



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS:

**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA
MUESTRA EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL
ESFUERZO CORTANTE EN SUELOS COHESIVOS DE LA
URBANIZACIÓN PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO -
CUSCO”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
Orlando Medina Velasque.**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**Mg. Ing. Zandro Peñalva Gallegos.
ASESOR TÉCNICO**

**Dr. Edwards Jesús Aguirre Espinoza
ASESOR METODOLÓGICO**

CUSCO – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios Padre todo Poderoso.

Por darme salud, vida y amor para culminar una de mis metas y ser un hombre de bien.

A mis padres.

Emilio y Natalia por su comprensión cariño y valioso apoyo en mi vida personal y de estudiante. Por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar.

A mi hija y esposa.

Fabiana Sthefany con cariño y al amor de mi vida Dina, Por comprenderme y estar siempre presente en los grandes Momentos de mi vida.

A mis hermanos.

Edison Ronald, Christian Anthony, Nathaly Sthefany, Quienes creyeron en mi sueño de ser profesional y hicieron posible Esta realidad.

A toda mi familia.

Por su inmenso cariño y Constante apoyo para hacer realidad Uno de mis grandes sueños.

EL AUTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi formación como persona y de estudiante, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Agradezco a la Universidad Alas Peruanas por la orientación académica recibida.

EL AUTOR

RESUMEN

El estudio tuvo como propósito “Evaluar la influencia del tamaño de muestra en el ensayo de corte directo del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco.” El diseño del equipo y la ejecución de los ensayos fueron establecidos teniendo como referencia la norma ASTM D 3080.

La construcción del equipo de corte directo es a una escala mayor en comparación a la del laboratorio, cuyas muestras son talladas “in situ” con áreas de 12.5; 25; y 50 cm² y una altura de 30 cm, y se hizo uso de la técnica del instrumento de corte directo en campo para la recolección de datos de los parámetros de esfuerzo cortante a partir del cual se ejecutó los ensayos en los diferentes tamaños de muestra y se obtuvo como resultados: el ángulo de fricción varía con respecto al del laboratorio:

Muestra A de 12.5 cm de arista en 0.612%.

Muestra B de 25 cm de arista en 2.703%.

Muestra C de 50 cm de arista en 3.949%.

Y la cohesión con respecto al resultado del laboratorio varía:

Muestra A de 12.5 cm de arista en 4.225%.

Muestra B de 25 cm de arista en 6.588%.

Muestra C de 50 cm de arista en 8.405%.

De la cual se observa la conclusión del estudio de ensayo del tamaño de muestra en el ensayo de corte directo en campo resulta en una variación poco considerable tomando estos datos obtenidos aproximados a los parámetros del ángulo de fricción y cohesión en las muestras del ensayo de los parámetros en estudio del corte directo en laboratorio.

En este tema de investigación se estudió en suelos cohesivos que según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) se clasificó en: Arcilla ligera de baja plasticidad con arena (CL).

La medición del esfuerzo tangencial, las deformaciones horizontal y vertical fueron registrados por manómetros de glicerina que permite registrar los datos y mostrar el comportamiento de los especímenes sometidos a corte en tiempo real.

ABSTRACT

The purpose of this study was "To evaluate the influence of sample size in the direct cutting test of the sector, urbanization First of January, District of Santiago, Cusco". The design of the equipment and the execution of the tests were established with reference to the ASTM D 3080 standard.

The construction of the direct cutting equipment is on a larger scale compared to the laboratory, whose samples are carved "in situ" with areas of 12.5; 25; and 50 cm² and a height of 30 cm, In addition, the technique of the direct cutting instrument was used in the field for the data collection of the shear stress parameters from which the tests were carried out in the different sample sizes and the results were obtained: the friction angle varies with respect to the laboratory:

Sample A of 12.5 cm of edge in 0.612%.

Sample B of 25 cm of edge in 2.703%.

Sample C of 50 cm of edge in 3.949%.

And the cohesion with respect to the result of the laboratory varies:

Sample A of 12.5 cm of edge in 4.225%.

Sample B of 25 cm of edge in 6.588%.

Sample C of 50 cm of edge at 8.405%.

Of which it is observed the conclusion of the test study of the sample size in the field direct cut test results in a slight variation taking these approximate obtained data to the friction and cohesion angle parameters in the test samples of the parameters under study of the cut direct in the laboratory.

On this issue of investigation it was studied in cohesive soils that according to the unified system of soil classification (SUCS) is classified into: Light clay of low plasticity with sand (CL).

The measurement of the tangential stress, the horizontal and vertical deformations were recorded by glycerin manometers that allows to record the data and show the behavior of the specimens subjected to cutting in real time.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas Específicos	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos Específicos.	3
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....	3
1.4.1. Justificación Técnica	4
1.4.2. Justificación Social	4
1.4.3. Justificación por Viabilidad	4
1.4.4. Justificación Por Relevancia.....	5

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPITULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	6
2.2. BASES TEÓRICAS.	10
2.2.1. Clasificación de suelos.	10
2.2.2. Límites de Atterberg.	14
2.2.3. Contenido de humedad natural.	20
2.2.5. Análisis granulométrico por tamizado.....	21
2.2.6. Resistencia al esfuerzo cortante	24
2.2.7. Tamaño de muestra para ensayo de corte directo en laboratorio.	30
2.2.8. Ensayo de corte Directo	32
2.2.9. Ensayo de corte directo en campo	38
2.2.10. Angulo de fricción interna	40
2.2.11. Cohesión	41
2.2.12. Normas técnicas peruanas para corte directo	42
2.2.13. Normas internacionales para corte directo.	43
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	43
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	46
2.4.1. Hipótesis general.....	46
2.4.2. Hipótesis específicos.....	46
2.5. VARIABLES DE ESTUDIO.....	46
2.5.1. Variable Independiente.....	46
2.5.2. Variable Dependiente.....	46
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	47

3.1.1. Tipo de investigación.....	47
3.1.2. Nivel de investigación.....	47
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	48
3.4.1. Población.....	48
3.4.2. Muestra.	48
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
3.5.1. Técnicas.	49
3.5.2. Instrumentos.....	49
CAPITULO IV.....	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1. ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO.	50
4.1.1. Clasificación e identificación de suelos.	50
4.1.2. Límites de Atterberg.	55
A. Ensayo de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico.....	55
4.1.3. Determinación del contenido de humedad.	60
4.1.5. Ensayo de corte directo en laboratorio.	66
4.1.6. Ensayo de corte directo In Situ.....	70
4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO Y EN CAMPO.	77
4.2.1. Datos obtenidos en laboratorio.....	77
4.2.2. Procedimiento y análisis e interpretación de resultados.....	95
A. Resultado del ensayo experimental (Angulo de fricción y cohesión). ...	95
B. Resultado 1 (clasificación de suelos) obtenidos en laboratorio.	99
C. Resultado 2 (límites de Atterberg) obtenidos en laboratorio.....	99

D. Resultado 4 (determinación del contenido de humedad natural) obtenidos en laboratorio.....	99
E. Resultado 5 (determinación del Angulo de fricción y cohesión) obtenidos en laboratorio.....	100
4.2.3 Ventajas y Desventajas.....	100
CAPITULO V.....	101
CONCLUSIÓN:	101
RECOMENDACIONES.....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
ANEXOS	106
MATRIZ DE CONSISTENCIA	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	13
Figura 2: Limite de consistencia.....	15
Figura 3: Carta de plasticidad	17
Figura 4: Localización relativa de los límites de contracción, plástico y líquido sobre la escala de contenido de humedad.....	19
Figura 5: Granulometría de un suelo de granos grueso obtenida por un análisis granulométrico por mallas.	22
Figura 6: Envolvente de falla de Mohr.....	26
Figura 7: Criterio de rotura de Mohr - Coulomb.....	27
Figura 8: Inclinación del plano de falla respecto al plano principal mayor.....	28
Figura 9: Representación del Mohr - Coulomb.....	28
Figura 10: Mecánica de los fenómenos de fricción.	30
Figura 11: Prueba de Corte Directo	34
Figura 12: Esfuerzo constantes VS Desplazamiento Cortante	35
Figura 13: Caja de partes del Ensayo de corte directo.	37
Figura 14: Sistema para Ejecución de Ensayo de Corte Directo “In Situ”	40
Figura 15: Carta de plasticidad para Clasificación de Suelos.	55
Figura 16: Copa de Casagrande.....	56
Figura 17: Taras, balanza, muestra del ensayo.	56
Figura 18: Instrumentos utilizados en el ensayo.	57
Figura 19: Tamiz N° 40.	57
Figura 20: Plancha de vidrio para el ensayo de limite plástico.....	58
Figura 21: Colocación de muestras para la determinación del contenido de humedad.....	62
Figura 22: Juego de tamices, desde el tamiz N°4 hasta el de 0.075 mm (N°200).	63
Figura 23: Preparado de la muestra.....	65
Figura 24: Muestra representativa para su respectivo tamizado.....	66

Figura 25: Equipo de corte directo.	67
Figura 26: Colocado de la muestra en la caja de corte.	68
Figura 27: Equipo de Corte In Situ	72
Figura 28: Colocado y armado de la muestra en el equipo de Corte In situ:.....	73
Figura 29: Trazo y excavación	74
Figura 30: Colocación de los polines.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen correlación Ultrasonico.	10
Tabla 2: Valores típicos de LL y LP para algunos minerales y suelos arcillosos.....	20
Tabla 3: Tamaño de Cribas U.S. Estándar.	23
Tabla 4: Numero de muestra para someterlas a ensayo.	48
Tabla 5: Clasificación AASHTO	52
Tabla 6: Clasificación SUCS.	54
Tabla 7: Parámetros de la Cohesión.....	96
Tabla 8: Parámetros del Angulo de fricción.....	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.	53
Gráfico 2: Variación Cohesión en Kg/cm ² y%	97
Gráfico 3: Variación del Angulo de Fricción en Grados.....	98

INTRODUCCIÓN

La presente tesis de investigación tiene como título “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN SUELOS COHESIVOS DE LA URBANIZACIÓN PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO”.

En países como el nuestro y en particular nuestra ciudad del Cusco que se encuentra situados en la cordillera de los andes, existe una significativa presencia de materiales cohesivos. Para el estudio de la ingeniería geotécnica o ingeniería del suelo y la caracterización geo mecánica de estos materiales es común que se presente la dificultad de no poder realizar ensayos de resistencia de corte, “in situ” es por la escasa existencia de equipos capaces de realizar ensayos de corte en muestras de suelo.

La migración del campo así a la ciudad del Cusco genera una demanda en la construcción de viviendas, dando lugar al crecimiento urbano de la ciudad del Cusco, de forma horizontal y vertical, esta es una de las razones por las que se requiere un mayor énfasis de estudio de suelos y así obtener datos reales y fiables como son el ángulo de fricción interna y cohesión.

Para el estudio de la resistencia al corte. Las muestras de suelo deben ser inalteradas, manteniendo su contenido de humedad lo menos variable para así ser analizados y tratados convenientemente; y que los datos a obtenerse deben ser reales y confiables; el equipo de corte directo “in situ” es versátil porque es fácil de transportar, y es accesible de utilizar en cualquier lugar teniendo en cuenta que económicamente es accesible para el usuario.

Este trabajo de investigación está compuesto de 5 capítulos:

En el Capítulo I: Planteamiento de estudio el cual contiene la descripción de la realidad problemática; formulación del problema de investigación, problema general y específico; objetivo de la investigación general y específicos; justificación e importancia del estudio y limitaciones de la investigación.

En el Capítulo II: Se desarrolla el Marco Teórico, el cual contiene los antecedentes del estudio, bases teóricas, definición de términos básicos, hipótesis de la investigación y variables de estudio.

En el Capítulo III: Se presenta la metodología de la investigación.

En el Capítulo IV: Se presenta resultados y discusión.

Capítulo V: Finalizando el estudio con las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

"Hay que educar al hombre de niño para que de adulto no sufra". "Una Sociedad que se educa es una sociedad que progresa". (Ruiz Valdiviezo)

En la ingeniería geotécnica o ingeniería del suelo, es el estudio y desarrollo de las técnicas experimentales con características ventajosas para el ingeniero diseñador, ingeniero a cargo de la construcción, y para el laboratorista siempre estarán ubicados en un lugar de importancia académica y práctica. Motivados por esa razón nace el presente tema de investigación de tesis, en el que se quiere estudiar de manera amplia el ensayo de corte directo en laboratorio y ensayo de corte directo en campo (in situ) utilizando para esto tres muestras como mínimo para lograr hacer una gráfica y trazar una recta y poder obtener así el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (c).

La muestra de suelo inalterada que se saca en bloque de una calicata a una profundidad en particular para el estudio en laboratorio, no es del todo inalterada como su nombre lo indica ya que se le está liberando de un peso que se ubica encima de él, al hacer la excavación, luego al trasladar el bloque a el laboratorio a pie, en auto o en avión según la cercanía o lejanía de la obra donde se quiere hacer el estudio, además se somete al tallado de la muestra para ser colocado

en la máquina de corte directo, donde se le someterá a la rotura, sin tomar en cuenta la perturbación que seguramente ha sufrido la muestra y el cambio de humedad. Todo esto con lleva a pensar si es mejor hacer el ensayo de corte directo en el campo en lugar de en el laboratorio; pero aquí surge la pregunta. ¿El tamaño de la muestra influye en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante? Esta incógnita es motivo de este trabajo de investigación.

El presente tesis de investigación está orientado principalmente a la comparación del estudio de un determinado suelo en laboratorio y de un estudio en campo, con relación a los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos por el ensayo de corte directo in situ, ensayo de corte directo en laboratorio, y que tamaño de muestra es el ideal para realizar el ensayo de corte directo, todo esto comparado con las normas técnicas peruanas y con las normas internacionales.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema General

¿En qué medida el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo influye en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿En qué medida el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo influye en el ángulo de fricción interna comparadas con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco?
- ¿En qué medida el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo influye en la cohesión comparada con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Establecer en qué medida influye el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo con los valores de ángulo de fricción interna comparadas con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco.
- Establecer en qué medida influye el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo con los valores de la cohesión comparadas con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La tesis de investigación se justifica por la necesidad de encontrar un valor más real que pueda servir al ingeniero diseñador con más confiabilidad de los resultados, y él pueda realizar su trabajo con seguridad, confiando en los resultados de laboratorio.

También es importante porque:

- Es una alternativa de investigación en el campo de la ingeniería geotécnica y específicamente en los ensayos de mecánica de suelos.
- Es generador de nuevas investigaciones, analizando otros ensayos de laboratorio y probando con diferentes suelos
- Motiva a la ampliación de la investigación, mediante la realización de ensayos que midan la resistencia a la compresión de los suelo (Q_u), parámetros de consolidación como (C_c) y (C_s).

1.4.1. Justificación Técnica

En el proceso de análisis de las muestras para tratar de obtener parámetros que midan la resistencia del suelo, se ha probado a lo largo de la historia varias opciones, todas tratando de acercarse a lo que realmente resiste el suelo, este tema de tesis pretende también acercarse aún más a los verdaderos valores que el suelo presenta para su estabilidad, también pretende mejorar las prácticas de ensayos de laboratorio de corte directo en campo

1.4.2. Justificación Social

En nuestra región del Cusco, en la zona rural y en la zona urbana se construyen edificaciones y todas tienen que tener un estudio de suelos adecuado para poder garantizar la estabilidad de edificación, para esto el ingeniero de cimentaciones, ingeniero estructuralista, laboratorista, dueños de edificaciones y tienen que tener la seguridad de que los valores de los ensayos de laboratorio y de campo son confiables y cercanos a la realidad, lo que beneficia a los ciudadanos ya que garantiza que su edificación está apoyada de forma segura y frente a eventos como inundaciones y sismos presta la garantía necesaria. Con esta tesis de investigación pretende beneficiar a los pobladores que construyen con valores confiables y reales para su diseño de cimentaciones.

1.4.3. Justificación por Viabilidad

El proyecto de tesis de investigación que se va a realizar es viable porque se tiene al alcance de las manos las muestras que se van a probar, los laboratorio donde se van a realizar los ensayos y el equipo de corte directo in situ. Además, el estudio se hace viable porque se tiene los conocimientos del ensayo de corte directo y de ingeniería geotécnica, también se tiene antecedentes de tesis, consultas a docentes de la UAP y consultas al asesor y también se cuenta con los medios para realizar esta investigación.

