815.08	5.51	1.15
40	-1.46	0	0.00	0.00	0.00	800	-1.81	17.85	832.33	5.95	1.18
60	-2.5	0	0.00	0.00	0.00	820	-1.72	18.32	852.57	6.11	1.21
80	-2.57	0	0.00	0.00	0.00	840	-1.6	19.34	882.52	6.45	1.25
100	-2.58	0	0.00	0.00	0.00	860	-1.51	19.79	901.1	6.60	1.27
120	-2.76	0	0.00	0.00	0.00	880	-1.44	20.25	910.91	6.75	1.29
140	-2.8	0	0.00	0.00	0.00	900	-1.41	20.76	920.14	6.92	1.30
160	-2.84	0	0.00	0.00	0.00	920	-1.34	21.6	935.58	7.20	1.32
180	-2.84	0	0.00	0.00	0.00	940	-1.25	22.65	952.49	7.55	1.35
200	-2.85	0	0.00	0.00	0.00	960	-1.18	23.5	961.67	7.83	1.36
220	-2.85	0	0.00	0.00	0.00	980	-1.08	24.53	974	8.18	1.38
240	-2.86	0	0.00	0.00	0.00	1000	-1.02	25.99	978.17	8.66	1.38
260	-2.87	0	0.00	0.00	0.00	1020	-0.95	27.19	962.6	9.06	1.36
280	-2.88	0	0.00	0.00	0.00	1040	-0.86	28.01	970.51	9.34	1.37
300	-2.88	0	0.00	0.00	0.00	1060	-0.8	28.17	971.77	9.39	1.37
320	-2.9	0.19	77.59	0.06	0.11	1080	-0.76	28.57	974.6	9.52	1.38
340	-2.93	0.42	123.51	0.14	0.17	1100	-0.69	28.7	986	9.57	1.39
360	-2.97	1.77	277.14	0.59	0.39	1120	-0.66	28.98	969.78	9.66	1.37
380	-2.99	2.48	332.26	0.83	0.47	1140	-0.62	29.84	960.92	9.95	1.36
400	-3	3.05	366.12	1.02	0.52	1160	-0.59	31	973	10.33	1.38
420	-3	3.5	398.83	1.17	0.56	1180	-0.53	31.62	943.21	10.54	1.33
440	-2.98	4.28	442.25	1.43	0.63	1200	-0.46	32.21	972.09	10.74	1.38
460	-2.92	4.98	465.01	1.66	0.66	1220	-0.42	33.09	952.32	11.03	1.35
480	-2.86	5.46	476.10	1.82	0.67	1240	-0.35	33.88	977.15	11.29	1.38
500	-2.8	5.81	486.40	1.94	0.69	1260	-0.27	34.12	1006.16	11.37	1.42
520	-2.75	6.28	527.63	2.09	0.75	1280	-0.21	34.35	969.81	11.45	1.37
540	-2.73	6.78	540.81	2.26	0.77	1300	-0.16	34.5	946.99	11.50	1.34
560	-2.65	7.56	556.37	2.52	0.79	1320	-0.03	34.97	959	11.66	1.36
580	-2.57	8.42	593.00	2.81	0.84	1340	0.02	35.56	913.57	11.85	1.29
600	-2.49	9.04	617.08	3.01	0.87	1360	0.05	35.98	969.39	11.99	1.37
620	-2.45	9.55	635.42	3.18	0.90	1380	0.07	36.97	945.98	12.32	1.34
640	-2.37	10.51	669.87	3.50	0.95	1400	0.09	37.52	976.91	12.51	1.38
660	-2.31	11.47	690.21	3.82	0.98	1420	0.13	37.95	1001.85	12.65	1.42
680	-2.24	12.28	720.50	4.09	1.02	1440	0.16	38.26	971.26	12.75	1.37
700	-2.16	13.26	734.78	4.42	1.04	1460	0.21	38.66	975.5	12.89	1.38
720	-2.08	13.87	752.62	4.62	1.06	1480	0.23	39.04	970.45	13.01	1.37
740	-1.98	14.84	772.23	4.95	1.09	1500	0.28	39.53	954.01	13.18	1.35

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)												
FORMA DE PARTICULA	:Redondeado						ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Huambutio-Lucrer-Quispicanchi-Cusco						CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Medio						HUMEDAD	:0.30%				
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2						DENSIDAD SECA	:2.12 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min						FECHA	:Enero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)												
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)		Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00		760	-3.33	14.1	1498.93	4.70	2.12
20	-0.02	0	0.00	0.00	0.00		780	-3.31	14.5	1515.96	4.83	2.14
40	-1.93	0	0.00	0.00	0.00		800	-3.29	14.9	1549.37	4.97	2.19
60	-2	0	0.00	0.00	0.00		820	-3.25	15.38	1536.12	5.13	2.17
80	-2.17	0	0.00	0.00	0.00		840	-3.21	15.85	1535.35	5.28	2.17
100	-2.63	0	0.00	0.00	0.00		860	-3.19	16.56	1548.23	5.52	2.19
120	-2.87	0	0.00	0.00	0.00		880	-3.13	17.24	1568.33	5.75	2.22
140	-3.05	0	0.00	0.00	0.00		900	-3.04	17.9	1600.72	5.97	2.26
160	-3.06	0	0.00	0.00	0.00		920	-2.99	18.87	1563.51	6.29	2.21
180	-3.06	0	0.00	0.00	0.00		940	-2.88	20.42	1609.39	6.81	2.28
200	-3.11	0	0.00	0.00	0.00		960	-2.85	20.46	1609.03	6.82	2.28
220	-3.21	0	0.00	0.00	0.00		980	-2.78	21.29	1648.72	7.10	2.33
240	-3.28	0	0.00	0.00	0.00		1000	-2.69	22.28	1663.36	7.43	2.35
260	-3.3	0	0.00	0.00	0.00		1020	-2.62	22.97	1689.35	7.66	2.39
280	-3.3	0	0.00	0.00	0.00		1040	-2.56	23.54	1616.56	7.85	2.29
300	-3.3	0	0.00	0.00	0.00		1060	-2.53	23.54	1618.22	7.85	2.29
320	-3.33	0.02	21.28	0.01	0.03		1080	-2.5	24.12	1669.77	8.04	2.36
340	-3.33	0.07	68.53	0.02	0.10		1100	-2.45	24.84	1684	8.28	2.38
360	-3.33	0.1	148.28	0.03	0.21		1120	-2.4	25.34	1699.93	8.45	2.40
380	-3.34	0.18	274.07	0.06	0.39		1140	-2.36	25.82	1700.49	8.61	2.41
400	-3.34	0.53	405.28	0.18	0.57		1160	-2.33	26.51	1720.06	8.84	2.43
420	-3.35	0.54	407.02	0.18	0.58		1180	-2.3	27.3	1741.32	9.10	2.46
440	-3.34	1.71	558.22	0.57	0.79		1200	-2.28	28.28	1759.15	9.43	2.49
460	-3.34	2.87	728.84	0.96	1.03		1220	-2.24	29.21	1742.74	9.74	2.47
480	-3.36	3.84	832.01	1.28	1.18		1240	-2.21	29.79	1751.94	9.93	2.48
500	-3.34	5.24	959.33	1.75	1.36		1260	-2.19	30.28	1740.51	10.09	2.46
520	-3.34	6.01	1024.26	2.00	1.45		1280	-2.16	30.63	1711.96	10.21	2.42
540	-3.35	6.04	1024.94	2.01	1.45		1300	-2.12	32.11	1858.46	10.70	2.63
560	-3.35	6.7	1071.74	2.23	1.52		1320	-2.09	34.19	1771.09	11.40	2.51
580	-3.35	7.18	1123.20	2.39	1.59		1340	-2.06	34.34	1703.59	11.45	2.41
600	-3.35	7.63	1154.41	2.54	1.63		1360	-2.03	35.26	1706.23	11.75	2.41
620	-3.35	8.42	1228.19	2.81	1.74		1380	-2	36.27	1734.27	12.09	2.45
640	-3.35	9.22	1263.56	3.07	1.79		1400	-1.96	37.26	1741.59	12.42	2.46
660	-3.35	10.06	1304.34	3.35	1.85		1420	-1.94	38	1761.77	12.67	2.49
680	-3.35	10.74	1360.43	3.58	1.92		1440	-1.91	38.54	1756.31	12.85	2.48
700	-3.35	12.08	1440.84	4.03	2.04		1460	-1.83	38.68	1743.37	12.89	2.47
720	-3.35	13.4	1481.32	4.47	2.10		1480	-1.8	39.69	1708.08	13.23	2.42
740	-3.35	13.42	1476.42	4.47	2.09		1500	-1.71	40.65	1742.83	13.55	2.47

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)												
FORMA DE PARTICULA	:Redondeado					ESTADO	Remoldeado					
PROCEDENCIA	:Huambutio-Oropesa-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar					
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso					HUMEDAD	:0.30%					
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:2.30 g/cm3					
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017					
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)										
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)		Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00		760	2.37	15.04	848.8	5.01	1.20
20	-0.01	0	0.00	0.00	0.00		780	2.56	15.8	850.05	5.27	1.20
40	-0.77	0	0.00	0.00	0.00		800	2.71	16.41	839.13	5.47	1.19
60	-1.25	0	0.00	0.00	0.00		820	3.13	18.27	823.26	6.09	1.16
80	-1.29	0	0.00	0.00	0.00		840	3.36	19.11	791.9	6.37	1.12
100	-1.3	0	0.00	0.00	0.00		860	3.62	20.15	746.38	6.72	1.06
120	-1.3	0	0.00	0.00	0.00		880	3.88	21.15	706.31	7.05	1.00
140	-1.31	0	0.00	0.00	0.00		900	4.19	22.4	657.23	7.47	0.93
160	-1.31	0	0.00	0.00	0.00		920	4.47	23	660.74	7.67	0.93
180	-1.32	0	0.00	0.00	0.00		940	4.63	23.41	653.6	7.80	0.92
200	-1.32	0	0.00	0.00	0.00		960	4.81	24.07	655.07	8.02	0.93
220	-1.32	0	0.00	0.00	0.00		980	5	24.76	628.66	8.25	0.89
240	-1.32	0	0.00	0.00	0.00		1000	5.09	25.32	640.1	8.44	0.91
260	-1.33	0	0.00	0.00	0.00		1020	5.13	25.66	637.22	8.55	0.90
280	-1.34	0	0.00	0.00	0.00		1040	5.18	26.03	642.44	8.68	0.91
300	-1.34	0	0.00	0.00	0.00		1060	5.22	26.3	648.23	8.77	0.92
320	-1.34	0.03	1.26	0.01	0.00		1080	5.35	27.28	663.99	9.09	0.94
340	-1.34	0.12	46.04	0.04	0.07		1100	5.35	27.31	665.65	9.10	0.94
360	-1.31	0.69	117.55	0.23	0.17		1120	5.4	27.66	644.15	9.22	0.91
380	-1.25	1	151.07	0.33	0.21		1140	5.48	28.17	657.67	9.39	0.93
400	-1.17	1.44	193.13	0.48	0.27		1160	5.52	28.49	647.28	9.50	0.92
420	-1.17	1.52	192.47	0.51	0.27		1180	5.58	28.95	663.33	9.65	0.94
440	-0.98	2.54	276.56	0.85	0.39		1200	5.64	29.46	663.27	9.82	0.94
460	-0.82	3.5	354.20	1.17	0.50		1220	5.73	30.04	662.89	10.01	0.94
480	-0.66	4.52	427.33	1.51	0.60		1240	5.81	30.58	684.54	10.19	0.97
500	-0.53	5.15	447.61	1.72	0.63		1260	6	31.98	687.53	10.66	0.97
520	-0.33	6.24	522.25	2.08	0.74		1280	6.14	33.18	718.69	11.06	1.02
540	-0.09	7.47	589.23	2.49	0.83		1300	6.17	33.57	689.76	11.19	0.98
560	0.02	7.85	603.81	2.62	0.85		1320	6.33	34.89	682.88	11.63	0.97
580	0.29	8.84	667.35	2.95	0.94		1340	6.43	35.79	680.39	11.93	0.96
600	0.47	9.66	706.55	3.22	1.00		1360	6.54	36.61	681.75	12.20	0.96
620	0.97	10.9	768.71	3.63	1.09		1380	6.54	36.6	677.31	12.20	0.96
640	1.11	11.52	799.99	3.84	1.13		1400	6.69	37.7	680.19	12.57	0.96
660	1.22	11.6	813.10	3.87	1.15		1420	6.84	38.95	679.97	12.98	0.96
680	1.45	12.19	837.26	4.06	1.18		1440	6.84	38.95	676.9	12.98	0.96
700	1.6	12.45	857.73	4.15	1.21		1460	6.86	39.2	673.93	13.07	0.95
720	2.01	13.85	864.25	4.62	1.22		1480	6.87	39.89	663.93	13.30	0.94
740	2.35	14.95	853.32	4.98	1.21		1500	6.87	40.12	663.34	13.37	0.94

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)												
FORMA DE PARTICULA		:Redondeado				ESTADO		Remoldeado				
PROCEDENCIA		:Huambutio-Oropesa-Cusco				CONDICION		:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA		:Muy Denso				HUMEDAD		:0.30%				
ESFUERZO NORMAL		:1.00 kg/cm2				DENSIDAD SECA		:2.30 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO		:2mm/min				FECHA		:Enero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)										
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	2.44	19.26	1254.77	6.42	1.78	
20	-0.5	0	0.00	0.00	0.00	780	2.6	19.98	1195.59	6.66	1.69	
40	-1.19	0	0.00	0.00	0.00	800	2.69	20.14	1180.09	6.71	1.67	
60	-1.31	0	0.00	0.00	0.00	820	2.78	20.45	1165.64	6.82	1.65	
80	-1.8	0	0.00	0.00	0.00	840	2.96	21.93	1191.8	7.31	1.69	
100	-2.04	0	0.00	0.00	0.00	860	2.99	21.45	1175.41	7.15	1.66	
120	-2.17	0	0.00	0.00	0.00	880	3.1	21.93	1191.8	7.31	1.69	
140	-2.25	0	0.00	0.00	0.00	900	3.3	22.75	1167.88	7.58	1.65	
160	-2.29	0	0.00	0.00	0.00	920	3.36	22.96	1169.03	7.65	1.65	
180	-2.3	0	0.00	0.00	0.00	940	3.49	23.77	1177.21	7.92	1.67	
200	-2.31	0	0.00	0.00	0.00	960	3.6	24.3	1170.77	8.10	1.66	
220	-2.32	0	0.00	0.00	0.00	980	3.7	24.96	1149.57	8.32	1.63	
240	-2.33	0	0.00	0.00	0.00	1000	3.94	26.22	1170.98	8.74	1.66	
260	-2.33	0	0.00	0.00	0.00	1020	4.02	26.81	1130.43	8.94	1.60	
280	-2.35	0	0.00	0.00	0.00	1040	4.11	27.21	1135.47	9.07	1.61	
300	-2.35	0	0.00	0.00	0.00	1060	4.25	27.88	1156.05	9.29	1.64	
320	-2.35	0.07	44.96	0.02	0.06	1080	4.37	28.58	1133.86	9.53	1.60	
340	-2.34	0.31	125.24	0.10	0.18	1100	4.45	29.02	1137.92	9.67	1.61	
360	-2.32	0.74	231.50	0.25	0.33	1120	4.51	29.35	1136.23	9.78	1.61	
380	-2.08	1.88	381.10	0.63	0.54	1140	4.58	29.72	1114.91	9.91	1.58	
400	-1.58	3.44	559.93	1.15	0.79	1160	4.66	30.17	1167.65	10.06	1.65	
420	-1.34	4.57	674.90	1.52	0.95	1180	4.73	30.61	1120.51	10.20	1.59	
440	-1.17	5.23	744.01	1.74	1.05	1200	4.87	31.52	1118.91	10.51	1.58	
460	-1.17	5.24	747.27	1.75	1.06	1220	5	32.22	1126.12	10.74	1.59	
480	-0.9	6.34	848.06	2.11	1.20	1240	5.05	32.3	1136	10.77	1.61	
500	-0.61	7.53	961.23	2.51	1.36	1260	5.23	33.66	1078.74	11.22	1.53	
520	-0.27	8.96	1049.10	2.99	1.48	1280	5.51	35.59	1072.31	11.86	1.52	
540	0.07	10.37	1167.37	3.46	1.65	1300	5.51	35.58	1063.82	11.86	1.50	
560	0.44	11.6	1247.95	3.87	1.77	1320	5.63	35.81	1046.29	11.94	1.48	
580	0.62	12.2	1236.61	4.07	1.75	1340	5.75	36.63	1052.25	12.21	1.49	
600	0.73	12.57	1222.35	4.19	1.73	1360	5.82	37.15	1041.33	12.38	1.47	
620	1.01	13.58	1265.83	4.53	1.79	1380	5.86	37.41	1056.29	12.47	1.49	
640	1.46	15.32	1286.87	5.11	1.82	1400	5.88	38.13	1052.25	12.71	1.49	
660	1.67	16.15	1271.32	5.38	1.80	1420	5.91	38.45	1042.66	12.82	1.48	
680	1.94	17.12	1290.88	5.71	1.83	1440	5.94	38.61	1038.26	12.87	1.47	
700	1.99	17.26	1283.46	5.75	1.82	1460	5.98	38.92	1043.21	12.97	1.48	
720	2.22	18.28	1265.67	6.09	1.79	1480	6.05	39.63	1041.25	13.21	1.47	
740	2.42	19.15	1251.57	6.38	1.77	1500	6.08	40.15	1042.06	13.38	1.47	