1.4.4. Justificación Por Relevancia

Es importante el proyecto de tesis de investigación por la practicidad del ensayo y la rápida obtención de resultados en el ensayo practicado y mejorar la confiabilidad de los parámetros de resistencia al corte y hacer su uso de manera confiable.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

- Las muestras se sacarán del suelo de la urbanización “PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO”
- Las dimensiones de las muestras serán de:
Muestra A = 12.5cm x 12.5cm x 30cm
Muestra B = 25cm x 25 cm x 30cm
Muestra C = 50 cm x 50 cm x 30cm.
- Todas las muestras tienen aproximadamente el mismo contenido de humedad
- Todas las muestras fueron sometidas a los mismos esfuerzos verticales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.

a) En el Cusco

BACH. CHILLIHUANI CHILLIHUANI VIRGILIO: presento la tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CORTE DIRECTO PARA SUELOS GRAVOSOS Y SU APLICACIÓN EN SUELOS TÍPICOS DE CUSCO” UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, CUSCO-PERÚ 2017, habiéndose arribado a las conclusiones (Chillihuani Chillihuani, 2017).

- 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.

b) En el Perú:

ING. LUIS SERAFIN GONZALES HIJAR: hizo el estudio sobre “ESTIMACIÓN DE LOS VALORES DE LA COHESIÓN Y FRICCIÓN DEL MACIZO ROCOSO DE BAJA RESISTENCIA A PARTIR DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO IN-SITU” UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LIMA, PERÚ 2012, que arriba a las conclusiones: (Gonzales Hjar, 2012)

- De las consideraciones ingeniero geológico de la muestra-bloque se puede decir lo siguiente:

Corte Directo CD-1 (especímenes E1, E2 y E3) se encuentran de moderadamente resistentes, muy fracturadas y con presencia de óxidos.

Corte Directo CD-2 (especímenes E4 E5 y E6) se encuentran de moderadamente resistentes, muy fracturadas, muy alteradas y con presencia de sales y óxidos.

Corte Directo CD-3 (especímenes E7, E8 y E9) se encuentran de poco a moderadamente resistente, muy fracturadas a extremadamente fracturadas y con presencia de sales y óxidos.

- Los Ensayos de corte directo in-situ corresponden a 3 especímenes de bloque de roca, para cada espécimen el ensayo se realiza en dos partes, en la primera parte se aplica una carga normal sobre el bloque tallado, controlándose los desplazamientos producidos, esta carga permanece constante a lo largo del ensayo, en la segunda parte se aplica la carga tangencial hasta alcanzar la rotura del bloque, midiendo la magnitud de la carga y los desplazamientos tangenciales y normales.
- Los resultados obtenidos de la estimación de los parámetros de cohesión y fricción realizados mediante los ensayos de corte directo in- situ fueron los siguientes:

CORTE DIRECTO IN SITU CD-1

Fricción $\varphi = 35.28^\circ$

Cohesión $C = 0.5118 \text{ Kg/cm}^2$

CORTE DIRECTO IN SITU CD-2

Fricción $\phi = 34.92^\circ$

Cohesión $C = 0.465 \text{ Kg/cm}^2$

CORTE DIRECTO IN SITU CD-3

Fricción $\phi = 36.63^\circ$

Cohesión $C = 0.499 \text{ Kg/cm}^2$

c) En el Mundo:

SANDRA COMETA TRUJILLO, NELSON JAVIER MENDEZ BOHORQUEZ: hizo el estudio sobre “CORRELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL ENSAYO DE TRIAXIAL EN UN SUELO ARCILLOSO TÍPICO DE LA ZONA OCCIDENTAL DE BOGOTÁ” UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, FACULTAD TECNOLÓGICA INGENIERÍA CIVIL, BOGOTÁ D.C. 2016, que arriba a las conclusiones (Cometa Trujillo & Mendez Bohorquez, 2016):

- Al revisar los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo y triaxial en condiciones consolidadas y no drenadas se puede observar que los valores de cohesión y Angulo de fricción son menores los arrojados por el ensayo triaxial, lo cual obedece a que en este ensayo es posible medir la presión de poros que la muestra experimenta durante la fase de corte, esta presión se tiene en cuenta en el momento de efectuar los cálculos para graficar el circulo de Mohr, obteniendo por cada uno de los tres especímenes de cada ensayo el correspondiente circulo con esfuerzos efectivos y esfuerzos totales.
- El presente estudio no pretende remplazar los valores de cohesión y Angulo de fricción obtenidos mediante ensayos que no correspondan al ensayo triaxial, sin embargo ofrece un estimativo de acuerdo a propiedades obtenidas en otros ensayos para obtener estos parámetros.
- Adicionalmente se encontró la correlación entre el ensayo de compresión Inconfinada y el ensayo de ultrasonido obteniendo la siguiente correlación:

Tabla 1: Resumen correlación Ultrasonico.

Ensayo Realizado	Correlación obtenida graficada $q = \text{Ensayo de Ultrasonido}$	Grado de confiabilidad de la correlación
Ultrasonido	$q = (U \times 0.0017) - 0.8156$	75%

Teniendo en cuenta el grado de confiabilidad de la correlación obtenida entre el ensayo de ultrasonido y compresión encofinada se concluye que la medición de la velocidad ultrasónica en una muestra de suelo está directamente relacionada con consistencia del suelo.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. Clasificación de suelos.

“FUNDAMENTOS DE GEOTECNIA, BRAJA DAS M., 1984” (Das B., 1984)

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Éstos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El Sistema AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales y de condados, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el Sistema Unificado.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

Este sistema de clasificación fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de

Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos). Ha sufrido varias revisiones, con la versión actual propuesta por el Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board (Comité para la Clasificación de Materiales para Subrasantes y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras) en 1945 (Prueba D-3282 de la ASTM; método AASHTO M145). El Sistema de Clasificación AASHTO actualmente en uso. De acuerdo con éste, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos AA, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios: 1. Tamaño del grano Grava: fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No. 10 (2 mm) de Estados Unidos Arena: fracción que pasa la malla No. 10 (2 mm) US. y es retenida en la malla No. 200 (0.075 mm) US. Limo y arcilla: fracción que pasa la malla No. 200 US.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952. Hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros (Prueba D-2487 de la ASTM).

1. Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo GaS. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

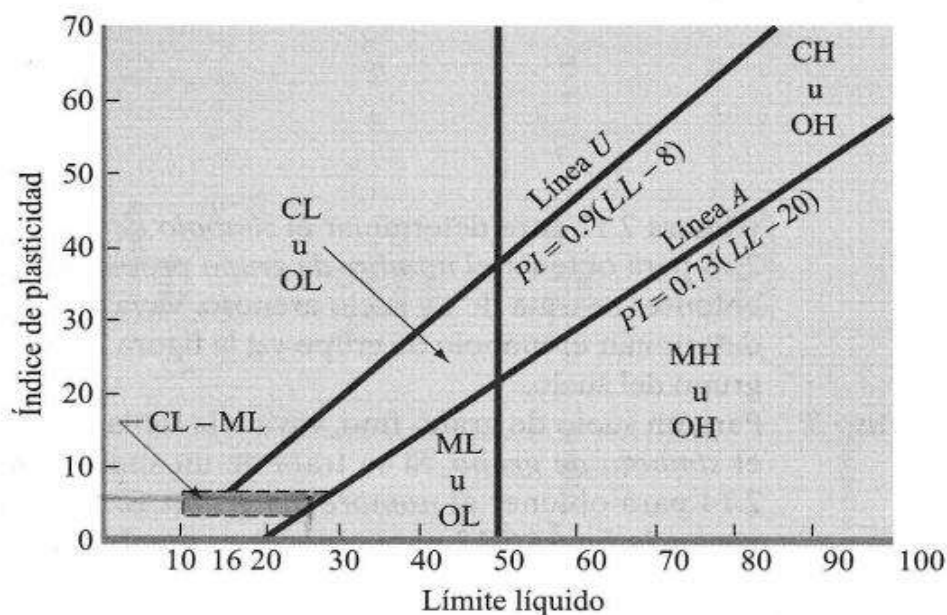
2. Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Para una clasificación apropiada con este sistema, debe conocerse algo o todo de la información siguiente: 1. Porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa la malla de 76.2 mm y es retenida en la malla No. 4 (abertura de 4.75 mm) 2. Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa la malla No. 4 (abertura de 4.75 mm) y es retenida en la malla No. 200 (abertura de 0.075 mm) 3. Porcentaje de limo y arcilla, es decir, la fracción de finos que pasan la malla No. 200 (abertura de 0.075 mm) 4. Coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cz) 5. Límite líquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla No. 40 Los símbolos de grupo para suelos tipo grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM, y GP-Gc. Similarmente, los símbolos de grupo para suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML, y Pt. Damos a continuación un procedimiento paso a paso para la clasificación de suelos:

Paso 1: Determine el porcentaje de suelo que pasa la malla No. 200 (P). Si $F < 50\%$, se trata de un suelo de grano grueso, es decir, tenemos un suelo tipo grava o arenoso (donde $F =$ porcentaje de granos más finos que la malla No. 200). Vaya al paso 2. Si $F \geq 50\%$, se trata de un suelo de grano fino. Vaya al paso 3.

Paso 2: Para un suelo de grano grueso, $(100 - P)$ es la fracción gruesa en porcentaje. Determine el porcentaje de suelo que pasa la malla No. 4 y es retenido en la malla No. 200, FI. Si $FI < (100 - P)/2$, entonces el suelo tiene más grava que arena, por lo que es un suelo tipo grava.

Figura 1: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos



Fuente: Braja Das m.

(MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL, Joseph E. Bowles, 1981) (Bowles, 1981)

Los suelos con características y propiedades mecánicas similares son divididos en grupos y sub grupos tales como la distribución granulométrica y límite líquido y límite plástico, los métodos de clasificación proporcionan varios métodos de clasificación de suelos – se tomaran dos métodos de clasificación que son los más conocidos como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO). “Actualmente, los departamentos estatales de transporte (antiguos departamentos de carretera) utilizan el sistema de clasificación de la AASHTO.

El ingeniero de fundaciones acostumbra hacer una inspección visual como base primaria de clasificaciones, pero su terminología, la cual no debe considerarse aquí, es muy similar a la del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos”.

2.2.2. Límites de Atterberg.

“FUNDAMENTOS DE GEOTECNIA, BRAJA DAS M., 1984” (Das B. , 1984)

CONSISTENCIA DEL SUELO

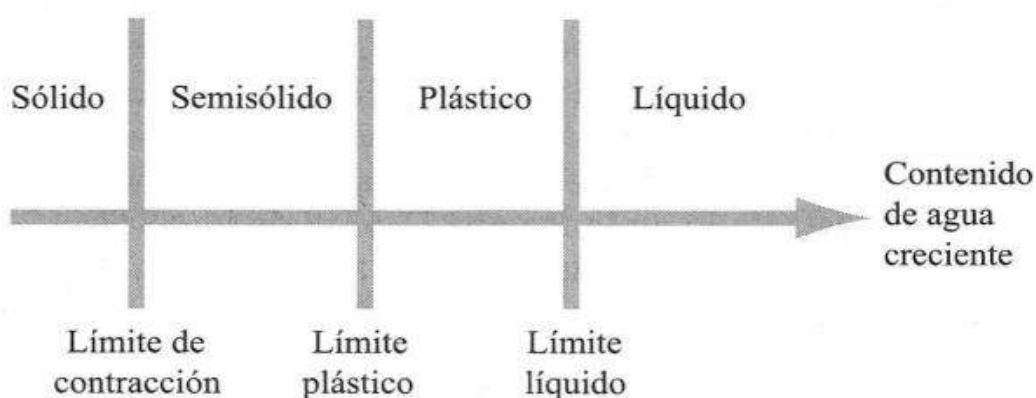
Cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, éste puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido. El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el límite de contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos límites se conocen también como límites de Atterberg.

LÍMITE LÍQUIDO (LL)

Un diagrama esquemático (vista lateral) de un dispositivo para determinar el límite líquido, que consiste en una copa de bronce y una base de hule duro. La copa de bronce se deja caer sobre la base por una leva operada por una manivela. Para la prueba del límite líquido se coloca una pasta en la copa. Se corta una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de corte estándar. Luego, con la leva operada por la manivela, se levanta la copa y se deja caer desde una altura de 10 mm. El contenido de agua, en porcentaje requerido para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes se define como el límite líquido. El procedimiento para la prueba del límite líquido está dado en la Prueba D-4318 de la ASTM.

Casagrande (1932) concluyó que cada golpe en un dispositivo estándar para límite líquido corresponde a una resistencia cortante del suelo de aproximadamente 1 g/cm^2 (0.1 kN/m^2). Por consiguiente, el límite líquido de un suelo de grano fino da el contenido de agua para el cual la resistencia cortante del suelo es aproximadamente de 25 g/cm^2 (2.5 kN/m^2).

Figura 2: Limite de consistencia



Fuente: Braja Das m.

LÍMITE PLÁSTICO (PL)

El límite plástico se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. La prueba es simple y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio, una masa de suelo de forma elipsoidal. El índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, o

$$PI = LL - PL.$$

El procedimiento para la prueba del límite plástico se da en la prueba D-4318 de la ASTM.

CARTA DE PLASTICIDAD

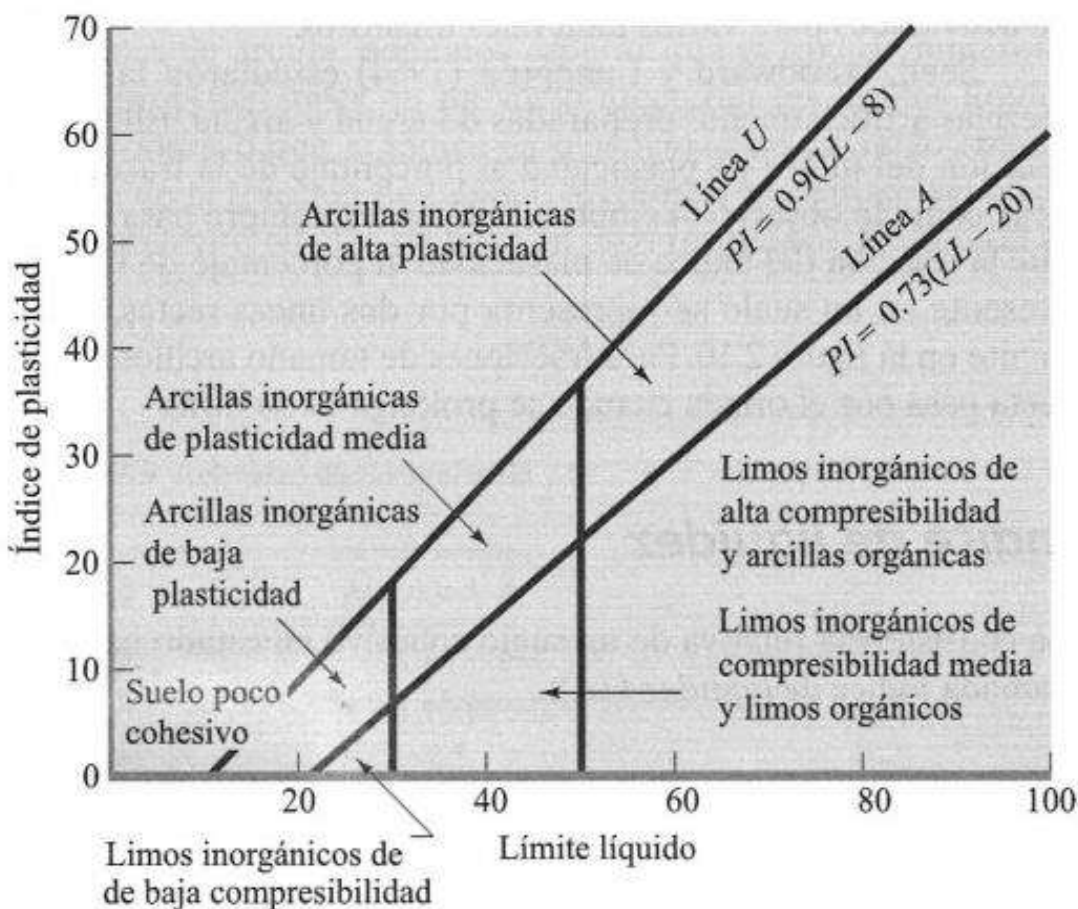
Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo así como para la identificación del mismo. Casagrande (1932) estudió la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad que muestra la figura. La característica importante de esta carta es la línea A empírica dada por la ecuación $PI = 0.73(LL - 20)$.

La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos para las arcillas inorgánicas se encuentran arriba de la línea A y aquellas para limos inorgánicos se hayan debajo de la línea A. Los limos orgánicos se grafican en la misma región (debajo de la línea A y con el LL variando entre 30 y 50) que los limos inorgánicos de compresibilidad media.

Las arcillas orgánicas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (debajo de la línea A y LL mayor que 50). La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Note que una línea llamada línea U se encuentra arriba de la línea A.

La línea U es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora. La ecuación para la línea U se da como $PI = 0.9(LL - 8)$

Figura 3: Carta de plasticidad



Fuente: Braja Das m.

(MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL, Joseph E. Bowles, 1981) (Bowles, 1981)

“Los límites líquido y plástico son sólo dos de los 5 "límites" propuestos por A. Atterberg, un científico sueco dedicado a la agricultura (ca. 1911). Estos límites son:

1. Límite de cohesión. Es el contenido de humedad con el cual las boronas de suelo son capaces de pegarse una a otras.

2. Límite de pegajosidad. Es el contenido de humedad con el cual el suelo comienza a pegarse a las superficies metálicas tales como la cuchilla de la espátula. Esta condición tiene importancia práctica para el ingeniero agrícola pues se relaciona con la capacidad del

suelo para adherirse a las cuchillas o discos del arado cuando se cultiva un suelo.

3. Límite de contracción. Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo. El método para determinar este contenido de humedad se presenta en el Experimento No. 4.

4. Límite plástico. Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico.

5. Límite líquido. Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

Los límites líquido y plástico han sido ampliamente utilizados en todas las regiones del mundo, principalmente con objetivos de identificación y clasificación de suelos. El límite de contracción ha sido útil en varias áreas geográficas donde el suelo sufre grandes cambios de volumen entre su estado seco y su estado húmedo. El problema de potencial de volumen puede muy a menudo ser detectado de los resultados de los ensayos de límite líquido y límite plástico. El límite líquido en ocasiones puede utilizarse para estimar asentamientos en problemas de consolidación (Experimento No. 13) y ambos límites son alguna. Veces útiles para predecir la máxima densidad en estudios de compactación (Experimento No. 9). Los dos métodos de clasificación presentados en el Experimento No. 8 incorporan el uso del límite líquido y el límite plástico.

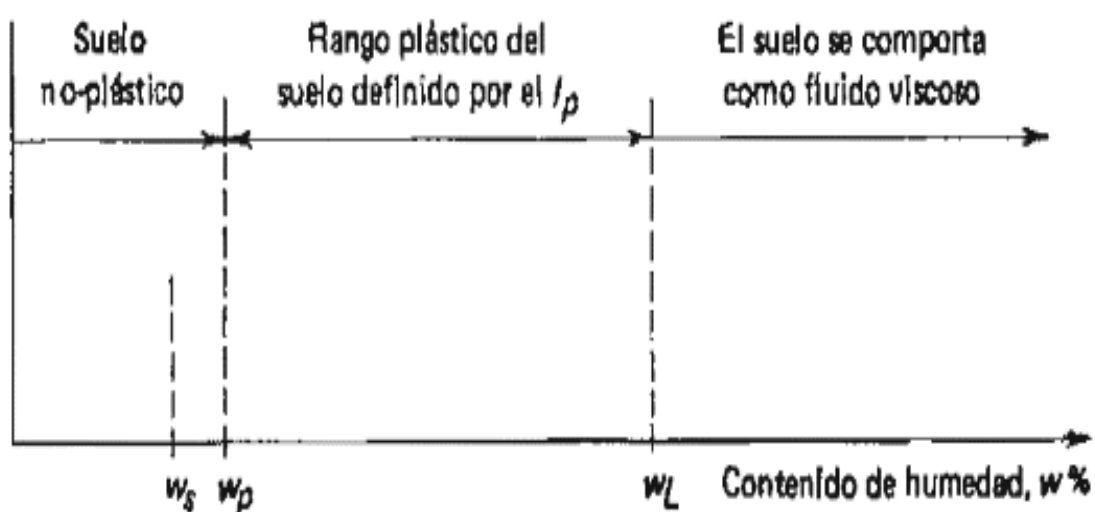
Los límites de cohesión y pegajosidad por el contrario han sido muy poco utilizados

Universalmente. En efecto solo muy recientemente se ha popularizado el conocimiento de que fueron 5 y no 3 los límites de plasticidad propuestos por Atterberg.

La localización relativa de los límites de contracción WS" plástico WP, y líquido WL, se muestran sobre una escala de humedad en la"

Figura 4: Localización relativa de los límites de contracción, plástico y líquido sobre la escala de contenido de humedad.

Nótese que la localización de w , puede llegar en algunos suelos a estar a la derecha de w_p



Fuente: (Joseph E. Bowles).

La tabla N° 2 nos da algunos valores representativos de los límites líquido y plástico para varios minerales y suelos arcillosos. Sin embargo, los límites de Atterberg para varios suelos variarán considerablemente, dependiendo del origen del suelo y de la naturaleza y cantidad de minerales arcillosos.

Tabla 2: Valores típicos de LL y LP para algunos minerales y suelos arcillosos.

Descripción	Límite líquido	Límite plástico
Caolinita	35-100	25-35
Ilita	50-100	30-60
Montmorillonita	100-800	50-100
Arcilla azul Boston	40	20
Arcilla Chicago	60	20
Arcilla Louisiana	75	25
Arcilla Londres	66	27
Arcilla Cambridge	39	21
Arcilla Montana	52	18
Loco Mississippi	95	32
Suelos loesianos del norte y noroeste de China	25-35	15-20

Fuente: (M. Das, 1999)

2.2.3. Contenido de humedad natural.

(MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL, Joseph E. Bowles, 1981) (Bowles, 1981)

“La determinación de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Como una definición,

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \text{Por ciento}$$

Donde W_w es el peso de agua presente en la masa de suelos y W_s , es el peso de los sólidos en el suelo. Podría definirse el contenido de humedad como la relación del peso de agua presente y el total de peso de la muestra (i. e., peso de agua más suelo); sin embargo, esto daría una cantidad en el denominador de la fracción que podría depender de la cantidad de agua presente:

$$W' = \frac{W_w}{W_s + W_w} = \frac{W_w}{W_t}$$

Y esto no es deseable pues el contenido de humedad estaría de esa forma relacionado a una cantidad variable y no a una cantidad constante. Esto puede verse fácilmente pues W_w aparece en ambos, numerador y denominador de la fracción: eco (1-2). El contenido de humedad se expresa algunas veces en función del volumen como

$$W = \frac{W_w}{W_s + W_w} = \frac{W_w}{W_t}$$

El cual, luego de una manipulación adecuada, puede reescribirse como

$$W = w \gamma_d$$

Donde V_w = volumen de agua presente en la masa de suelo

V_v = volumen de los vacíos del suelo.

V_s = volumen de los sólidos del suelo.

W = contenido de humedad.

γ_d = densidad seca del suelo (volumétrica).”

2.2.5. Análisis granulométrico por tamizado

En la clasificación de los suelos para usos de ingeniería es universalmente acostumbrado utilizar algún tipo de análisis granulométrico. Una parte importante de los criterios de aceptabilidad de suelos para carreteras, aeropistas, presas de tierra, diques, y otro tipo de terraplenes es el análisis granulométrico.

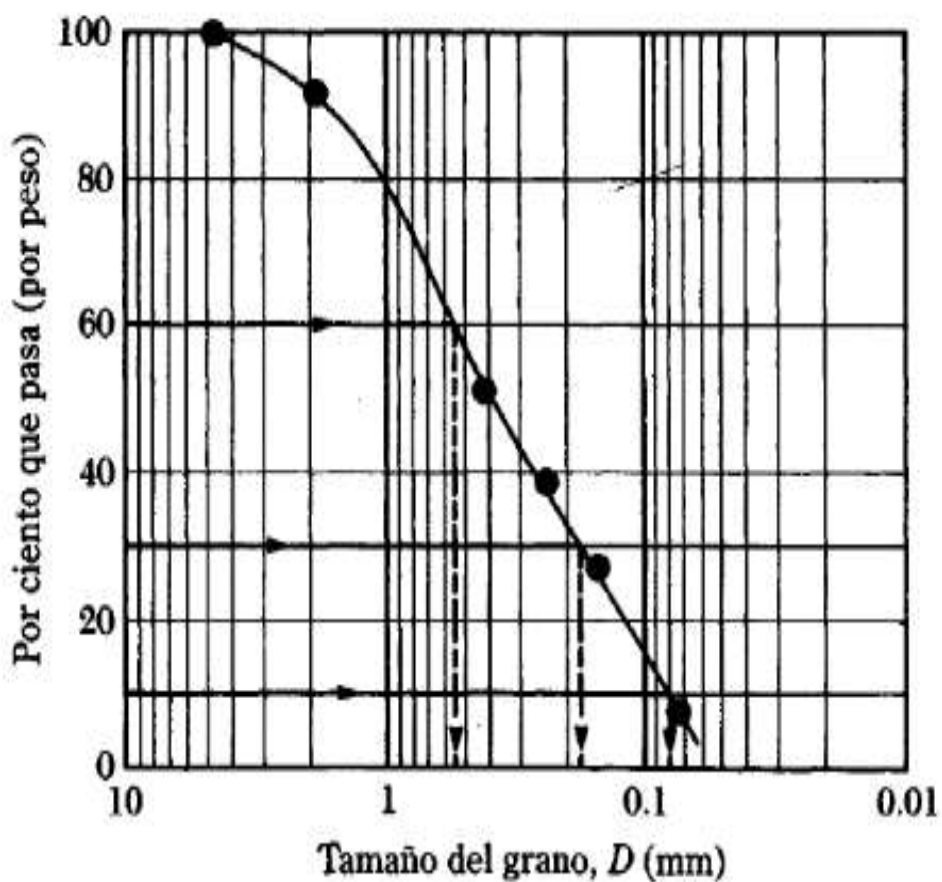
Análisis granulométrico por mallas

Este método trata de tomar una muestra seca de suelo debidamente pulverizado y q pase por una serie de mallas cada vez más pequeñas y que estás tengan en el fondo una charola. La cantidad de material retenido se pesa y se representa en porcentaje. Este porcentaje es determinado como “porcentaje que pasas”. La tabla 2.

(PRINCIPIOS DE INGENIERÍA DE CIMENTACIONES 4ta edición
BRAJAM DAS, 2001) (Das, 2001)

“Note que el diámetro del grano D se grafica sobre la escala logarítmica y el porcentaje que pasa se grafica sobre la escala aritmética.

Figura 5: Granulometría de un suelo de granos grueso obtenida por un análisis granulométrico por mallas.



Fuente: (Brajam Das, 2001)

Tabla 3: Tamaño de Cribas U.S. Estándar.

Criba N°	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Fuente: (Brajam Das, 2001)

Dos parámetros se determinan de las curvas granulométricas de suelos de grano grueso: (1) coeficiente de grano grueso (C_u) y (2) el coeficiente de graduación, o coeficiente de curvatura (C_z). Esos factores son:

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

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

Donde D_{10} , D_{30} , D_{60} son los diámetros correspondientes al porcentaje que pasa 10, 30, y 60% respectivamente.

Los parámetros C_u y C_z se usan el sistema unificado de clasificación de suelos.”

2.2.6. Resistencia al esfuerzo cortante

(MECÁNICA DE SUELOS TOMO 1 FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE SUELOS, Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2002, pág. 373). (Badillo & Rodríguez, 2002)

El problema de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede decirse que constituye uno de los puntos fundamentales de toda la mecánica de suelos.

La resistencia cortante de un suelo es la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior.

Los ingenieros deben entender los principios de la resistencia al cizallamiento del suelo para analizar los problemas, como.

- Capacidad de carga de cimentaciones superficiales
 - Estabilidad de taludes naturales o de origen humano
 - Estimación de la presión lateral de tierra para el diseño de estructuras de retención de tierras
 - Capacidad de carga de pilotes y pozos perforados.
- ✓ Gracias a Coulomb la Mecánica de Suelos tradicional había creído resolver el trascendental problema en forma satisfactoria; durante años, basándose en ideas sin duda más precisas que otras anteriores, el ingeniero Coulomb valuó la resistencia al esfuerzo cortante y construyó obras de tierra con una tranquilidad que hoy se sería exagerada.

CRITERIO DE FALLA DE MOHR – COULOMB

(Fundamento de ingeniería geotécnica cuarta edición-Braja M. Das, 2013, pag. 228-232) (geotécnica, 2013)

“Mohr (1900) presentó una teoría para la ruptura en los materiales. Esta teoría sostiene que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no de cualquier esfuerzo máximo normal o cortante solo. Por lo tanto, la relación funcional entre

el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante en un plano de falla se puede expresar en la forma.

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

Dónde:

τ_f = Esfuerzo cortante en el plano de falla.

σ = Esfuerzo normal en el plano de falla.

La envolvente de falla definida por la ecuación anterior es una curva. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente para aproximarse al esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Esta relación puede escribirse como.

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

Dónde:

c = Cohesión.

ϕ = Ángulo de fricción interna.

La ecuación anterior se denomina criterio de falla de Mohr – Coulomb.

En suelo saturado, el esfuerzo normal total en un punto es la suma del esfuerzo efectivo y la presión del agua intersticial, o

$$\sigma = \sigma' + u$$

El esfuerzo efectivo, σ' , los realizan los sólidos del suelo. Por lo tanto, para aplicar la ecuación a la mecánica de suelos, es necesario reescribirla como.

$$\tau_f = \sigma' + (\sigma - u) \tan \phi' = c' + \sigma' \tan \phi'$$

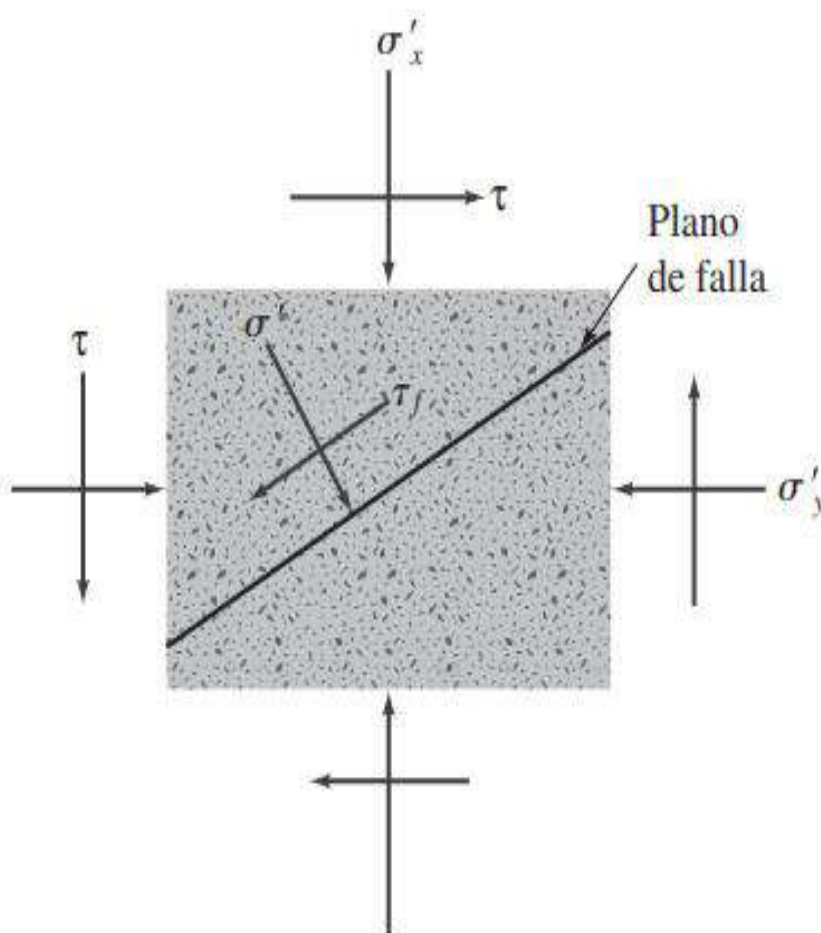
Dónde:

c' = Esfuerzo de cohesión efectivo.

ϕ' = Ángulo de fricción efectivo.