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-3)											
FORMA DE PARTICULA	:Redondeado					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Huambutio-Oropesa-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso					HUMEDAD	:0.30%				
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:2.30 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-0.42	16.42	2125.71	5.47	3.01
20	-0.42	0	0.00	0.00	0.00	780	-0.35	16.79	2108.75	5.60	2.98
40	-1.07	0	0.00	0.00	0.00	800	-0.18	17.77	2150.25	5.92	3.04
60	-1.47	0	0.00	0.00	0.00	820	-0.05	18.48	2146.42	6.16	3.04
80	-1.54	0	0.00	0.00	0.00	840	-0.05	18.54	2138.15	6.18	3.02
100	-1.72	0	0.00	0.00	0.00	860	0.07	19.13	2145.15	6.38	3.03
120	-1.93	0	0.00	0.00	0.00	880	0.15	19.67	2121.78	6.56	3.00
140	-2.4	0	0.00	0.00	0.00	900	0.16	19.67	2112.29	6.56	2.99
160	-3.09	0	0.00	0.00	0.00	920	0.28	20.3	2118.33	6.77	3.00
180	-3.29	0	0.00	0.00	0.00	940	0.49	21.52	2128.51	7.17	3.01
200	-3.29	0	0.00	0.00	0.00	960	0.78	23.01	2121.7	7.67	3.00
220	-3.54	0	0.00	0.00	0.00	980	0.79	23.08	2118.28	7.69	3.00
240	-3.6	0	0.00	0.00	0.00	1000	0.91	23.68	2085.22	7.89	2.95
260	-3.65	0	0.00	0.00	0.00	1020	1.01	24.28	2037.05	8.09	2.88
280	-3.66	0	0.00	0.00	0.00	1040	1.15	24.94	2043.64	8.31	2.89
300	-3.66	0	0.00	0.00	0.00	1060	1.24	25.42	2036.76	8.47	2.88
320	-3.68	0.04	87.85	0.01	0.12	1080	1.29	25.79	2009.95	8.60	2.84
340	-3.7	0.07	118.18	0.02	0.17	1100	1.37	26.18	1999.13	8.73	2.83
360	-3.69	0.1	125.94	0.03	0.18	1120	1.46	26.67	1997.52	8.89	2.83
380	-3.7	0.59	317.34	0.20	0.45	1140	1.54	27.09	2031.58	9.03	2.87
400	-3.7	0.61	323.67	0.20	0.46	1160	1.72	28.36	1933.91	9.45	2.74
420	-3.58	1.37	522.96	0.46	0.74	1180	1.75	28.43	1948.38	9.48	2.76
440	-3.37	2.49	762.92	0.83	1.08	1200	1.85	29.28	1941.95	9.76	2.75
460	-3.18	3.29	902.98	1.10	1.28	1220	2	30.39	1959.56	10.13	2.77
480	-3.08	3.69	949.43	1.23	1.34	1240	2.07	30.94	1929.93	10.31	2.73
500	-2.86	4.67	1131.57	1.56	1.60	1260	2.17	31.66	1928.88	10.55	2.73
520	-2.58	5.79	1320.06	1.93	1.87	1280	2.26	32.5	1870.46	10.83	2.65
540	-2.33	6.84	1442.37	2.28	2.04	1300	2.37	33.18	1883.88	11.06	2.67
560	-2.12	7.82	1608.51	2.61	2.28	1320	2.46	33.75	1895.23	11.25	2.68
580	-1.94	8.53	1690.63	2.84	2.39	1340	2.6	34.33	2006.98	11.44	2.84
600	-1.79	9.34	1752.67	3.11	2.48	1360	2.7	34.88	2019.95	11.63	2.86
620	-1.65	10.09	1833.93	3.36	2.59	1380	2.83	35.92	2013.63	11.97	2.85
640	-1.48	10.99	1871.43	3.66	2.65	1400	2.83	35.95	1999.83	11.98	2.83
660	-1.28	12.04	1998.49	4.01	2.83	1420	2.94	36.58	2039.32	12.19	2.89
680	-1.1	12.96	2003.18	4.32	2.83	1440	3.07	37.52	2025	12.51	2.86
700	-0.84	14.29	2094.26	4.76	2.96	1460	3.18	38.06	2032.65	12.69	2.88
720	-0.66	15.2	2090.77	5.07	2.96	1480	3.38	39.77	2051.02	13.26	2.90
740	-0.43	16.38	2151.87	5.46	3.04	1500	3.4	40.05	1957.99	13.35	2.77