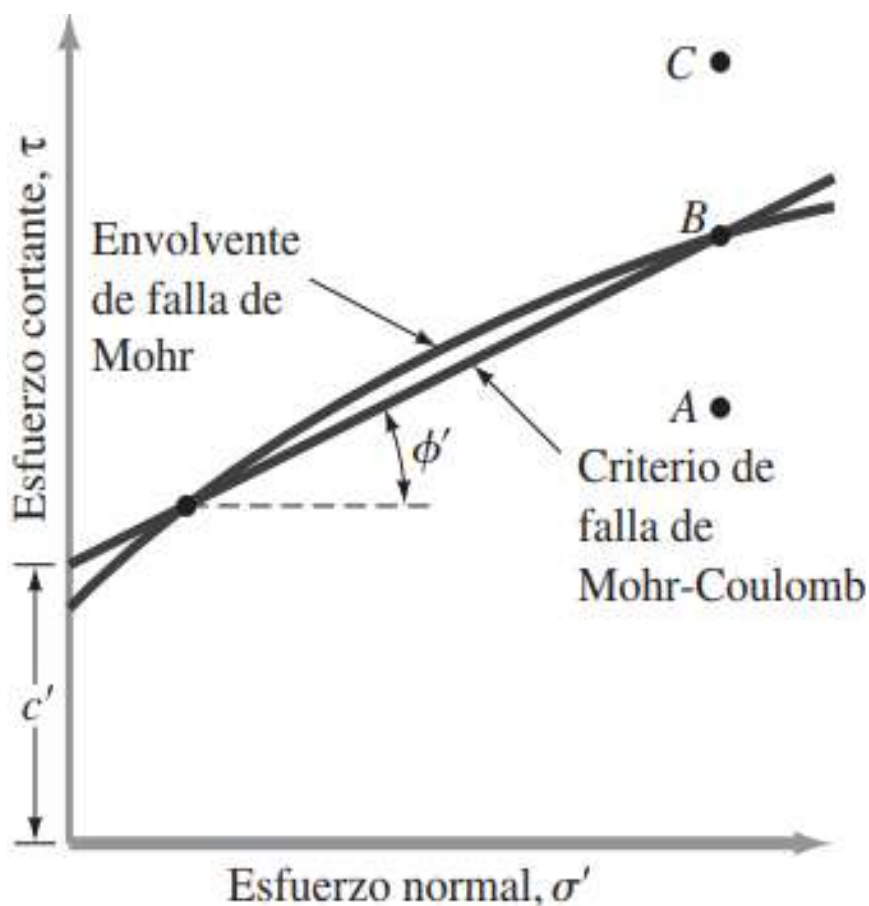
La importancia de la envolvente de falla se puede explicar de la siguiente manera: si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa de suelo (figura 4) son tales que se grafican como el punto A en la figura 5, entonces la falla de cizalla o corte se produce a lo largo de ese plano. Si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre el plano se grafican como el punto B (que cae sobre la envolvente de falla), entonces la falla de corte se producirá a lo largo de ese plano. Un estado de esfuerzo sobre un plano representado por el punto C no puede existir porque su gráfica está por encima de la envolvente de falla, y la falla de corte en un terreno se habría producido ya.

Figura 6: Envolvente de falla de Mohr



Fuente: (Braja, 2000).

Figura 7: Criterio de rotura de Mohr - Coulomb



Fuente: (Braja, 2000).

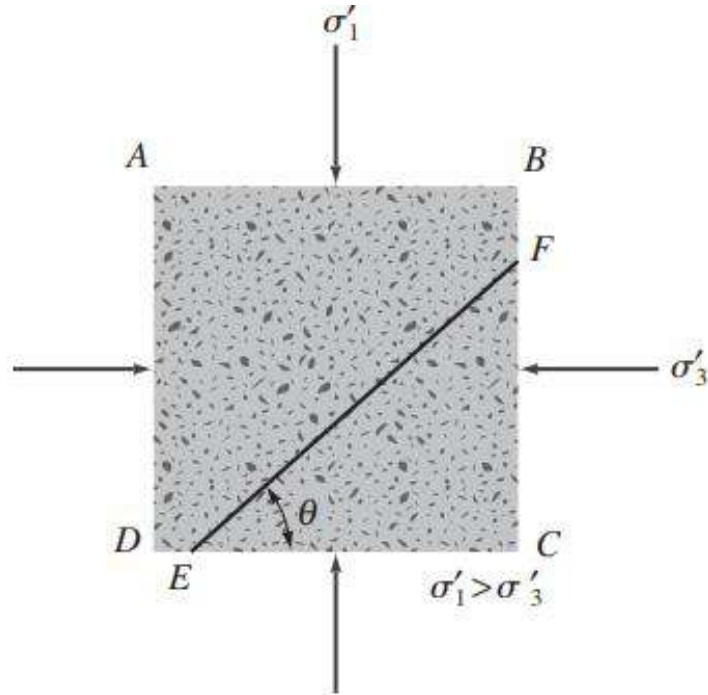
INCLINACIÓN DEL PLANO DE FALLA CAUSADO POR CORTANTE

Como se establecen los criterios de falla de Mohr - Coulomb, la falla por cortante se producirá cuando el esfuerzo cortante en un plano alcance el valor dado por la ecuación $\tau_f = \sigma' + (\sigma - u) \tan \phi' = c' + \sigma' \tan \phi'$. Para determinar la inclinación del plano de falla respecto al plano principal mayor, consulte la figura 6 donde σ'_1 y σ'_3 son, respectivamente, los esfuerzos eficaces principales mayor y menor. El plano de falla EF forma un ángulo θ con el plano principal mayor. Para determinar el ángulo θ y la relación entre σ'_1 y σ'_3 refiérase a la figura 7, que es una representación del círculo de Mohr para el estado de esfuerzo mostrado en la figura 6. En la figura 7, fgh es la envolvente de falla definida por la relación $\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$. La línea radial ab define el plano principal mayor (CD en la

figura 6), y la línea radial define en plano de falla (**EF en la figura 6**) Se puede demostrar que $\angle bad = 2\theta = 90 + \phi'$, o

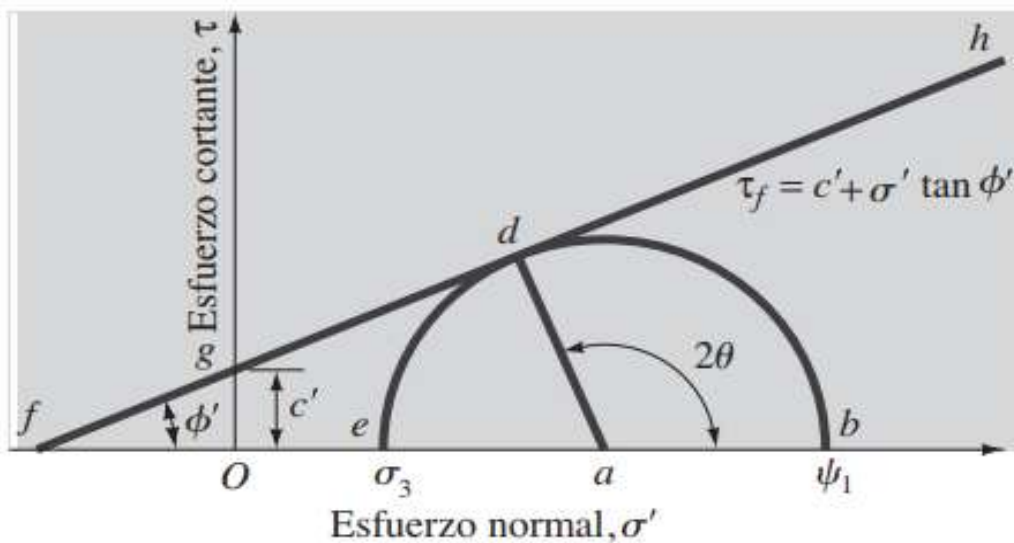
$$\theta = 45 + \phi'/2$$

Figura 8: Inclinación del plano de falla respecto al plano principal mayor



Fuente: (Braja, 2000).

Figura 9: Representación del Mohr - Coulomb



Fuente: (Braja, 2000).

De la figura 7, se tiene:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

La relación anterior es el criterio de falla de Mohr re-enunciado en términos de los esfuerzos de falla.”

RESEÑA HISTÓRICA

(MECÁNICA DE SUELOS TOMO 1 FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE SUELOS, Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2002, pág. 373). (Juarez & Rico, 2002)

“El físico e ingeniero francés C.A. Coulomb (1776) la idea de coulomb propone que hay fricción entre las partículas del suelo y la resistencia del suelo y da a entender que este suceso de fenómenos y siguen las leyes de la fricción entre cuerpos según la mecánica elemental.

Es sabido que si un cuerpo sobre el que actúa una fuerza normal P ha de deslizar sobre una superficie rugosa, se encuentra que la fuerza F, necesaria para ello, resulta ser proporcional a P, teniéndose:

$$F = \mu P$$

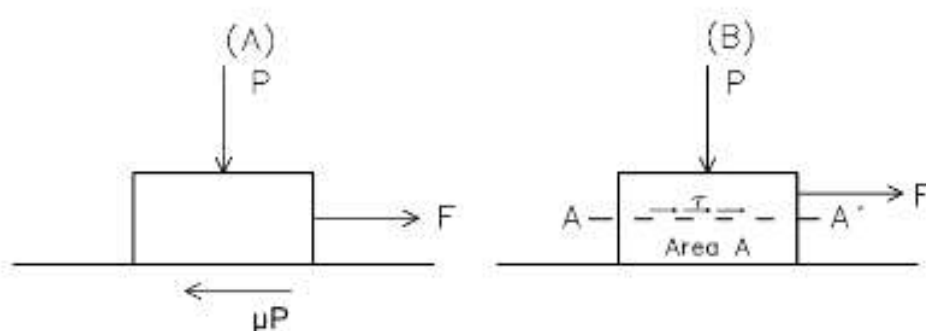
Donde μ recibe el nombre de coeficiente de fricción entre las superficies en contacto.

Coulomb admitió que, en primer lugar, los suelos fallan por esfuerzo cortante a lo largo de los planos de deslizamiento y que, y que esencialmente, el mismo mecanismo de fricción arriba mencionado rige la resistencia al esfuerzo cortante de, por lo menos, ciertos tipos de suelos.

El esfuerzo cortante máximo susceptible de equilibrio y, por lo tanto la resistencia al esfuerzo cortante del suelo por unidad de área en ese plano, es proporcional al valor de σ , presión normal en el plano AA', teniéndose.

$$\frac{F}{A} = s = \tau_{max.} = \sigma \tan \phi$$

Figura 10: Mecánica de los fenómenos de fricción.



Fuente: Elaboración Propia.

Dada una masa de suelo.

La resistencia al esfuerzo cortante, S , de un suelo, en términos del esfuerzo efectivo, es:

$$S = c + \sigma' \tan \phi$$

Dónde: σ' = esfuerzo normal efectivo en el plano de corte.

C = Cohesión, o cohesión aparente.

ϕ = Angulo de fricción.

La ecuación anterior se conoce como al criterio de falla de Mohr – Coulomb. El valor para arenas y arcillas normalmente consolidadas es igual a cero.”

2.2.7. Tamaño de muestra para ensayo de corte directo en laboratorio.

Según las normas:

ASTM D3080-72.

ASCE (1960), Conferencia de Investigación Sobre Resistencia al Corte en Suelos Cohesivos, Boulder, Colorado.

Con una muestra de suelo, se procede a determinar la cantidad de muestra para luego llevarla con un recipiente, a una caja abierta en su parte superior (lugar en donde se someterá el suelo a tensiones). Esto

se hará tres veces hasta alcanzar un peso determinado a priori, y se va remodelando en la caja de corte directo para alcanzar una densidad relativa deseada. A medida que se van dejando las porciones de muestra, se van repartiendo equitativamente, para dejar la muestra en un plano lo más horizontal posible utilizando una regla geotécnica.

Hay factores que no hacen confiable el ensayo de corte directo.

-El área de la muestra cambia a medida que el ensayo progresa, sin que esto sea demasiado significativo ya que la mayoría de las muestras "fallan" a deformaciones muy bajas.

- El ensayo usa una muestra muy pequeña, con el consiguiente resultado de que los errores de preparación son relativamente importantes.

-El tamaño de la muestra excluye la posibilidad de hacer mucha investigación de las condiciones de presión de poros durante el ensayo.

Hay factores que hacen versátil el ensayo de corte directo.

-El tamaño de las muestras hace que efectuar ensayos consolidados - no drenados y consolidados - drenados no requiera demasiado tiempo, pues el tiempo de drenaje es bastante corto aún para materiales con bajo coeficiente de permeabilidad, debido a que el camino de drenaje es muy pequeño.

-Se ha introducido cajas con muestra cuadrada de forma que la reducción de área durante el ensayo puede fácilmente tenerse en cuenta si se desea. El uso de cajas cuadradas es relativamente reciente, y la mayoría. De las máquinas antiguas todavía en servicio utilizan muestras de caja circular.

TAMAÑO DE MUESTRA PARA ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CAMPO.

No existen especificaciones precisas sobre el ensayo, pero la idea es reproducir “in situ” el ensayo de corte directo de laboratorio. Para tal efecto se deben idear los sistemas de transmisión de cargas normal y horizontal, así como definir la forma y dimensión de los especímenes de tal forma que estos sean representativos de la distribución granulométrica del suelo.

2.2.8. Ensayo de corte Directo

“FUNDAMENTOS DE GEOTECNIA, BRAJA DAS M., 1984” (Das B., 1984)

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

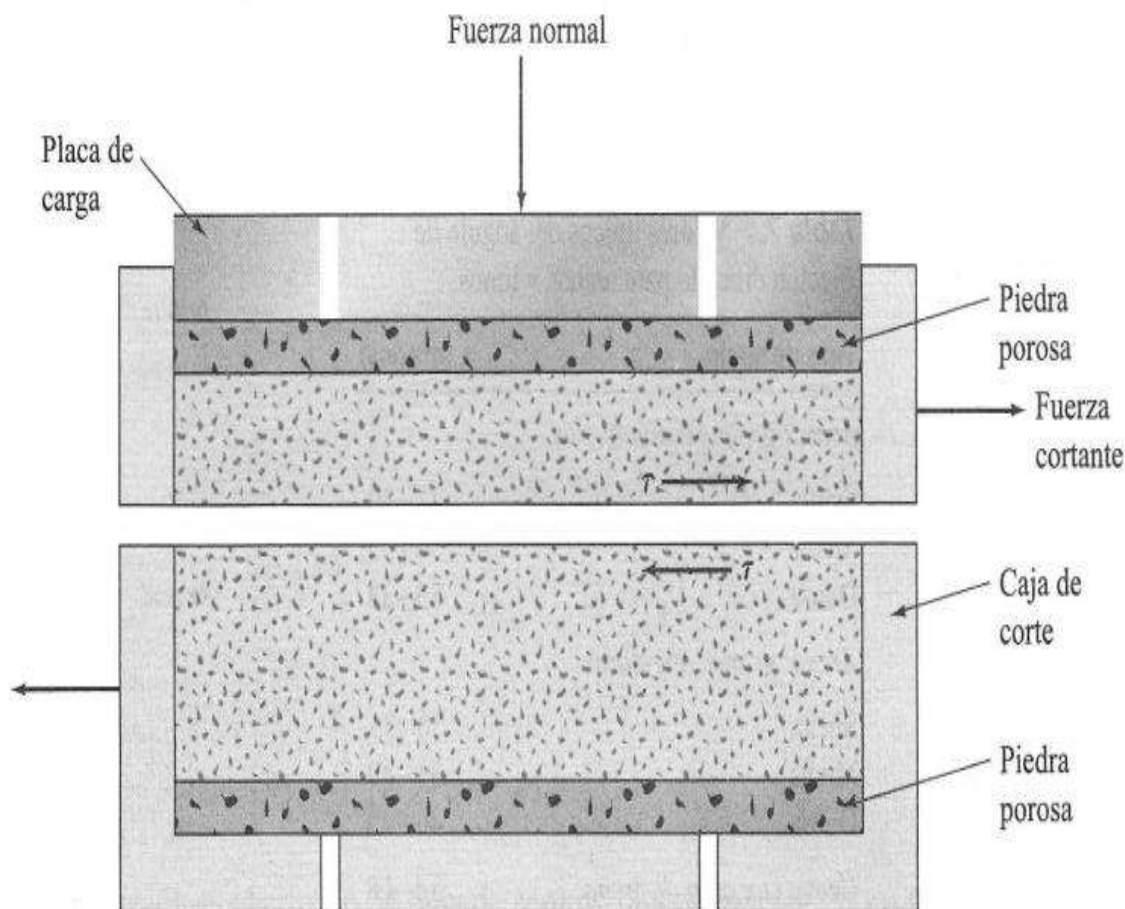
La prueba de corte es más antigua y simple. Un diagrama del aparato para la prueba de corte directo se muestra en la figura. El equipo consiste en una caja de corte metálica en la que se coloca el espécimen. Las muestras pueden ser cuadradas o circulares. El tamaño de los especímenes generalmente usados es aproximado de 20 a 25 cm² transversalmente y de 25 a 30 mm de altura.