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)												
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Redondeado					ESTADO		Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Ccollana-San Jeronimo-Cusco					CONDICION		:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD		:0.55%				
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2					DENSIDAD SECA		:1.90 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA		:Enero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)										
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)		Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00		760	-2.69	16.71	479.92	5.57	0.68
20	-0.87	0	0.00	0.00	0.00		780	-2.7	17.45	485.85	5.82	0.69
40	-1.6	0	0.00	0.00	0.00		800	-2.69	18.18	480.69	6.06	0.68
60	-2	0	0.00	0.00	0.00		820	-2.7	18.43	481.57	6.14	0.68
80	-2.26	0	0.00	0.00	0.00		840	-2.7	19.27	514.54	6.42	0.73
100	-2.35	0	0.00	0.00	0.00		860	-2.7	19.74	520.46	6.58	0.74
120	-2.37	0	0.00	0.00	0.00		880	-2.7	20.73	528.02	6.91	0.75
140	-2.42	0	0.00	0.00	0.00		900	-2.7	21.79	541.65	7.26	0.77
160	-2.42	0	0.00	0.00	0.00		920	-2.7	22.24	532.41	7.41	0.75
180	-2.44	0	0.00	0.00	0.00		940	-2.7	22.68	545.95	7.56	0.77
200	-2.44	0	0.00	0.00	0.00		960	-2.7	23.44	574.76	7.81	0.81
220	-2.44	0	0.00	0.00	0.00		980	-2.7	24.64	569	8.21	0.80
240	-2.47	0	0.00	0.00	0.00		1000	-2.7	25.42	585.07	8.47	0.83
260	-2.47	0	0.00	0.00	0.00		1020	-2.7	25.83	589.69	8.61	0.83
280	-2.47	0	0.00	0.00	0.00		1040	-2.7	26.64	592.56	8.88	0.84
300	-2.49	0	0.00	0.00	0.00		1060	-2.7	27.12	590.82	9.04	0.84
320	-2.52	0.44	54.93	0.15	0.08		1080	-2.7	27.77	584.52	9.26	0.83
340	-2.67	2.53	141.52	0.84	0.20		1100	-2.69	28.94	593.85	9.65	0.84
360	-2.68	4.13	204.79	1.38	0.29		1120	-2.7	29.59	566.39	9.86	0.80
380	-2.7	4.25	209.77	1.42	0.30		1140	-2.7	30.1	585.15	10.03	0.83
400	-2.72	4.8	222.38	1.60	0.31		1160	-2.67	30.74	581.58	10.25	0.82
420	-2.7	4.97	229.06	1.66	0.32		1180	-2.68	31.39	572.31	10.46	0.81
440	-2.71	5.11	242.47	1.70	0.34		1200	-2.68	32.38	535.6	10.79	0.76
460	-2.69	5.68	243.29	1.89	0.34		1220	-2.68	33.1	547.11	11.03	0.77
480	-2.7	7.67	319.14	2.56	0.45		1240	-2.7	33.88	543.47	11.29	0.77
500	-2.7	8.24	311.99	2.75	0.44		1260	-2.72	34.36	541.84	11.45	0.77
520	-2.7	8.94	343.72	2.98	0.49		1280	-2.67	34.91	586.54	11.64	0.83
540	-2.69	9.27	347.29	3.09	0.49		1300	-2.62	35.58	587.71	11.86	0.83
560	-2.7	9.86	372.62	3.29	0.53		1320	-2.61	36.24	562.56	12.08	0.80
580	-2.7	10.61	385.39	3.54	0.55		1340	-2.61	36.67	600.64	12.22	0.85
600	-2.7	11.44	399.78	3.81	0.57		1360	-2.58	37.27	589.83	12.42	0.83
620	-2.7	11.76	403.06	3.92	0.57		1380	-2.55	37.47	585.72	12.49	0.83
640	-2.7	12.4	435.21	4.13	0.62		1400	-2.52	37.8	603.24	12.60	0.85
660	-2.7	13.27	434.69	4.42	0.61		1420	-2.5	38.43	595.94	12.81	0.84
680	-2.7	14.72	450.94	4.91	0.64		1440	-2.48	38.91	569.57	12.97	0.81
700	-2.7	14.92	465.71	4.97	0.66		1460	-2.46	39.36	583.46	13.12	0.83
720	-2.7	15.4	472.31	5.13	0.67		1480	-2.44	39.96	581.43	13.32	0.82
740	-2.7	16.13	473.69	5.38	0.67		1500	-2.42	40.25	569.43	13.42	0.81

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Redondeado					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Ccollana-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD	:0.55%				
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.89 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-4.09	14.47	717.79	4.82	1.02
20	-0.01	0	0.00	0.00	0.00	780	-4.09	14.7	711.24	4.90	1.01
40	-1.76	0	0.00	0.00	0.00	800	-4.09	15.14	737.38	5.05	1.04
60	-2.35	0	0.00	0.00	0.00	820	-4.07	15.83	766.66	5.28	1.08
80	-2.89	0	0.00	0.00	0.00	840	-4.06	16.67	737.52	5.56	1.04
100	-3.65	0	0.00	0.00	0.00	860	-4.07	17.26	758.03	5.75	1.07
120	-3.74	0	0.00	0.00	0.00	880	-4.05	17.84	758.3	5.95	1.07
140	-3.91	0	0.00	0.00	0.00	900	-4.02	18.56	797.34	6.19	1.13
160	-3.96	0	0.00	0.00	0.00	920	-4.03	19.11	775.31	6.37	1.10
180	-3.97	0	0.00	0.00	0.00	940	-4	20.33	803.64	6.78	1.14
200	-3.98	0	0.00	0.00	0.00	960	-3.97	21.15	808.42	7.05	1.14
220	-3.99	0	0.00	0.00	0.00	980	-3.98	21.87	792.12	7.29	1.12
240	-4.01	0	0.00	0.00	0.00	1000	-3.97	22.39	801.45	7.46	1.13
260	-4.01	0	0.00	0.00	0.00	1020	-3.98	22.44	803.96	7.48	1.14
280	-4.01	0	0.00	0.00	0.00	1040	-3.99	22.6	804.66	7.53	1.14
300	-4.01	0	0.00	0.00	0.00	1060	-3.97	23.22	832.03	7.74	1.18
320	-4.03	0.01	61.00	0.00	0.09	1080	-3.96	23.92	853.08	7.97	1.21
340	-4.13	0.86	157.15	0.29	0.22	1100	-3.91	25.19	849.13	8.40	1.20
360	-4.19	1.47	206.52	0.49	0.29	1120	-3.93	25.49	826.25	8.50	1.17
380	-4.24	1.99	240.69	0.66	0.34	1140	-3.9	26.34	839.68	8.78	1.19
400	-4.29	2.67	266.13	0.89	0.38	1160	-3.91	26.78	865.21	8.93	1.22
420	-4.3	2.69	270.12	0.90	0.38	1180	-3.92	27.14	838.11	9.05	1.19
440	-4.31	3.08	308.92	1.03	0.44	1200	-3.89	28.15	864.46	9.38	1.22
460	-4.32	3.99	358.72	1.33	0.51	1220	-3.88	28.98	867.37	9.66	1.23
480	-4.34	4.68	383.68	1.56	0.54	1240	-3.82	29.91	858.96	9.97	1.22
500	-4.33	5.27	435.47	1.76	0.62	1260	-3.83	30.05	870.07	10.02	1.23
520	-4.34	6.43	460.04	2.14	0.65	1280	-3.81	31.03	911.15	10.34	1.29
540	-4.34	6.94	476.79	2.31	0.67	1300	-3.82	31.33	883.81	10.44	1.25
560	-4.33	7.61	490.36	2.54	0.69	1320	-3.79	32.01	909.16	10.67	1.29
580	-4.27	8.8	538.19	2.93	0.76	1340	-3.78	32.44	908.74	10.81	1.29
600	-4.24	9.41	569.27	3.14	0.81	1360	-3.75	33.39	913.6	11.13	1.29
620	-4.24	9.48	550.55	3.16	0.78	1380	-3.72	35.12	905.44	11.71	1.28
640	-4.21	10.23	571.27	3.41	0.81	1400	-3.73	35.85	913.35	11.95	1.29
660	-4.18	11	615.09	3.67	0.87	1420	-3.72	36.94	892.92	12.31	1.26
680	-4.17	11.57	636.06	3.86	0.90	1440	-3.68	38.29	861.86	12.76	1.22
700	-4.16	12.03	669.28	4.01	0.95	1460	-3.67	39.42	908.78	13.14	1.29
720	-4.13	13.03	675.28	4.34	0.96	1480	-3.65	39.7	904.29	13.23	1.28
740	-4.11	13.56	694.36	4.52	0.98	1500	-3.4	40.71	908.74	13.57	1.29