La caja está cortada horizontalmente en dos partes. La fuerza normal sobre el espécimen se aplica desde la parte superior de la caja de corte. El esfuerzo normal sobre los especímenes debe ser tan grande como 1000 kN/m². La fuerza cortante es aplicada moviendo una mitad de la caja respecto de la otra para generar la falla en el espécimen de suelo. Dependiendo del equipo, la prueba de corte puede ser controlada por el esfuerzo o por la deformación unitaria. En las pruebas controladas por el esfuerzo, la fuerza cortante es aplicada en incrementos iguales hasta que el espécimen falla, lo cual tiene lugar a lo largo del plano de separación de la caja de corte. Después de la aplicación de cada incremento de carga, el desplazamiento cortante de la mitad superior de la caja se mide por medio de un micrómetro horizontal.

El cambio en la altura del espécimen (y por tanto el cambio de su volumen) durante la prueba se obtiene a partir de las lecturas del micrómetro que mide el movimiento vertical de la placa superior de carga. En pruebas controladas por la deformación unitaria se aplica una razón constante de desplazamiento cortante a una mitad de la caja por medio de un motor que actúa a través de engranes. La tasa constante de desplazamiento cortante se mide con un micrómetro horizontal.

La fuerza cortante resistente del suelo correspondiente a cualquier desplazamiento cortante se mide por medio de un anillo de ensaye horizontal o con una celda de carga. El cambio de volumen durante la prueba se obtiene de manera similar a las pruebas controladas por el esfuerzo. La figura es una fotografía del equipo de prueba de corte directo controlado por la deformación unitaria. La ventaja de las pruebas por deformación unitaria controlada es que, en el caso de arena densa se observa y grafica la resistencia cortante pico (es decir, en la falla) así como resistencias cortantes menores (es decir, en un punto después de la falla llamado resistencia última). En las pruebas por esfuerzo controlado, sólo la resistencia cortante pico se observa y gráfica. Note que la resistencia cortante pico en las pruebas controladas por el esfuerzo sólo es aproximada, debido a que la falla ocurre a un nivel de esfuerzo situado entre el incremento de carga de pre falla y el incremento de carga de falla. No obstante, las pruebas de esfuerzo controlado probablemente simulan mejor las situaciones reales de campo que las pruebas controladas por deformación controlada.

Figura 11: Prueba de Corte Directo



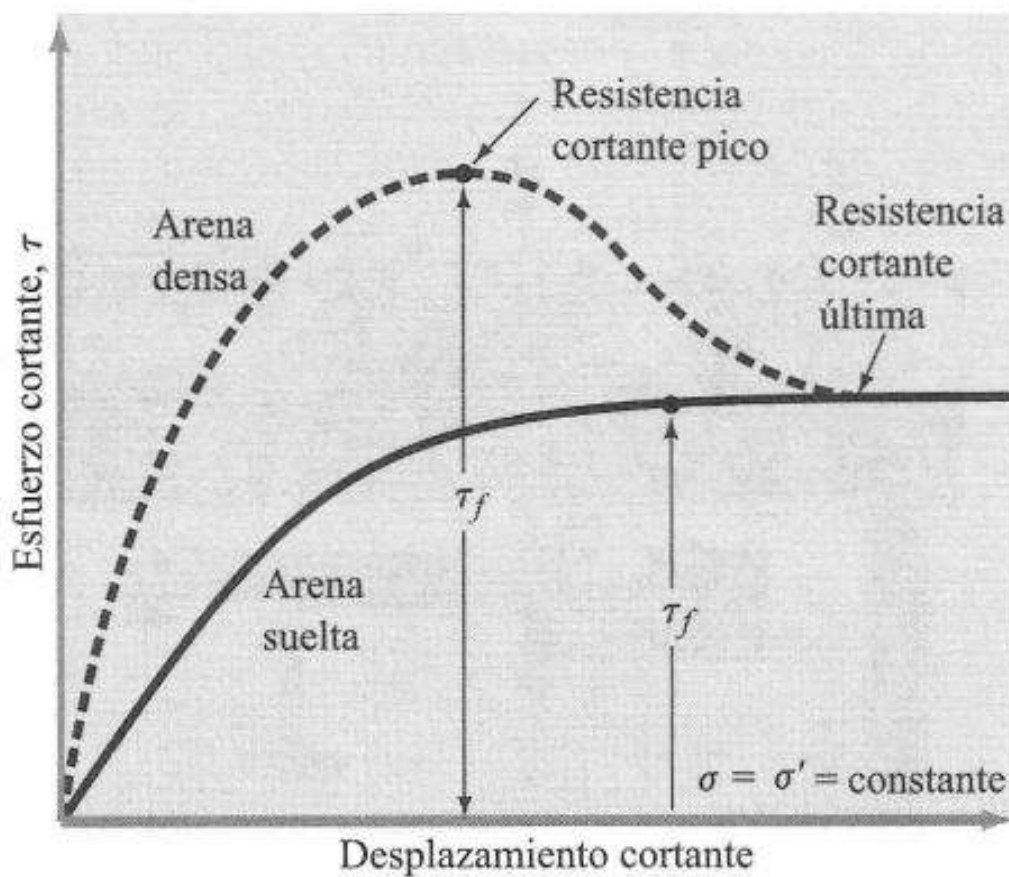
Fuente: Braja Das m.

La figura muestra una gráfica típica del esfuerzo de corte y el cambio en la altura del espécimen versus el desplazamiento cortante para arenas sueltas y densas. Esas observaciones se obtuvieron en una prueba por deformación controlada. Las generalizaciones siguientes se hacen de la figura respecto a la variación del esfuerzo cortante resistente con el desplazamiento cortante.

1. En arena suelta, el esfuerzo cortante resistente crece con el desplazamiento cortante hasta que se alcanza un esfuerzo cortante de falla - Después de eso, la resistencia cortante permanece aproximadamente constante con cualquier incremento adicional del desplazamiento cortante.

2. En arena densa, el esfuerzo cortante resistente crece con el desplazamiento cortante hasta que se alcanza un esfuerzo de falla llamado resistencia cortante pico. Después de que se alcanza el esfuerzo de falla, el esfuerzo cortante resistente decrece gradualmente conforme crece el desplazamiento cortante hasta que alcanza finalmente un valor constante llamado la resistencia cortante última.

Figura 12: Esfuerzo constantes VS Desplazamiento Cortante



Fuente: Braja Das m.

(Ing^o LUISA ESTHER SHUAN LUCAS, tesis INVESTIGACIÓN DE LA MATRÍZ EN LAS GRAVAS DEL PERÚ MODELO GRAVA DE VENTANILLA, 2011) (Shuan Lucas, 2011)

“En laboratorio se puede efectuar ensayos en material de suelo como en arena, limos, arcillas, etc. El ensayo consiste en determinar de una manera rápida y aproximada los parámetros de resistencia del suelo como son la cohesión(C) y el ángulo de fricción (ϕ) de un suelo de estudio. Cuyos resultados obtenidos son corregidos para su aplicación en los cálculos de diseños en estructuras para dicho material de suelo.”

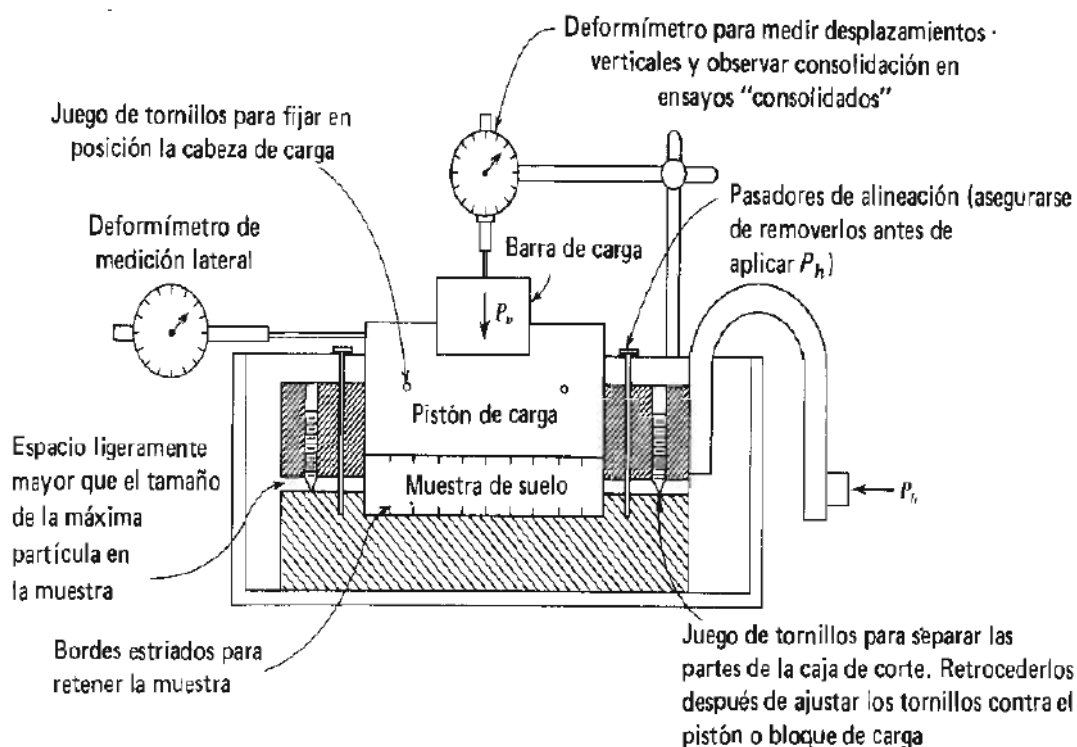
“El equipo consiste en una caja de corte metálica donde se coloca el espécimen. La caja está cortada horizontalmente en dos partes. La fuerza normal sobre el espécimen se aplica desde la parte superior de la caja de corte. La fuerza cortante se aplica moviendo una mitad de la caja respecto de la otra para generar la falla en el espécimen”. (Das, 2001).

- a) Este método de prueba es desarrollado para la determinación de la resistencia al corte de un suelo. Se realiza mediante la deformación de un espécimen en un rango de deformación controlada. Generalmente se realizan un mínimo de 3 pruebas, cada una bajo una carga normal para determinar el efecto sobre la resistencia y desplazamiento y las propiedades resistentes.
- b) La muestra obtenidas deben estar protegidas desde obtención hasta su llegada al laboratorio lo más inalterado posible.

CARACTERÍSTICAS:

La caja de corte se divide en dos partes, la parte inferior es fija y la parte superior es móvil. Estando el suelo colocado en la caja, se le aplica un esfuerzo normal, luego se le aplica una fuerza horizontal de corte en la parte superior de la caja de tal forma que la muestra es deslizada hasta llegar a la falla.

Figura 13: Caja de partes del Ensayo de corte directo.



Fuente: (Joseph E Bowles).

Después de proceder con este ensayo de corte en laboratorio, para cada una de las muestras se determina el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante resistente.

De la siguiente ecuación se puede determinar el Angulo de fricción y cohesión.

$$\tau_f = \sigma' \tan \phi \quad (\text{Das, 2001})$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{\tau_f}{\sigma'}\right) \quad (\text{Das, 2001})$$

Donde:

ϕ = Angulo de fricción.

τ_f = Esfuerzo cortante.

σ = Esfuerzo normal.

(MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERIA CIVIL, Joseph E. bowles, 1981) (E., 1981)

“Los ensayos de corte directo pueden clasificarse como sigue:

1. ENSAYOS NO CONSOLIDADOS-NO DRENADOS.

El corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo la carga normal P_o . Si el suelo es cohesivo, y saturado, se desarrollará exceso de presión de poros. Este ensayo es análogo al ensayo triaxial no consolidado drenado.

2. ENSAYO CONSOLIDADO-NO DRENADO.

Se aplica la fuerza normal, y se observa el movimiento vertical del deformímetro hasta que pare el asentamiento antes de aplicar fuerza cortante.

Este ensayo puede situarse entre los ensayos triaxiales consolidado-no drenado y consolidado- drenado.

3. ENSAYO CONSOLIDADO-DRENADO.

La fuerza normal se aplica, y se demora la aplicación del corte hasta que se haya desarrollado todo el asentamiento; se aplica a continuación la fuerza cortante tan lento como sea posible para evitar el desarrollo de presiones de poros en la muestra. Este ensayo es análogo al ensayo triaxial consolidado-drenado.

Para suelos no cohesivos, estos tres ensayos dan el mismo resultado, esté la muestra saturada o no, y por supuesto, si la tasa de aplicación del corte no es demasiado rápida. Para materiales cohesivos, los parámetros de suelos están marcadamente influidos por el método de ensayo y por el grado de saturación, y por el hecho de que el material esté normalmente consolidado o sobre consolidado.”

2.2.9. Ensayo de corte directo en campo

(Ing^o LUISA ESTHER SHUAN LUCAS, tesis INVESTIGACIÓN DE LA MATRÍZ EN LAS GRAVAS DEL PERÚ MODELO GRAVA DE VENTANILLA, 2011) (Shuan Lucas, 2011)

“El ensayo de corte directo “in situ” permite una determinación confiable de los parámetros de resistencia al corte directamente en el campo. No existen especificaciones precisas sobre el ensayo, pero la idea es reproducir “in situ” el ensayo de corte directo de laboratorio. Para tal efecto se deben idear los sistemas de transmisión de cargas normal y horizontal, así como definir la forma y dimensión de los especímenes de tal forma que se puede obtener los parámetros de cohesión y ángulo de fricción.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

EQUIPO DE CONFINAMIENTO

La función de este equipo es la de confinar al espécimen y aplicarle la carga horizontal y vertical, puede utilizarse para este fin una caja metálica. Las dimensiones deben ser tales que permitan el tallado de especímenes representativos considerando el tamaño máximo de los cantos.

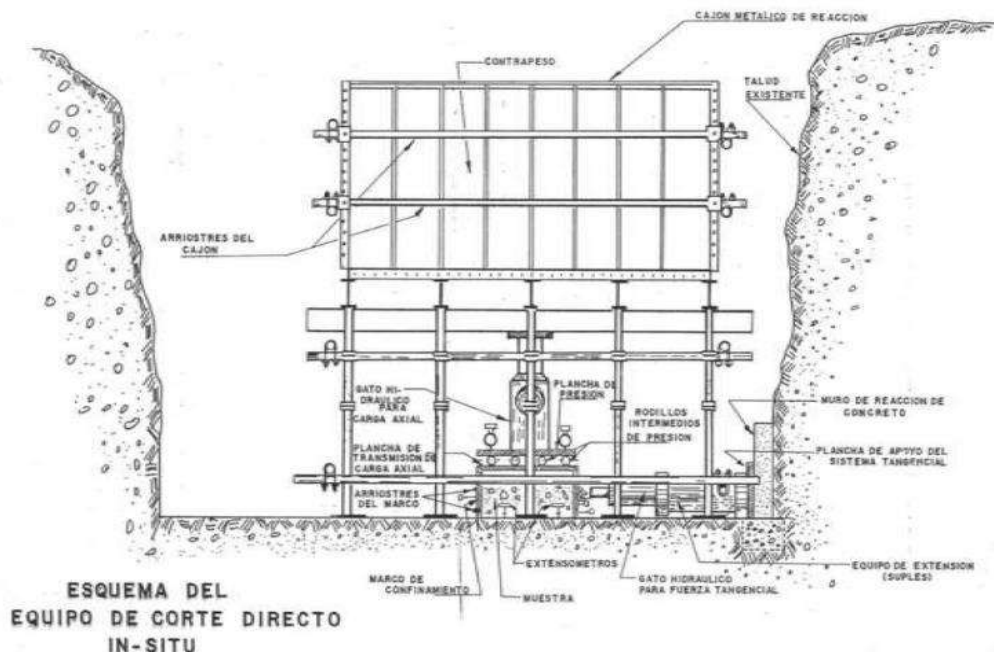
SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE CARGA AXIAL

Puede ser ideado según los equipos y materiales disponibles “in situ” y que sea capaz de conformar una sobrecarga suficiente de tal forma que transmita las presiones normales requeridas para cada uno de los especímenes.