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Redondeado					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Ccollana-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy suelto					HUMEDAD	:0.55%				
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:1.90 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)									
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	-5.5	15.8	1412.92	5.27	2.00
20	-0.07	0	0.00	0.00	0.00	780	-5.48	16.71	1432.89	5.57	2.03
40	-0.09	0	0.00	0.00	0.00	800	-5.44	17.61	1423.83	5.87	2.01
60	-0.18	0	0.00	0.00	0.00	820	-5.45	17.92	1428.11	5.97	2.02
80	-0.24	0	0.00	0.00	0.00	840	-5.46	18.27	1447.92	6.09	2.05
100	-0.24	0	0.00	0.00	0.00	860	-5.42	19.01	1484.01	6.34	2.10
120	-0.23	0	0.00	0.00	0.00	880	-5.41	20.07	1507.2	6.69	2.13
140	-0.24	0	0.00	0.00	0.00	900	-5.36	21.63	1583.22	7.21	2.24
160	-0.26	0	0.00	0.00	0.00	920	-5.24	23.37	1547.13	7.79	2.19
180	-4.9	0	0.00	0.00	0.00	940	-5.24	23.96	1572.75	7.99	2.22
200	-4.89	0	0.00	0.00	0.00	960	-5.17	25.57	1599.67	8.52	2.26
220	-5.03	0	0.00	0.00	0.00	980	-5.17	26.03	1550.35	8.68	2.19
240	-5.04	0	0.00	0.00	0.00	1000	-5.2	26.2	1549.72	8.73	2.19
260	-5.07	0	0.00	0.00	0.00	1020	-5.21	26.54	1573.13	8.85	2.23
280	-5.13	0	0.00	0.00	0.00	1040	-5.22	26.74	1583.17	8.91	2.24
300	-5.14	0	0.00	0.00	0.00	1060	-5.21	27.67	1584.1	9.22	2.24
320	-5.19	0.25	170.32	0.08	0.24	1080	-5.19	28.13	1559.98	9.38	2.21
340	-5.45	1.92	477.87	0.64	0.68	1100	-5.19	28.54	1529.98	9.51	2.16
360	-5.52	2.62	544.28	0.87	0.77	1120	-5.15	29.49	1559.11	9.83	2.21
380	-5.52	3.07	587.19	1.02	0.83	1140	-5.16	29.96	1551.82	9.99	2.20
400	-5.57	3.79	690.97	1.26	0.98	1160	-5.2	30.51	1563.15	10.17	2.21
420	-5.59	4.22	724.51	1.41	1.02	1180	-5.15	31.59	1612.57	10.53	2.28
440	-5.59	4.35	705.70	1.45	1.00	1200	-5.11	32.7	1560.4	10.90	2.21
460	-5.6	4.45	710.18	1.48	1.00	1220	-5.09	33.77	1549.46	11.26	2.19
480	-5.6	5.21	807.10	1.74	1.14	1240	-5.11	33.94	1564.54	11.31	2.21
500	-5.62	6.56	918.67	2.19	1.30	1260	-5.1	34.51	1537.71	11.50	2.18
520	-5.59	6.93	970.38	2.31	1.37	1280	-5.12	34.9	1578.91	11.63	2.23
540	-5.6	7.66	981.63	2.55	1.39	1300	-5.12	35.94	1545.02	11.98	2.19
560	-5.58	8.98	1120.79	2.99	1.59	1320	-5.12	36.57	1518.3	12.19	2.15
580	-5.61	9.57	1141.83	3.19	1.62	1340	-5.16	37.1	1621.01	12.37	2.29
600	-5.62	10.1	1142.69	3.37	1.62	1360	-5.16	37.33	1579.36	12.44	2.23
620	-5.62	10.92	1205.74	3.64	1.71	1380	-5.08	38.28	1583.58	12.76	2.24
640	-5.63	11.13	1231.40	3.71	1.74	1400	-5.01	38.56	1553.64	12.85	2.20
660	-5.64	11.72	1257.41	3.91	1.78	1420	-4.97	38.81	1572.76	12.94	2.22
680	-5.6	12.75	1314.33	4.25	1.86	1440	-4.73	39.83	1578.53	13.28	2.23
700	-5.55	14.14	1340.19	4.71	1.90	1460	-4.76	39.98	1606.12	13.33	2.27
720	-5.53	14.9	1368.15	4.97	1.94	1480	-4.76	40.03	1578.12	13.34	2.23
740	-5.55	15.16	1353.00	5.05	1.91	1500	-4.79	40.14	1576.83	13.38	2.23

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)													
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Redondeado						ESTADO			Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Ccollana-San Jeronimo-Cusco						CONDICION	:Sin Saturar					
DENSIDAD RELATIVA	:Medio						HUMEDAD	:0.55%					
ESFUERZO NORMAL	:0.5 kg/cm2						DENSIDAD SECA	:2.00 g/cm3					
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min						FECHA	:Enero-2017					
		APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)		Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	
0	0	0	0.00	0.00	0.00		760	0.22	13.21	646.19	4.40	0.91	
20	-0.01	0	0.00	0.00	0.00		780	0.3	13.97	661.01	4.66	0.94	
40	-0.42	0	0.00	0.00	0.00		800	0.32	14.06	662.04	4.69	0.94	
60	-1.25	0	0.00	0.00	0.00		820	0.41	14.73	659.11	4.91	0.93	
80	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		840	0.47	15.47	667.11	5.16	0.94	
100	-1.51	0	0.00	0.00	0.00		860	0.63	16.64	654.91	5.55	0.93	
120	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		880	0.81	18.1	658.76	6.03	0.93	
140	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		900	0.88	18.64	624.15	6.21	0.88	
160	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		920	0.97	19.5	636.04	6.50	0.90	
180	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		940	1.03	20.13	634.84	6.71	0.90	
200	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		960	1.09	20.67	611.74	6.89	0.87	
220	-1.51	0	0.00	0.00	0.00		980	1.22	21.7	625.8	7.23	0.89	
240	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		1000	1.3	22.65	641.48	7.55	0.91	
260	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		1020	1.39	23.52	624.11	7.84	0.88	
280	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		1040	1.42	23.98	629.24	7.99	0.89	
300	-1.5	0	0.00	0.00	0.00		1060	1.55	25.17	624.17	8.39	0.88	
320	-1.51	0.1	32.61	0.03	0.05		1080	1.7	26.32	647.14	8.77	0.92	
340	-1.51	0.97	129.74	0.32	0.18		1100	1.77	26.96	635.14	8.99	0.90	
360	-1.51	1.55	174.34	0.52	0.25		1120	1.9	28.05	644.57	9.35	0.91	
380	-1.51	2.25	225.44	0.75	0.32		1140	1.98	28.78	649.86	9.59	0.92	
400	-1.38	3.01	278.35	1.00	0.39		1160	2.12	29.96	659.46	9.99	0.93	
420	-1.23	3.75	326.29	1.25	0.46		1180	2.16	30.31	659.18	10.10	0.93	
440	-1.11	4.39	360.62	1.46	0.51		1200	2.27	31.11	644.09	10.37	0.91	
460	-1.09	4.43	362.35	1.48	0.51		1220	2.3	31.54	642.54	10.51	0.91	
480	-1.01	4.92	395.25	1.64	0.56		1240	2.37	32.07	645.82	10.69	0.91	
500	-0.95	5.33	425.76	1.78	0.60		1260	2.51	32.96	655.39	10.99	0.93	
520	-0.95	5.36	423.96	1.79	0.60		1280	2.71	33.96	650.47	11.32	0.92	
540	-0.85	6.01	469.54	2.00	0.66		1300	2.75	34.16	641.34	11.39	0.91	
560	-0.75	6.59	502.36	2.20	0.71		1320	2.75	34.2	634.53	11.40	0.90	
580	-0.67	7.06	539.23	2.35	0.76		1340	3.01	35.21	635.23	11.74	0.90	
600	-0.56	7.7	550.26	2.57	0.78		1360	3.02	35.2	651.01	11.73	0.92	
620	-0.57	7.71	544.91	2.57	0.77		1380	3.3	36.37	630.11	12.12	0.89	
640	-0.42	8.4	580.58	2.80	0.82		1400	3.35	36.74	655.71	12.25	0.93	
660	-0.32	9.05	594.93	3.02	0.84		1420	3.65	37.82	649.38	12.61	0.92	
680	-0.22	9.56	606.99	3.19	0.86		1440	3.7	38.1	628.5	12.70	0.89	
700	-0.06	10.76	619.24	3.59	0.88		1460	3.98	39.38	647.8	13.13	0.92	
720	-0.06	10.79	620.41	3.60	0.88		1480	4.08	39.91	641.65	13.30	0.91	
740	0.13	12.22	620.90	4.07	0.88		1500	4.14	40.19	648.22	13.40	0.92	