RODILLOS

Se emplean rodillos o polines de sección llena perfectamente pulidos colocados entre dos planchas metálicas, su función es evitar que durante la aplicación de la fuerza tangencial se desestabilice el sistema de carga. Si no hubiera los rodillos, en el momento de aplicación de la fuerza tangencial todo el sistema de carga tendería a moverse en dirección de la fuerza horizontal, si el desplazamiento fuera significativo el sistema de carga podría venirse abajo. Los rodillos giran sobre si mismos durante la aplicación de la fuerza y permite la estabilidad del sistema de carga axial.”

Figura 14: Sistema para Ejecución de Ensayo de Corte Directo “In Situ”



Fuente: Ing^o Luisa Esther Shuan Lucas

PROCEDIMIENTO DE CORTE

Estando el espécimen confinado dentro de la caja metálica, se procede a ejecutar el ensayo, primero se aplica la carga normal por incrementos, luego se espera un tiempo para que ocurra un asentamiento total para la presión normal especificada, una vez conseguido el asentamiento total, se aplica la fuerza tangencial también por incrementos. Durante el proceso de ruptura, el esfuerzo normal deberá mantenerse constante y la fuerza tangencial se hace variar en forma creciente y controlada hasta conseguir la ruptura.

2.2.10. Angulo de fricción interna

Según (Bilz, 1995) El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan}(\phi)$$

Es una propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de

reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular. En un material granuloso cualquiera, el ángulo de reposo está determinado por la fricción, la cohesión y la forma de las partículas pero en un material sin cohesión y donde las partículas son muy pequeñas en relación al tamaño del conjunto el ángulo de reposo coincide con el ángulo de rozamiento interno. Es importante para determinar la estabilidad de taludes, la resistencia de una cimentación o para el cálculo del empuje de tierras.

El ángulo de fricción depende de varios factores (Bilz, 1995) entre ellos algunos de los más importantes son:

- a. Tamaño de los granos
- b. Forma de los granos
- c. Distribución de los tamaños de granos
- d. Densidad.

2.2.11. Cohesión

Según (Bilz, 1995) La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al esfuerzo cortante producida por la cementación.

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide kg/cm^2 . Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de $0,25 \text{ kg/cm}^2$ a 1.5 kg/cm^2 , o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula. Cuando se le añade a la tierra, incluso la que tiene un alto contenido de arena, el agua juega un papel fundamental en la cohesión del suelo, debido a la tensión de la superficie. Esa propiedad proporciona una unión débil entre los granos de tierra para causar la cohesión. Los minerales como la sal y el caliche favorecen a las propiedades cohesivas del suelo.

2.2.12. Normas técnicas peruanas para corte directo

(NORMA E050): Este ensayo de CORTE DIRECTO está basado según la norma técnica peruana NTP 339.171

El objetivo de esta Norma es establecer los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos (EMS), con fines de cimentación, de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma. Los EMS se ejecutarán con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras y para promover la utilización racional de los recursos.

ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación de la presente Norma comprende todo en territorio

Nacional.

Las exigencias de esta Norma se consideran mínimas. La presente Norma no toma en cuenta los efectos de los fenómenos de geodinámica externa y no se aplica en los casos que haya presunción de la existencia de ruinas arqueológicas; galerías u oquedades subterráneas de origen natural o artificial. En ambos casos deberán efectuarse estudios específicamente orientados a confirmar y solucionar dichos problemas.

ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS (EMS)

Son aquellos que cumplen con la presente Norma, que están basados en el metrado de cargas estimado para la estructura y que cumplen los requisitos.

REFERENCIAS NORMATIVAS

NTP 339.171:2002 SUELOS. Método de ensayo normalizado para el ensayo de corte directo en suelos bajo condiciones consolidadas no drenadas.

2.2.13. Normas internacionales para corte directo.

(NORMA INV E -154 – 13).

OBJETIVO. Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de un muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo. La prueba se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca de un plano de corte determinado por la configuración del aparato de ensayo.

(NORMA UNE 103401 2.3.1)

Objetivo y campo de aplicación. Esta norma tiene por objetivo la determinación de los parámetros resistentes, cohesión, c , y ángulo de rozamiento interno, ϕ , de una muestra de suelo sometida a esfuerzo cortante. También se pueden obtener los parámetros de resistencia residual cR y ϕR . Normalmente el ensayo se realiza sobre tres probetas de una misma muestra de suelo, sometida cada una de ellas a una presión normal diferente.

Modalidades de ensayo que contempla esta norma Tipos de ensayo:

- Ensayo consolidado-drenado (CD).
- Ensayo consolidado-no drenado (CU).
- Ensayo no consolidado-no drenado (UU).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Los términos básicos usados en la investigación experimental, así como los conceptos que deben ser detallados, serán definidos en forma precisa y concisa y dar a conocer un vocabulario necesario para alcanzar un entendimiento para cualquier persona interesada por el trabajo.

1. **COMPACTACIÓN:** Proceso mecánico o natural (a través del tiempo), medios por el cual se reduce el volumen de los materiales y aumentando su resistencia al corte en un determinado tiempo, con el fin que sea resistente.
2. **COMPRESIBILIDAD:** capacidad de los materiales de comprimirse. Depende del agua y el tiempo.
3. **CONSOLIDACIÓN:** es un fenómeno de compactación natural, que se lleva a cabo durante mucho tiempo quizá siglos, y la compactación mecánica que se hace en un tiempo limitado, y la disminución de volumen se efectúa a costa de la salida de aire y el agua que contenga el suelo.
4. **DENSIDAD:** Es la relación de la masa sobre el volumen de la muestra.
5. **ÍNDICE DE PLASTICIDAD:** Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.
6. **LIMITE LÍQUIDO:** Contenido de agua correspondiente al límite entre el estado semi-líquido y plástico. Se les practican estos ensayos a los materiales que pasen la malla no. 40.
7. **LIMITE PLÁSTICO:** Contenido de humedad en la muestra a ensayar, correspondiente al límite entre el estado plástico y semi-sólido.
8. **MUESTRA:** Material necesario para realizar ensayos para todas las pruebas de laboratorio.
9. **ESFUERZO NORMAL NOMINAL:** Es la fuerza normal vertical aplicada, dividida por el área de la caja de corte.
10. **ESFUERZO CORTANTE NOMINAL:** Es la fuerza horizontal aplicada en el ensayo de corte.
11. **FALLA:** Es la deformación o ruptura de un suelo a condición determinado esfuerzo en el instante de una falla de un espécimen de ensayo.
12. **MUESTRAS ALTERADAS:** Muestras llamadas “perturbadas”, con la intervención de la mano del hombre las cuales se toman cuando el material que se analice vaya a ser empleado en la construcción de terraplenes, en la preparación de muestras estabilizadas, y otras obras de construcción.

13. **MUESTRAS INALTERADAS:** Muestras llamadas “no perturbadas”, las cuales al ser extraídas no se deben alterar sus estructuras de las propiedades mecánicas y físicas del suelo y se extraen cuando se necesite conocer las condiciones de estabilización del terreno “in situ” como en el estudio de taludes, capacidad de soporte de un terreno.
14. **PESO ESPECÍFICO:** Es la relación entre el peso del suelo y el volumen del suelo en estudio.
15. **PESO VOLUMÉTRICO SECO:** es la relación entre el peso de los sólidos y el volumen total del suelo.
16. **PROPIEDADES MECÁNICAS:** Son parámetros cuantitativos que sirven en el cálculo de las fundaciones o estructuras de la muestra en estudio.
17. **COHESIÓN:** Propiedad mecánica de un suelo que describe la facilidad o dificultad que tiene de atraerse y mantenerse unido, evitando la disgregación de los materiales.
18. **ESFUERZO CORTANTE:** El esfuerzo de corte, de cizalla o de cortadura es el esfuerzo interno resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.
19. **GATA HIDRÁULICA:** Es un equipo mecánico que permite transmitir esfuerzos para levantar cargas mediante el accionamiento manual de una palanca.
20. **CALICATA:** Estas son excavaciones de profundidad pequeña a media, con un máximo de entre 3 y 4m metros de profundidad.

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. Las calicatas permiten:

- Una inspección visual del terreno “in situ”.
- Toma de muestras.
- Realización de algún ensayo de campo.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis general

El tamaño de la muestra de suelo no influye en los parámetros de resistencia al esfuerzo de corte del sector, Primero de enero, distrito de Santiago, cusco.

2.4.2. Hipótesis específicos

- El tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo no influye en el ángulo de fricción interna del suelo comparada con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco.
- El tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo no influye en la cohesión del suelo comparado con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco.

2.5. VARIABLES DE ESTUDIO

2.5.1. Variable Independiente.

De la hipótesis Principal: el tamaño de la muestra del suelo

De la hipótesis secundaria: el tamaño de la muestra del suelo

2.5.2. Variable Dependiente.

De la hipótesis principal: parámetros de resistencia al esfuerzo cortante.

De la hipótesis secundaria: ángulo de fricción interna y cohesión.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación presente titulada: **“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN SUELOS COHESIVOS DE LA URBANIZACIÓN PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO”**, es una INVESTIGACIÓN APLICADA, porque intenta resolver un problema práctico y además hace uso de conocimiento existente actual para lograr este objetivo.

3.1.2. Nivel de investigación.

La investigación presente tiene como nivel de investigación el CAUSAL – EXPLICATIVO, porque se busca determinar o establecer el porqué de un fenómeno (RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE) explicando este mediante otro fenómeno (COMPARACIÓN DE DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA).

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación presente es una investigación EXPERIMENTAL – LONGITUDINAL porque se aplica a 13 pruebas en varios periodos de tiempo y del cual se obtuvo el progreso de las variaciones.

3.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.

El método que se usará en la presente investigación es EXPERIMENTAL, porque analiza la variable y busca medir el efecto de la variable independiente (tamaños diferentes de muestra) sobre la variable dependiente (Parámetros de resistencia al esfuerzo cortante).

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población.

La población de la investigación son los diferentes suelos del sector, Primero de Enero, Distrito de Santiago, Cusco.

3.4.2. Muestra.

La muestra representativa con la cual se trabajará está tomadas de la urbanización, Primero de Enero Distrito de Santiago, Cusco. En total 13 muestras que se trabajaran en el laboratorio y en el campo.

Tabla 4: Numero de muestra para someterlas a ensayo.

NÚMERO	NOMBRE DEL ENSAYO	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD DE ENSAYOS
1	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN: - LIMITES DE PLASTICIDAD - GRANULOMETRÍA - CLASIFICACIÓN DE SUELOS	MUESTRA ALTERADA	3
2	ENSAYOS DE CORTE DIRECTO EN LABORATORIO	MUESTRA ALTERADA	1

3	ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CAMPO	MUESTRA INALTERADA TAMAÑO A	3
4	ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CAMPO	MUESTRA INALTERADA TAMAÑO B	3
5	ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CAMPO	MUESTRA INALTERADA TAMAÑO C	3

Fuente: Elaboración propia:

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas.

El procedimiento que se utilizó fue el de OBSERVACIÓN

3.5.2. Instrumentos.

El instrumento que se usó fue LA FICHA DE OBSERVACIÓN.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO.

Las muestras tomadas para la realización de la presente investigación, se tomaron de la urbanización, Primero de Enero, distrito de Santiago-cusco. Considerando las características granulométricas.

4.1.1. Clasificación e identificación de suelos.

Para la clasificación e identificación del estudio de suelo se consideró los siguientes sistemas normadas:

AASHTO M-145 Clasificación de suelos según AASHTO.

ASTM D-2487 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos-SUCS.

1. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASTHO.

El sistema de clasificación AASTHO fue desarrollado en 1929. Como el sistema de clasificación de administración de carreteras. Propuesta para la clasificación de la sub-Rasante de carreteras y suelos granulares de la junta de investigación de carreteras en 1945.

El sistema de clasificación de la AASHTO es la conveniente porque, Provee una forma de utilizar los límites plástico y líquido para obtener la clasificación de los suelos, para los cuales el hecho de tener más de un 35% de material más fino que el tamiz No. 200.

Este, factor puede utilizarse para obtener la clasificación de subgrupo de los suelos para los cuales el hecho de tener menos del 35% del material más fino que el tamiz No. 200, es un factor esencial de clasificación.

El suelo tipo A-S (no se muestra) se clasifica visualmente como turba.

El sistema AASHTO utiliza además un índice de grupo para comparar diferentes suelos dentro de un mismo grupo.

La ecuación para establecer el índice de grupo es la siguiente:

$$IG = (F-35) [0.2 + 0.005(LL- 40)] + 0.01 (F- 15) (PI- 10). \quad (4.1)$$

Donde:

F = porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL = límite líquido

PI = índice de plasticidad.

El primer término de la ecuación es decir $(F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)]$, es el índice de grupo parcial determinado por el límite líquido. El segundo término, $0.01 (F - 15) (PI - 10)$, es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad. A continuación se presentan algunas reglas para la determinación del índice de grupo:

1. Si la ecuación (4.1) da un valor negativo para IG , se toma como 0.
2. El índice de grupo calculado a partir de la ecuación (4.1) se redondea al número entero más próximo (por ejemplo, $IG = 3.4$ se redondea a 3; $IG = 3.5$ se redondea a 4).
3. No hay límite superior para el índice de grupo.

4. El índice de grupo de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.

5. Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, utilice el índice de grupo parcial para PI , o.

$$IG = 0.01 (F - 15) (PI - 10).$$

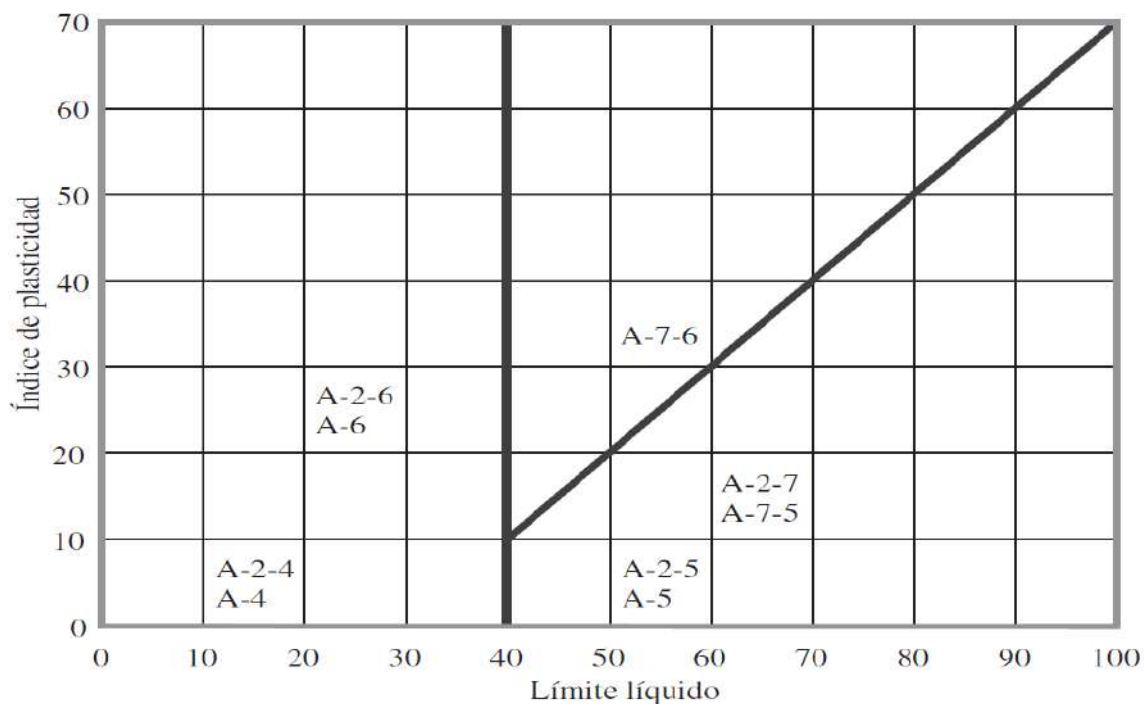
En general, la calidad del rendimiento de un suelo como material de sub rasante es inversamente proporcional al índice de grupo.