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)												
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Redondeado						ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Ccollana-San Jeronimo-Cusco							CONDICION	:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Medio						HUMEDAD	:0.55%				
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2						DENSIDAD SECA	:2.00 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min							FECHA	:Enero-2017			
	APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)		Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00		760	-1.48	15.63	947.77	5.21	1.34
20	-0.65	0	0.00	0.00	0.00		780	-1.35	16.41	920.8	5.47	1.30
40	-1.57	0	0.00	0.00	0.00		800	-1.28	17.1	934.15	5.70	1.32
60	-1.84	0	0.00	0.00	0.00		820	-1.23	18.23	956.44	6.08	1.35
80	-2.03	0	0.00	0.00	0.00		840	-1.22	18.91	953.33	6.30	1.35
100	-2.06	0	0.00	0.00	0.00		860	-1.1	19.73	992.83	6.58	1.40
120	-2.1	0	0.00	0.00	0.00		880	-1.1	20.66	976.3	6.89	1.38
140	-2.1	0	0.00	0.00	0.00		900	-1.05	20.67	962.76	6.89	1.36
160	-2.1	0	0.00	0.00	0.00		920	-1.02	21.48	991.37	7.16	1.40
180	-2.1	0	0.00	0.00	0.00		940	-0.99	22.74	992.7	7.58	1.40
200	-2.07	0	0.00	0.00	0.00		960	-0.94	24.34	977.08	8.11	1.38
220	-2.08	0	0.00	0.00	0.00		980	-0.9	25.05	973.55	8.35	1.38
240	-2.08	0	0.00	0.00	0.00		1000	-0.88	25.68	975.84	8.56	1.38
260	-2.09	0	0.00	0.00	0.00		1020	-0.86	25.72	972.7	8.57	1.38
280	-2.09	0	0.00	0.00	0.00		1040	-0.83	26.14	946.82	8.71	1.34
300	-2.09	0	0.00	0.00	0.00		1060	-0.79	26.38	965.44	8.79	1.37
320	-2.1	0.15	61.73	0.05	0.09		1080	-0.79	26.57	974.4	8.86	1.38
340	-2.1	3.34	374.81	1.11	0.53		1100	-0.75	27.08	982.92	9.03	1.39
360	-2.09	4.31	436.58	1.44	0.62		1120	-0.74	27.73	965.97	9.24	1.37
380	-2.11	4.37	419.64	1.46	0.59		1140	-0.7	28.45	978.81	9.48	1.38
400	-2.11	4.79	481.75	1.60	0.68		1160	-0.65	29.6	973.7	9.87	1.38
420	-2.11	5.05	498.25	1.68	0.70		1180	-0.63	30.69	955.61	10.23	1.35
440	-2.09	5.12	506.15	1.71	0.72		1200	-0.61	31.58	977.89	10.53	1.38
460	-2.1	5.64	515.61	1.88	0.73		1220	-0.58	32.37	976.53	10.79	1.38
480	-2.12	6.99	615.95	2.33	0.87		1240	-0.54	32.98	918.77	10.99	1.30
500	-2.11	7.43	627.80	2.48	0.89		1260	-0.49	33.03	936.82	11.01	1.33
520	-2.1	7.97	661.79	2.66	0.94		1280	-0.45	33.74	979.42	11.25	1.39
540	-2.12	8.41	682.94	2.80	0.97		1300	-0.44	34.81	930.72	11.60	1.32
560	-2.04	8.72	689.24	2.91	0.98		1320	-0.44	35.94	969.38	11.98	1.37
580	-1.98	9.79	751.09	3.26	1.06		1340	-0.41	36.68	976.31	12.23	1.38
600	-1.9	10.37	776.19	3.46	1.10		1360	-0.41	37.76	969.76	12.59	1.37
620	-1.81	11.13	801.28	3.71	1.13		1380	-0.39	37.88	942.12	12.63	1.33
640	-1.75	11.76	828.88	3.92	1.17		1400	-0.39	38.22	949.06	12.74	1.34
660	-1.7	12.24	829.97	4.08	1.17		1420	-0.38	39.41	992.48	13.14	1.40
680	-1.67	12.62	844.38	4.21	1.19		1440	-0.37	39.99	978.97	13.33	1.38
700	-1.66	12.68	847.41	4.23	1.20		1460	-0.36	40.01	997.75	13.34	1.41
720	-1.61	13.36	867.97	4.45	1.23		1480	-0.33	40.12	967.9	13.37	1.37
740	-1.55	14.49	911.32	4.83	1.29		1500	-0.33	40.15	949.86	13.38	1.34

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)												
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Redondeado						ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Ccollana-San Jeronimo-Cusco						CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Medio						HUMEDAD	:0.55%				
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2						DENSIDAD SECA	:2.00 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min						FECHA	:Enero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)												
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)		Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00		760	-3.49	14.7	1728.11	4.90	2.44
20	-0.88	0	0.00	0.00	0.00		780	-3.45	15.06	1706.12	5.02	2.41
40	-1.21	0	0.00	0.00	0.00		800	-3.38	15.68	1751.7	5.23	2.48
60	-2.18	0	0.00	0.00	0.00		820	-3.28	16.71	1797.51	5.57	2.54
80	-2.67	0	0.00	0.00	0.00		840	-3.22	17.56	1779.02	5.85	2.52
100	-3.23	0	0.00	0.00	0.00		860	-3.14	18.43	1792.81	6.14	2.54
120	-3.69	0	0.00	0.00	0.00		880	-3.07	19.21	1790.98	6.40	2.53
140	-4.05	0	0.00	0.00	0.00		900	-3.01	19.98	1785.74	6.66	2.53
160	-4.14	0	0.00	0.00	0.00		920	-3	20.02	1796.7	6.67	2.54
180	-4.25	0	0.00	0.00	0.00		940	-2.92	21.18	1784.34	7.06	2.52
200	-4.41	0	0.00	0.00	0.00		960	-2.88	21.61	1765.81	7.20	2.50
220	-4.56	0	0.00	0.00	0.00		980	-2.84	22.17	1795.78	7.39	2.54
240	-4.58	0	0.00	0.00	0.00		1000	-2.79	22.88	1741.09	7.63	2.46
260	-4.69	0	0.00	0.00	0.00		1020	-2.75	23.53	1783.16	7.84	2.52
280	-4.69	0	0.00	0.00	0.00		1040	-2.7	24.06	1772.19	8.02	2.51
300	-4.69	0	0.00	0.00	0.00		1060	-2.67	24.61	1763.44	8.20	2.49
320	-4.69	0.07	52.05	0.02	0.07		1080	-2.64	25.11	1762.47	8.37	2.49
340	-4.69	0.05	53.31	0.02	0.08		1100	-2.6	25.69	1793.51	8.56	2.54
360	-4.69	0.36	170.96	0.12	0.24		1120	-2.6	25.72	1787.39	8.57	2.53
380	-4.69	1.02	340.11	0.34	0.48		1140	-2.52	26.8	1754.03	8.93	2.48
400	-4.7	1.49	426.05	0.50	0.60		1160	-2.51	27.27	1773.88	9.09	2.51
420	-4.69	2.48	586.15	0.83	0.83		1180	-2.46	27.9	1779.75	9.30	2.52
440	-4.68	3.57	727.44	1.19	1.03		1200	-2.46	27.91	1766.7	9.30	2.50
460	-4.7	4.8	910.47	1.60	1.29		1220	-2.44	29.19	1792.67	9.73	2.54
480	-4.62	5.7	1003.88	1.90	1.42		1240	-2.41	29.94	1761.49	9.98	2.49
500	-4.5	6.5	1098.15	2.17	1.55		1260	-2.3	32.54	1775.5	10.85	2.51
520	-4.49	6.55	1093.99	2.18	1.55		1280	-2.27	33.14	1783.69	11.05	2.52
540	-4.31	7.75	1246.97	2.58	1.76		1300	-2.22	33.71	1763	11.24	2.49
560	-4.22	8.33	1303.47	2.78	1.84		1320	-2.18	34.27	1784.33	11.42	2.52
580	-4.14	8.95	1360.78	2.98	1.93		1340	-2.17	34.81	1701.74	11.60	2.41
600	-4.04	9.61	1443.27	3.20	2.04		1360	-2.16	34.84	1687.68	11.61	2.39
620	-3.94	10.47	1521.40	3.49	2.15		1380	-2.11	36.1	1646.75	12.03	2.33
640	-3.88	10.98	1547.08	3.66	2.19		1400	-2.12	36.34	1652.29	12.11	2.34
660	-3.87	11.05	1549.15	3.68	2.19		1420	-2.11	36.91	1740.65	12.30	2.46
680	-3.7	12.52	1643.97	4.17	2.33		1440	-2.09	37.69	1761.65	12.56	2.49
700	-3.66	12.99	1622.60	4.33	2.30		1460	-2.07	38.34	1762.28	12.78	2.49
720	-3.59	13.7	1667.12	4.57	2.36		1480	-2.06	39.31	1786.06	13.10	2.53
740	-3.54	14.16	1701.78	4.72	2.41		1500	-2.04	40.06	1791.89	13.35	2.53