Tabla 5: Clasificación AASHTO

Clasificación General	Materiales Granulares (35 % o menos del total pasa el tamiz No. 200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35 % del total pasa el tamiz No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 ^a A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz No. 10	50 max										
No. 40	30 max	50 max	51 min								
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz No. 40											
Límite líquido, w_L				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Índice Plástico, I_p	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Índice de Grupo ^b	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max

Fuente: (Josep E. Bowles)

Gráfico 1: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.



Fuente: (Braja M. Das).

2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos-SUCS.

Este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942. Ha sufrido mínimas modificaciones, en su uso, (Norma ASTM D-2487). El Sistema Unificado se clasifica en dos grandes categorías:

1. Suelos de categoría de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz N°. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G (grava) o S (arena o suelo arenoso).
2. Suelos de categoría de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz N°. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M (limo inorgánico), C (arcilla inorgánica) y O (limos orgánicos y arcillas). El símbolo Pt (turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos).

Símbolos utilizados para la clasificación:

- W: bien clasificado

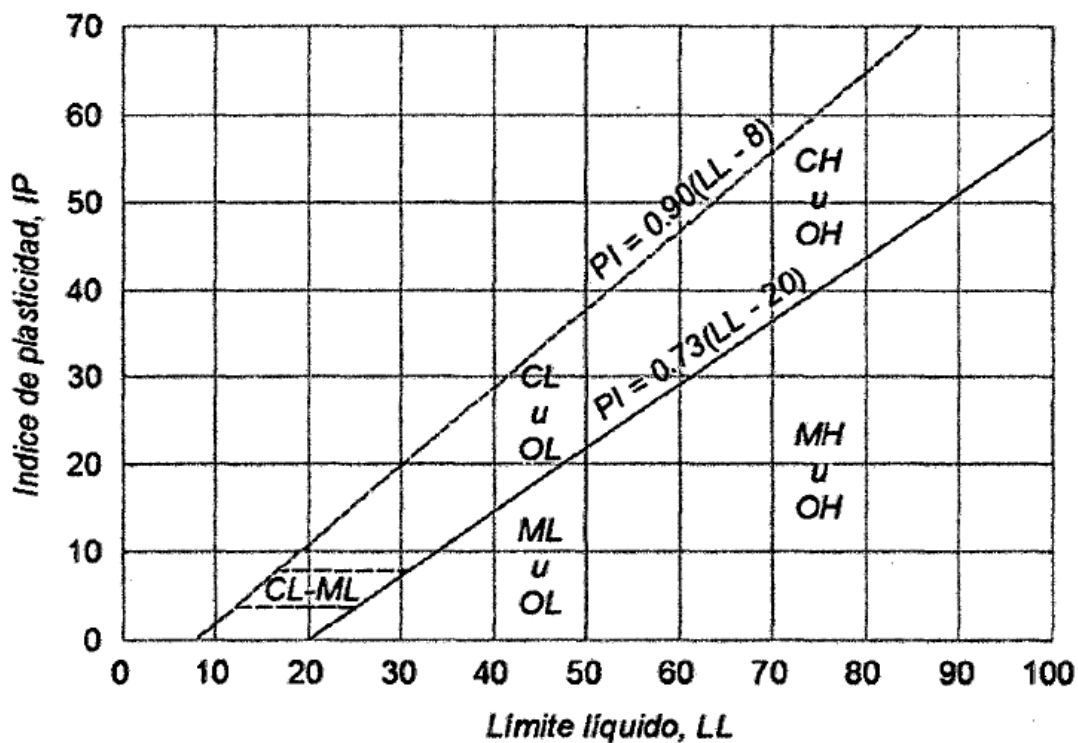
- P: mal clasificado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

Tabla 6: Clasificación SUCS.

CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO				CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO									
FINOS $\geq 50\%$ pasa Malla # 200 (0.08 mm.)				GRUESOS $< 50\%$ pasa Malla # 200 (0.08 mm.)									
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Lq.	Índice de Plasticidad * IP	Tipo de Suelo	Símbolo	% RET Malla N° 4	% Pasa Malla N° 200	CU	CC	** IP			
Limos Inorgánicos	ML	< 50	$< 0.73 (w_l - 20)$ $\delta < 4$	Gravas	GW	$\geq 50\%$ de la Ret. En 0.08 mm	< 5	> 4	$1 \text{ o } 3$				
	MH	> 50	$< 0.73 (w_l - 20)$		GP			≤ 6	$< 16 > 3$				
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	$> 0.73 (w_l - 20)$ $\gamma > 7$		GM		> 12					$< 0.73 (w_l - 20) \delta < 4$	
	CH	> 50	$> 0.73 (w_l - 20)$		GC								$> 0.73 (w_l - 20) \delta > 7$
Limos o Arcillas Orgánicos	OL	< 50	** w_l seco al horno $\leq 75\%$ del w_l seco al aire	Arenas	SW	$< 50\%$ de la Ret. en 0.08 mm	< 5	> 6	$1 \text{ o } 3$				
	OH	> 50			SP			≤ 6	$< 16 > 3$				
Altamente Orgánicos	P _i	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.			SM		> 12						$< 0.73 (w_l - 20) \delta < 4$
					SC								$> 0.73 (w_l - 20) \gamma > 7$
				* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC.									
				** Si IP $\geq 0.73 (w_l - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 e IP $> 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.									
Si IP $= 0.73 (w_l - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 e IP $> 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH				En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica ☑ GW-GM en vez de GW-GC.									
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente w_l seco al horno				$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$				$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$					
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica ☑ CH-MH en vez de CL-ML.													
Si $w_l = 50$; CL-CH ó ML-MH													

Fuente: Mora, S. 1988

Figura 15: Carta de plasticidad para Clasificación de Suelos.



Fuente: Mora, S. 1988

4.1.2. Límites de Atterberg.

A. Ensayo de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico.

Para el estudio del límite líquido y plástico se tomaron en cuenta las siguientes normas.

MTC E 110-2000: determinación del límite líquido de suelos.

MTC E 111-2000: determinación del límite plástico e índice de plasticidad.

-EQUIPOS Y ACCESORIOS UTILIZADOS.

Figura 16: Copa de Casagrande.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 17: Taras, balanza, muestra del ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18: Instrumentos utilizados en el ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 19: Tamiz N° 40.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20: Plancha de vidrio para el ensayo de limite plástico.



Fuente: Elaboración Propia

El equipo para los ensayos de límites líquido y plástico son los siguientes:

- Aparato del límite líquido (copa de Casagrande) con su acanalador.
- Tamiz No. 40 y bandeja; aparato de límite líquido con herramientas.
- Para hacer la ranura de tipo Casagrande y ASTM.
- Botella de plástico blando para proveer cantidades controladas de agua.
- Recipiente evaporador de porcelana y espátula para mezcla cuidadosa del suelo.
- Placa de vidrio para hacer el ensayo de límite plástico.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno de secado.

Para obtener el límite líquido la muestra de ensayo debe ser seca. Que pasa el tamiz N° 40 y unos 25 gr para la obtención del límite plástico.

Procedimiento.**LIMITE LÍQUIDO.**

1. Se desmenuza la muestra de ensayo. Secado al medio ambiente, para obtener una muestra del material que pasa a través del tamiz No. 40, se debe, asegurar, con el uso de un mortero, la destrucción y disminución de todos los grumos presentes. No es conveniente secar el suelo al horno para pasarlo a través del tamiz No. 40 pues esta práctica reduce el valor real de los límites líquidos y plástico
2. Verificar la altura de la máquina del límite líquido que se va a realizar el ensayo que es de una altura de 1 cm.
3. Se debe colocar la muestra de suelo en un recipiente de porcelana, añadir una pequeña cantidad de agua y mezclar cuidadosamente el suelo hasta obtener un color uniforme. Se debe continuar añadiendo en pequeñas cantidades de agua y mezclando cada vez hasta obtener una mezcla homogénea. Cuando se encuentre el suelo en un punto de consistencia de (pegajosidad) tal que se pueda estimar el ensayo que tomará alrededor de 50 golpes para cerrar en una longitud de 12.7 mm en cerrarse la ranura. Después de terminado el ensayo remover esta muestra adecuadamente mezclada del plato en el que se está trabajando para determinación posterior del límite plástico.

LIMITE PLÁSTICO.

1. Se debe dividir en porciones pequeñas la muestra del ensayo de 20 a 30 gr aproximadamente de la muestra utilizada en el ensayo anterior dé la muestra en el ensayo del límite líquido.
2. La muestra se debe enrollar con la mano extendida sobre una placa de vidrio colocando a su vez la muestra de suelo sobre una superficie lisa, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro de un diámetro uniforme por la acción de movimientos de la mano. Cuando el diámetro del cilindro de la muestra de suelo llegue a 3 mm deben aparecer grietas.
3. Si el cilindro se desmorona a un diámetro superior a 3 mm, esta condición es satisfactoria para definir el límite plástico, si el cilindro enrollado con anterioridad hasta más o menos 3mm. Llega a tener las fallas en el cilindro que se puede definir de la siguiente forma:

- a. Simplemente por separación en pequeños pedazos.
- b. Por desprendimiento de escamas de forma tubular

CÁLCULOS:

Los cálculos se realizan en el laboratorio al día siguiente y pesar todas las muestras secadas en el horno y poder calcular los contenidos de humedad. Después del procedimiento hacer una gráfica de contenido de humedad y número de golpes del ensayo de límite líquido. Y obtener el valor del límite líquido, y mostrar los datos registrados durante el ensayo.

Para el cálculo del límite plástico y el índice de plasticidad se usa la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

IP= índice de plasticidad

LL= límite líquido

LP= límite plástico

4.1.3. Determinación del contenido de humedad.

RECOLECCIÓN DE DATOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO.

Referencias según las normas:

AASHTO T86-70

ASTM D420-69

Objetivos

Este ensayo tiene como propósito el estudio del contenido de humedad de la muestras a ensayar:

- Es recomendable recolectar información para graficar un perfil de suelos simple.
- Se debe obtener unas muestras de suelo para futuras prácticas de laboratorio. -Se debe llevar como equipo un Barreno manual de 5 cm o 7.6 cm de diámetro.
- Unas latas o recipientes para la obtención del contenido de humedad y pesarlos cada recipiente para tener en cuenta del peso vacío de cada recipiente.

PROCEDIMIENTO

1. Pesar un recipiente de aluminio. Identificar y revisar adecuadamente el recipiente. Las cápsulas de humedad normalmente pueden tener diferentes tamaños, siendo las más populares las de 5 cm de diámetro por 3 cm de altura.
2. Se debe colocar una muestra de suelo con su respectivo contenido de humedad, de la muestra extraída en el recipiente y determinar el peso de la muestra. Dependiendo del tiempo del ensayo colocar una tapa al recipiente y si la prueba es de inmediato no es necesario colocar la tapa al recipiente para así no alterar los resultados en el ensayo por evaporación de la humedad de la muestra.
3. Luego de pesar la muestra húmeda extraída más el recipiente, remover la tapa que cubre la muestra y colocarlo la muestra en estudio en el horno.
4. La muestra se debe retirar del horno ya seco y ya teniendo un peso constante, se debe determinar el peso del recipiente más el del suelo seco. Usar la misma balanza para todas las mediciones de peso de la muestra en estudio.
5. Se debe calcular el contenido de humedad W . Esto obteniendo de la diferencia entre el peso de suelo húmedo más el del recipiente y el peso de suelo seco más el del recipiente es el peso del agua W_w , el que está presente en la muestra. La diferencia entre el peso de suelo seco más el del recipiente y el peso del recipiente solo es el peso del suelo. Lo que se realiza en común es de suponer que después de un período de 12 a 18 horas en el horno es a menudo durante la noche, la muestra se encuentra en estado de peso constante y dicho peso se registra como el del suelo seco más el del recipiente. Si por alguna razón no es factible pesar las muestras secas inmediatamente, es necesario poner la tapa del recipiente tan pronto se haya enfriado para manipularla y luego para que la muestra seca no absorba húmeda de la atmosfera.

Figura 21: Colocación de muestras para la determinación del contenido de humedad.



Fuente: Elaboración Propia

4.1.4. Análisis granulométrico por tamizado.

Aplicando la norma MTC E 107-2000, estudiamos las muestras de suelo con el objetivo es determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, desde el tamiz N°4 hasta el de 0.075 mm (N°200).

Equipos de accesorios

- Tamices.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gramo.
- Horno de secado.
- Bandejas, cepillos y brochas.
- Muestra de suelo.

Figura 22: Juego de tamices, desde el tamiz N°4 hasta el de 0.075 mm (N°200).



Fuente: elaboración propia.

Muestra

El suelo tiene que secar al aire libre. Cuartear el suelo secado al aire libre hasta obtener una muestra para el estudio y lavar todo los limos y material orgánico.

Procedimiento

1. Obtener muestra de suelo secado al horno tomado en un recipiente. La muestra de ensayo debe lavarse; con agua en dicho proceso debe eliminarse todo material orgánico, arcilla. Sin embargo, el proceso se puede acelerar si la muestra seca se desmenuza a lo más mínimo y así agilizar el proceso de hacer pasar a través de un tamiz No. 200, descartando la fracción menor.

2. La muestra de suelo seco contiene gran cantidad de grava, y muy pocos finos y material orgánico, el lavado se puede omitir.
3. El lavado se hace con el tamiz No. 200, lavar cuidadosamente el material a través del tamiz se debe utilizar agua común hacer este proceso hasta que el agua en uso del proceso de lavado pasa a través del tamiz N°. 200 y que esta mantenga su transparencia. Después del lavado colocar para su respectivo secado en el horno.
4. Después del secado al día siguiente, en el laboratorio pesar el residuo secado al horno. Se debe pasar la muestra a través de una serie de tamices que varíen desde los tamices N°4 hasta el de 0.075 mm (N°200).
5. El tamizado se debe hacer de forma manual a través de los tamices de gran diámetro más grueso y removerlos de la serie; colocar los tamices restantes y agitar hasta que pueda pasar por todos los tamices un determinado tiempo aproximado unos 10 min.
6. Retirar la serie de tamices con el material y obtener el peso del material que quedó retenido en cada tamiz. Se debe hacer la sumatoria de estos pesos y comparar el total con el peso total obtenido del material secado al horno con el cual se comenzó el ensayo. Este proceso permite detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado.
7. Debe calcularse el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra. Este proceso es para el material que haya pasado a través del tamiz N°. 200 y que pasaría cualquier otro tamiz por encima del tamiz N°. 200.

Ecuaciones utilizadas en proceso de tamizado.

Para calcular el porcentaje retenido en cada tamiz, se determina con la siguiente ecuación.

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

El porcentaje retenido en cada tamiz se puede calcular como sigue; % retenido acumulado para luego calcular el % pasante con una simple diferencia entre el valor de 100 con el% retenido acumulado.

Figura 23: Preparado de la muestra.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24: Muestra representativa para su respectivo tamizado.



Fuente: Elaboración Propia

4.1.5. Ensayo de corte directo en laboratorio.

La norma ASTM-D3080-72 especifica lo siguiente:

Corte directo consiste en obtener parámetros del esfuerzo cortante, colocando la muestra debidamente talladas en el dispositivo de corte directo, y aplicar un esfuerzo normal para la obtención de resultados.

Para muestras de suelos cohesivos, los parámetros de suelos como el Angulo de fricción y la cohesión están influidos por el método de ensayo de corte directo y por el grado de saturación de la muestra a ensayar, y por el hecho de que el material esté normalmente consolidado o sobre consolidado.

Figura 25: Equipo de corte directo.



Fuente: Elaboración Propia

Procedimiento.

- Obtener la muestra en campo en forma de bloque y trasladarlo así al laboratorio lo más inalterado posible, manteniendo su contenido de humedad envuelto con parafina.
- En el laboratorio comenzar con el tallado de la muestra cuidadosamente unas tres o cuatro muestras con similares dimensiones tomadas de una muestra de bloque grande. Para darle la forma circular utilizar un anillo de cortante de manera que el tamaño sea uniforme. Las muestras deben tener un peso aproximado de lo contrario moldear otra muestra.
- Colocar la muestra en el equipo de corte directo con sumo cuidado. Conectar el dispositivo de carga y ajustar el dial para medir la deformación durante el corte, y el cambio del espesor de la muestra, determina el espesor inicial de la muestra ensayada. Humedecer las piedras porosas antes de colocar la muestra y aplicar la fuerza normal sobre las muestras, en el ensayo dependerá del tipo de muestra en estudio.