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)											
FORMA DE PARTICULA		:Sub-Redondeado				ESTADO		Remoldeado			
PROCEDENCIA		:Ccollana-San Jeronimo-Cusco				CONDICION		:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA		:Muy Denso				HUMEDAD		:0.55%			
ESFUERZO NORMAL		:0.5 kg/cm2				DENSIDAD SECA		:2.18 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO		:2mm/min				FECHA		:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	4.12	15.29	859.23	5.10	1.22
20	-0.17	0	0.00	0.00	0.00	780	4.12	15.32	848.83	5.11	1.20
40	-0.32	0	0.00	0.00	0.00	800	4.38	16.13	818.17	5.38	1.16
60	-0.47	0	0.00	0.00	0.00	820	4.52	16.76	824.42	5.59	1.17
80	-0.77	0	0.00	0.00	0.00	840	4.67	17.24	790.66	5.75	1.12
100	-0.79	0	0.00	0.00	0.00	860	4.83	17.99	785.74	6.00	1.11
120	-0.8	0	0.00	0.00	0.00	880	5.05	18.94	772.65	6.31	1.09
140	-0.81	0	0.00	0.00	0.00	900	5.38	20.32	761.04	6.77	1.08
160	-0.81	0	0.00	0.00	0.00	920	5.71	21.8	704.78	7.27	1.00
180	-0.82	0	0.00	0.00	0.00	940	5.9	22.82	672.39	7.61	0.95
200	-0.82	0	0.00	0.00	0.00	960	6.03	23.56	674.49	7.85	0.95
220	-0.82	0	0.00	0.00	0.00	980	6.25	25.12	613.7	8.37	0.87
240	-0.82	0	0.00	0.00	0.00	1000	6.3	25.51	611.78	8.50	0.87
260	-0.82	0	0.00	0.00	0.00	1020	6.37	26.08	606.97	8.69	0.86
280	-0.82	0	0.00	0.00	0.00	1040	6.44	26.76	594.3	8.92	0.84
300	-0.82	0	0.00	0.00	0.00	1060	6.44	26.77	589.55	8.92	0.83
320	-0.83	0.41	97.49	0.14	0.14	1080	6.51	27.19	594.76	9.06	0.84
340	-0.62	1.24	203.01	0.41	0.29	1100	6.54	27.45	600.83	9.15	0.85
360	-0.62	1.29	207.32	0.43	0.29	1120	6.57	27.64	583.76	9.21	0.83
380	-0.51	1.65	243.59	0.55	0.34	1140	6.65	28.33	583.95	9.44	0.83
400	-0.31	2.26	299.61	0.75	0.42	1160	6.74	29.05	575.92	9.68	0.81
420	-0.16	2.84	360.14	0.95	0.51	1180	6.85	29.74	623.18	9.91	0.88
440	-0.02	3.39	414.10	1.13	0.59	1200	6.93	30.05	643.02	10.02	0.91
460	0.13	3.92	483.96	1.31	0.68	1220	6.98	30.21	668.5	10.07	0.95
480	0.48	4.76	554.17	1.59	0.78	1240	7.11	30.67	673.33	10.22	0.95
500	0.77	5.4	616.97	1.80	0.87	1260	7.54	31.87	721.13	10.62	1.02
520	0.97	5.9	652.41	1.97	0.92	1280	7.87	32.68	650.99	10.89	0.92
540	1.08	6.14	650.55	2.05	0.92	1300	7.89	32.74	645.91	10.91	0.91
560	1.27	6.59	715.58	2.20	1.01	1320	8.02	33.05	641.36	11.02	0.91
580	1.48	7.23	762.02	2.41	1.08	1340	8.34	33.96	648.37	11.32	0.92
600	1.68	7.76	825.69	2.59	1.17	1360	8.47	34.33	644.09	11.44	0.91
620	1.99	8.71	882.84	2.90	1.25	1380	8.79	35.25	619.33	11.75	0.88
640	2.12	9.31	889.13	3.10	1.26	1400	9.19	36.56	611.07	12.19	0.86
660	2.41	10.18	904.14	3.39	1.28	1420	9.5	37.73	579.13	12.58	0.82
680	2.69	10.98	921.00	3.66	1.30	1440	9.76	38.74	580.52	12.91	0.82
700	3.02	11.96	919.96	3.99	1.30	1460	9.97	39.84	561.44	13.28	0.79
720	3.72	14.17	889.68	4.72	1.26	1480	10.1	40.62	523.91	13.54	0.74
740	3.75	14.21	886.58	4.74	1.25	1500	10.11	40.67	502.43	13.56	0.71

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Redondeado						ESTADO	Remoldeado			
PROCEDENCIA	:Collana-San Jeronimo-Cusco						CONDICION	:Sin Saturar			
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso						HUMEDAD	:0.55%			
ESFUERZO NORMAL	:1.00 kg/cm2						DENSIDAD SECA	:2.18 g/cm3			
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min						FECHA	:Enero-2017			
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	0.78	16.04	1257.21	5.35	1.78
20	-0.36	0	0.00	0.00	0.00	780	0.96	17.26	1214.74	5.75	1.72
40	-1.05	0	0.00	0.00	0.00	800	1.08	18.01	1199.02	6.00	1.70
60	-1.34	0	0.00	0.00	0.00	820	1.14	18.58	1180.7	6.19	1.67
80	-2.31	0	0.00	0.00	0.00	840	1.2	18.99	1148.61	6.33	1.62
100	-2.67	0	0.00	0.00	0.00	860	1.3	19.76	1150.82	6.59	1.63
120	-2.79	0	0.00	0.00	0.00	880	1.37	20.28	1133.15	6.76	1.60
140	-2.85	0	0.00	0.00	0.00	900	1.42	20.7	1094.87	6.90	1.55
160	-2.87	0	0.00	0.00	0.00	920	1.51	21.44	1102.61	7.15	1.56
180	-2.88	0	0.00	0.00	0.00	940	1.61	22.31	1050.83	7.44	1.49
200	-2.9	0	0.00	0.00	0.00	960	1.82	24.04	1047.1	8.01	1.48
220	-2.9	0	0.00	0.00	0.00	980	1.89	24.72	1058.2	8.24	1.50
240	-2.91	0	0.00	0.00	0.00	1000	1.96	25.37	1050.05	8.46	1.49
260	-2.91	0	0.00	0.00	0.00	1020	1.96	25.4	1039.02	8.47	1.47
280	-2.91	0	0.00	0.00	0.00	1040	2	25.84	1018.82	8.61	1.44
300	-2.91	0	0.00	0.00	0.00	1060	2.09	26.46	1016.04	8.82	1.44
320	-2.94	0.02	25.04	0.01	0.04	1080	2.2	27.58	1007.49	9.19	1.43
340	-2.94	0.23	97.35	0.08	0.14	1100	2.26	27.97	986.56	9.32	1.40
360	-2.88	0.75	197.03	0.25	0.28	1120	2.36	28.7	1020.12	9.57	1.44
380	-2.88	0.77	202.71	0.26	0.29	1140	2.38	28.74	1022.32	9.58	1.45
400	-2.71	1.41	277.08	0.47	0.39	1160	2.51	29.31	1124.23	9.77	1.59
420	-2.42	2.37	423.99	0.79	0.60	1180	2.62	29.81	1180.41	9.94	1.67
440	-2.4	2.48	440.70	0.83	0.62	1200	2.71	30.3	1231.76	10.10	1.74
460	-2.22	3.29	557.61	1.10	0.79	1220	2.79	30.72	1206.2	10.24	1.71
480	-1.97	4.17	679.17	1.39	0.96	1240	2.86	31.09	1230.67	10.36	1.74
500	-1.81	4.83	775.28	1.61	1.10	1260	3.05	31.92	1196.97	10.64	1.69
520	-1.39	6.17	938.60	2.06	1.33	1280	3.32	32.7	1193.81	10.90	1.69
540	-0.97	7.44	1030.96	2.48	1.46	1300	3.49	33.18	1175.58	11.06	1.66
560	-0.58	8.81	1147.35	2.94	1.62	1320	3.7	33.73	1164.41	11.24	1.65
580	-0.48	9.16	1189.34	3.05	1.68	1340	3.9	34.32	1149.94	11.44	1.63
600	-0.29	9.91	1206.34	3.30	1.71	1360	3.93	34.38	1152.42	11.46	1.63
620	-0.13	10.63	1237.21	3.54	1.75	1380	4.43	35.9	1172.39	11.97	1.66
640	0.03	11.36	1248.33	3.79	1.77	1400	4.67	36.72	1161.63	12.24	1.64
660	0.08	11.71	1240.83	3.90	1.76	1420	4.81	37.24	1157.91	12.41	1.64
680	0.21	12.44	1246.91	4.15	1.76	1440	5.02	38.05	1100.11	12.68	1.56
700	0.35	13.39	1273.51	4.46	1.80	1460	5.22	38.78	1099.41	12.93	1.56
720	0.51	14.27	1273.93	4.76	1.80	1480	5.43	39.68	1079.42	13.23	1.53
740	0.64	15.1	1266.86	5.03	1.79	1500	5.62	40.52	1012.72	13.51	1.43

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS (M-4)											
FORMA DE PARTICULA	:Sub-Redondeado					ESTADO	Remoldeado				
PROCEDENCIA	:Ccollana-San Jeronimo-Cusco					CONDICION	:Sin Saturar				
DENSIDAD RELATIVA	:Muy Denso					HUMEDAD	:0.55%				
ESFUERZO NORMAL	:2.00 kg/cm2					DENSIDAD SECA	:2.18 g/cm3				
VELOCIDAD DE ENSAYO	:2mm/min					FECHA	:Enero-2017				
APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE(Hoja de Detalle)											
Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)	Tiempo (s)	Def. Vertical (mm)	Def. Tang. (mm)	Fuerza Tang.	Def. Tang. (%)	Esf. de Corte (kg/cm2)
0	0	0	0.00	0.00	0.00	760	0.22	15.28	2229.11	5.09	3.15
20	-0.01	0	0.00	0.00	0.00	780	0.43	16.28	2249.19	5.43	3.18
40	-1.71	0	0.00	0.00	0.00	800	0.59	17.35	2250.28	5.78	3.18
60	-2.16	0	0.00	0.00	0.00	820	0.69	18.23	2225.2	6.08	3.15
80	-2.42	0	0.00	0.00	0.00	840	0.8	19.17	2156.65	6.39	3.05
100	-2.68	0	0.00	0.00	0.00	860	0.87	19.86	2110.93	6.62	2.99
120	-2.71	0	0.00	0.00	0.00	880	0.89	20.7	1984.79	6.90	2.81
140	-3.09	0	0.00	0.00	0.00	900	0.92	21.43	1970.26	7.14	2.79
160	-3.24	0	0.00	0.00	0.00	920	0.92	21.61	1902.93	7.20	2.69
180	-3.28	0	0.00	0.00	0.00	940	0.95	22.07	1967.8	7.36	2.78
200	-3.6	0	0.00	0.00	0.00	960	0.99	23.12	1993.78	7.71	2.82
220	-3.61	0	0.00	0.00	0.00	980	0.99	23.5	1921.46	7.83	2.72
240	-3.74	0	0.00	0.00	0.00	1000	1	23.82	1860.86	7.94	2.63
260	-3.75	0	0.00	0.00	0.00	1020	1.02	24.53	1886.71	8.18	2.67
280	-3.77	0	0.00	0.00	0.00	1040	1.04	25.31	1891.02	8.44	2.68
300	-3.77	0	0.00	0.00	0.00	1060	1.07	26.1	1841.07	8.70	2.60
320	-3.79	0.01	5.66	0.00	0.01	1080	1.14	27.05	1887.52	9.02	2.67
340	-3.79	0.44	107.44	0.15	0.15	1100	1.19	28.01	1875.83	9.34	2.65
360	-3.77	0.73	198.98	0.24	0.28	1120	1.21	28.43	1865.71	9.48	2.64
380	-3.72	1.23	331.30	0.41	0.47	1140	1.24	28.92	1863.26	9.64	2.64
400	-3.56	2.09	547.36	0.70	0.77	1160	1.29	29.68	1906.35	9.89	2.70
420	-3.37	3.02	771.74	1.01	1.09	1180	1.33	30.34	1883.05	10.11	2.66
440	-3.16	3.79	881.93	1.26	1.25	1200	1.39	31.07	1880.3	10.36	2.66
460	-2.95	4.54	1073.78	1.51	1.52	1220	1.39	31.59	1816.89	10.53	2.57
480	-2.78	5.26	1227.52	1.75	1.74	1240	1.45	32.38	1842.07	10.79	2.61
500	-2.63	5.87	1359.83	1.96	1.92	1260	1.53	33.59	1863.77	11.20	2.64
520	-2.5	6.36	1402.31	2.12	1.98	1280	1.55	34.09	1831.64	11.36	2.59
540	-2.38	6.77	1496.49	2.26	2.12	1300	1.59	34.74	1821	11.58	2.58
560	-2.22	7.28	1620.98	2.43	2.29	1320	1.64	35.38	1795.84	11.79	2.54
580	-2.02	7.94	1761.55	2.65	2.49	1340	1.71	36.43	1819.51	12.14	2.57
600	-1.8	8.61	1836.50	2.87	2.60	1360	1.75	37.1	1819.28	12.37	2.57
620	-1.36	9.8	2040.61	3.27	2.89	1380	1.77	37.39	1860.12	12.46	2.63
640	-1.13	10.5	2117.70	3.50	3.00	1400	1.82	37.75	1878.94	12.58	2.66
660	-0.89	11.25	2166.44	3.75	3.06	1420	1.91	38.25	1942.62	12.75	2.75
680	-0.66	12.03	2220.61	4.01	3.14	1440	2	38.7	1925.06	12.90	2.72
700	-0.47	12.64	2248.48	4.21	3.18	1460	2.12	39.2	1940.96	13.07	2.75
720	-0.19	13.58	2237.54	4.53	3.17	1480	2.25	40.01	1978.04	13.34	2.80
740	0.01	14.46	2250.89	4.82	3.18	1500	2.28	40.23	1946.58	13.41	2.75

BIBLIOGRAFIA

- Shuan Luisa, L. (1997). Determinación de los parámetros de resistencia en suelos granulares mediante en ensayo de Corte Directo In Situ para los estudios de factibilidad de transporte masivo de la gran Lima. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- De La Hoz Alvarez, K. (2007). Estimación de los parámetros de resistencia al corte en suelos granulares gruesos. (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas departamento de ingeniería civil, Santiago de Chile.
- Fernández Baca Vidal, C. (1998). Resistencia al corte de los suelos gravosos. VIII Congreso de Mecánica de Suelos, Geo – Lima 98.
- Basurto Ravichagua, D. (2010). Diseño e Implementación de un Equipo de Corte Directo para Suelos Gravosos en el Laboratorio. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniera, Facultad de Ingeniería Civil, Lima.
- Juárez Badillo, E., Rico Rodríguez, A. (2010). Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Tomo I. 3a ed. México: Limusa.
- Marsal Raúl J., D. R. (1975). Presas De Tierra y Enrocamiento. México: Limusa.
- Braja M. Das. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México: Thomson Editores, S.A.
- Crespo Villalaz, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. 5a ed. México: Limusa.
- Gonzales Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación.
- Martínez Vargas, A. (1995). Los Suelos Granulares Aluviales del Perú, X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos. Guadalajara, México.
- Galindo Sánchez, M. (2014). Modelización de Ensayos de Corte Directo de Escolleras en Cajón de 1mx1m. (Tesis de grado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno (E.T.S.I. caminos, canales y puertos).
- Estaire, J., Ollana, C. (2006). Análisis de Resistencia de Escollera Mediante Ensayos de Corte Directo en Caja de 1x1m². Ingeniería Civil, N°144, Pag 73-79.
- Estaire, J. (2008) Resistencia de escollera en ensayos de corte de gran tamaño. Jornada: Geotecnia de Presas. SEPTEM.
- Perucho, A. (2004). Deformabilidad de escolleras. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.