- La separación y el agarre de los tomillos guía en la parte superior de la caja de corte y ensamblar las dos partes. Asegurarse de que las piedras porosas estén saturadas a menos que el ensayo se vaya a realizar en un suelo seco.
- Se debe colocar con mucho cuidadosamente la muestra a ensayar dentro de la caja de corte. La muestra debe estar acomodado perfectamente en la caja de corte y llenada hasta una distancia cerca de 5 mm de la parte superior de la caja de corte.

Figura 26: Colocado de la muestra en la caja de corte.



Fuente: Elaboración Propia

- Colocar el pistón de carga en su sitio sobre la muestra de suelo, la carga normal P y ajustar el deformímetro de posición vertical.
- Acoplar el deformímetro de la deformación cortante y fijar en cero tanto el deformímetro de la posición horizontal y el vertical.
- Comenzar la carga. Horizontal (fuerza cortante) y tomar lecturas del deformímetro, y el desplazamiento de corte del esfuerzo vertical (del cambio de volumen).

- En el proceso de la consolidación deben registrarse en la deformación normal, en su debido tiempo del ensayo de muestra, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.
- En el proceso de cada incremento en la fuerza normal debe darse un tiempo necesario hasta que complete la consolidación primaria.
- Los datos obtenidos representan gráficamente en la deformación normal con respecto al tiempo.
- La fuerza cortante debe aplicarse lentamente para permitir la disipación completa del exceso de presión de poros.
- El ensayo debe continuar hasta que el esfuerzo de corte sea constante y la muestra comience a no oponer resistencia al esfuerzo cortante.
- Cuando se aplicar un incremento del esfuerzo cortante, se permitirá por lo menos un porcentaje de consolidación bajo el incremento del esfuerzo cortante anterior.
- Al aplicar el esfuerzo cortante del 50 % al 70 % de la fuerza de falla estimada, los incrementos serán la mitad del valor de las fuerzas cortantes aplicadas hasta ese momento.
- - Se debe registrar la fuerza de corte aplicada y la deformación normal y de corte para intervalos convenientes de tiempo. Con preferencia, el incremento de la fuerza de corte y debe ser continuo.

CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DEL ESFUERZO DE CORTE.

Las siguientes ecuaciones son aplicables tanto a la muestra de suelos cohesivos y a suelos no cohesivos.

1. Calcular el esfuerzo normal nominal está dado por:

$$\sigma_n = \frac{P_v}{A}$$

Donde:

A= es el área de la sección transversal de la muestra de suelo en la caja de corte.

P_v = carga total normal incluido el peso del bloque de carga y la mitad superior de la caja de corte.

2. Dibujar una curva de desplazamiento horizontal γ_h contra la fuerza cortante horizontal P_h para obtener el mayor valor de la fuerza cortante última. Para calcular esfuerzo cortante como:

$$\tau = \frac{P_h(\text{ultimo})}{A}$$

4.1.6. Ensayo de corte directo In Situ.

ASTM D4554 Ensayo de Corte Directo In situ.

El equipo de corte directo "in situ" tiene los mismos principios y metodologías que los de laboratorio con una variación de su aplicación en muestras de gran tamaño.

Este ensayo es realizado en muestras de suelo de forma rectangular o cuadrada, en suelos que están aislados de las superficies, menos la del plano de corte.

Las áreas de corte de las muestras no deben ser perturbadas durante la preparación de especímenes y la instalación de los equipos.

El ensayo de corte directo consiste en aplicar una carga normal, se aplica perpendicular al plano de corte y luego se aplica una fuerza lateral para inducir la falla.

La obtención e interpretación de datos del ensayo de corte directo in situ es directa, se miden la deformación horizontal, obteniendo resultados sobre la deformación del espécimen ensayado así como su resistencia al corte. La razón de ensayar bloques de diferentes tamaños, suele ser el análisis de la influencia de rugosidades de gran escala en la resistencia al corte.

En conclusión, las pruebas in situ dan valores de los parámetros de cohesión "c" y Angulo de fricción " ϕ " más conservadores que los ejecutados en el laboratorio con muestras pequeñas, así dando resultados de estos parámetros más rápidamente sin embargo, es conveniente investigar más acerca de esta prueba para su posterior normalización, teniendo en cuenta la modalidad de ejecución, tipo de equipo, etc.

Equipos y materiales utilizados en el ensayo:**Equipos:**

El equipo de corte directo in situ mediante la norma ASTM D4554

– 95 se constituye de las siguientes partes.

- **Una Caja de Madera para el confinado de la muestra.**

Cajas de madera para el confinado de la muestra de 0.50 m x 0.50 m x 0.30 m, 0.25 m x 0.25 m x 0.30 m, 0.125 m x 0.125 m x 0.30 m, previamente aseguradas con clavos y alambres que bordea el contorno exterior de la muestra.

- **Para la Transmisión de Carga Axial**

Es un sistema que puede ser ideado según los equipos y materiales disponibles y que sea capaz de conformar una sobrecarga suficiente que transmita las presiones normales requeridas para cada uno de los especímenes de ensayo.

- Armadura de acero compuesta de angulares dispuestos vertical y horizontalmente capaz de soportar 20 ton. de carga cuyo objetivo es contrarrestar el esfuerzo normal a través de su propio peso, sistema de anclajes a la sub rasante.

- Gata hidráulica para la carga axial capacidad: 20 toneladas.

- Plancha de transmisión de la carga axial de 0.50 x 0.50 m x 4mm, 0.25 x 0.25 x 4mm, 0.125 x 0.125 x 4mm de espesor.

- Rodillos lisos de transmisión de la carga axial de ½" y en número de 5 piezas; dispuesto entre dos planchas metálicas en la cara superior del espécimen. Los polines o rodillos giraran entre las dos planchas ubicadas entre la muestra y la plancha superior, mismos durante la aplicación de la fuerza tangencial y el sistema de carga axial se mantendrá estable.

Para la Transmisión de Fuerza Tangencial

- Gata hidráulica para la fuerza tangencial con una capacidad: 20 toneladas.

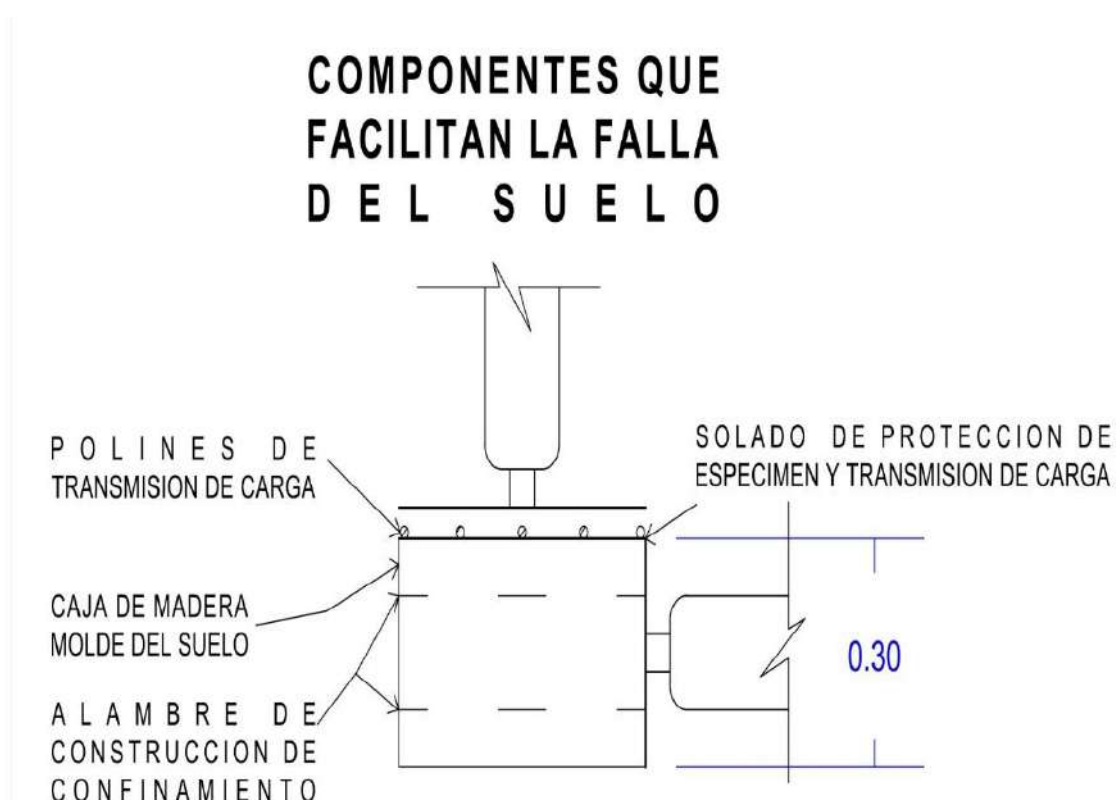
- Plancha de apoyo horizontal del sistema de medidas: 0.50 x 0.30 x 4 mm, 0.25 x 0.30 x 4mm, y 0.125 x 0.30 x 4mm de espesor.
- Una wincha para controlar la deformación.

Manómetros de glicerina:

Para obtener datos, resultados de los desplazamientos verticales y horizontales desarrollados durante el ensayo.

Se presenta una representación gráfica del EQUIPO DE CORTE IN SITU.

Figura 27: Equipo de Corte In Situ



Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Colocado y armado de la muestra en el equipo de Corte In situ:



Fuente: Elaboración propia

Materiales utilizados en el ensayo.

Tablas, clavos, alambre, espátula, pico y pala de corte, para el tallado del espécimen preparado para el ensayo que es de forma prismático perfilado en las cuatro caras verticales, así también en la cara horizontal superior para el apoyo de los polines que alojaran la fuerza normal, esto se hizo para fines de eliminar las protuberancias y tener uniformidad en las aristas y así alojar el molde de madera.

La Muestra utilizada en el ensayo in situ.

El ensayo de prueba de corte directo in situ se lleva a cabo aisladamente de la masa envolvente del suelo, son muestras de dimensiones 0.50 m x 0.50 m x 0.30 m , 0.25 m x 0.25 m x 0.30 m, 0.125 m x 0.125 m x 0.30 m, tres de cada una de las dimensiones talladas, estos especímenes prismáticos del suelo, son limitados en su cara inferior con el suelo natural como se muestra en la figura donde se realizó el tallado para cada muestra para su respectivo ensayo de corte in situ.

Procedimiento para el ensayo de corte directo in situ.

- Hacer el reconocimiento y replanteo en campo para la ubicación de los puntos de las calicatas para la respectiva apertura de calicatas.
- Realizar el trazo y replanteo en campo con áreas suficientes para el armado del equipo de corte in situ, y un adecuado tallado de la muestra en estudio del ensayo de corte directo in situ.

Figura 29: Trazo y excavación

Fuente: Elaboración propia

- Ya ubicadas los puntos de se realiza el tallado de las muestras a ensayar, con dimensiones de 0.50 m x 0.50 m x 0.30 m, 0.25 m x 0.25 m x 0.30 m, 0.125 m x 0.125 m x 0.30 m, tal como se indica en la figura consiguiendo las dimensiones del ensayo con espátulas y cuchillas.

Figura N° 17: Tallado y consolidado de los especímenes.

Fuente: Elaboración propia.

- Instalación y colocación de equipo de corte directo in situ de los instrumentos de carga de transmisión de carga axial, detallados de equipos citados en los pasos anteriores.

Figura 30: Colocación de los polines.



Fuente: Elaboración propia

- Instalación y Colocación del equipo de corte directo in situ, de los instrumentos de transmisión de carga tangencial o esfuerzo cortante, detallados en EQUIPOS citados en los pasos anteriores.

Figura N° 19: Colocación de la gata hidráulica.



Fuente: Elaboración propia

- Aplicación de la carga axial, fuerza normal.

El ensayo comienza con la aplicación la carga vertical al espécimen, esta carga aplicada debe ser constante hasta que el asentamiento cese, después de la aplicación de la carga. Las cargas aplicadas son de 1.00 kg/cm², 2.00 kg/cm² y 3.00 kg/cm². Aplicadas para las tres dimensiones de muestras, 0.50 m x 0.50 m x 0.30 m, 0.25 m x 0.25 m x 0.30 m, 0.125 m x 0.125 m x 0.30 m.

- Aplicación de la carga tangencial, y la fuerza de cortante.

El ensayo comienza con la aplicación de la fuerza tangencial, cuando disminuye los asentamientos producidos por la carga normal o carga axial, las lecturas de los manómetros continúan durante la aplicación de la fuerza tangencial, registrándose el desplazamiento horizontal del espécimen hasta provocar la rotura de las muestras con dimensiones mencionadas en los puntos anteriores.

Figura N° 20: Registro de datos.



Fuente: Elaboración propia

- Finalización del ensayo de corte directo in situ:

Es dar continuidad de cada ensayo hasta que la carga pico llegue a su fin o que la muestra ya no ofrezca resistencia al esfuerzo de corte ejercida por la fuerza tangencial por la máquina, hasta que la reacción o el incremento y asentamiento resulte sea mínimo.

Figura N° 21: *Falla de la muestra después de aplicado la fuerza cortante.*



Fuente: Elaboración propia

Cálculos realizados por el ensayo:

Los parámetros obtenidos del ensayo de corte directo in situ:

- Ángulo de fricción.
- Cohesión.

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO Y EN CAMPO.

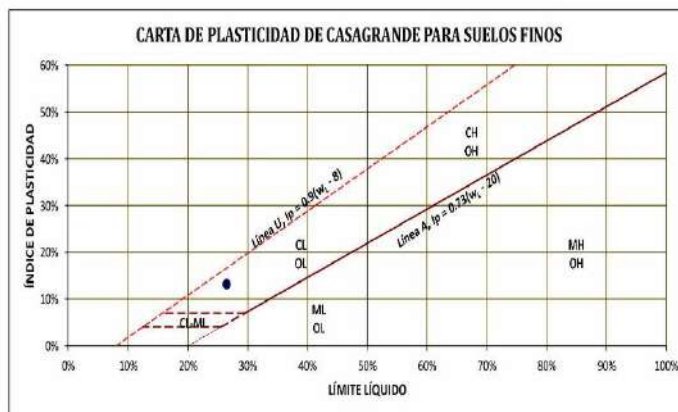
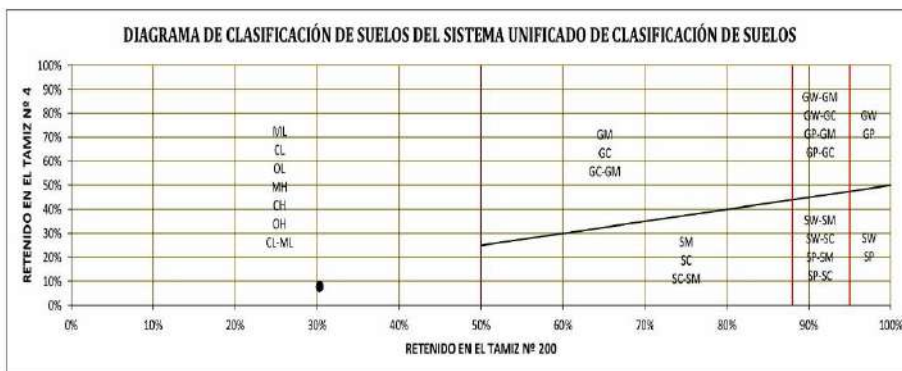
4.2.1. Datos obtenidos en laboratorio.

Calicata N° 1.

1.- Clasificación de suelos:

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

ASTM D-2487



CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO

AASHTO M-145

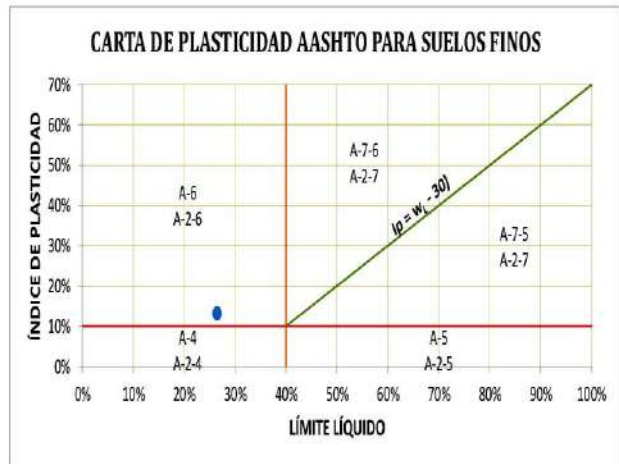
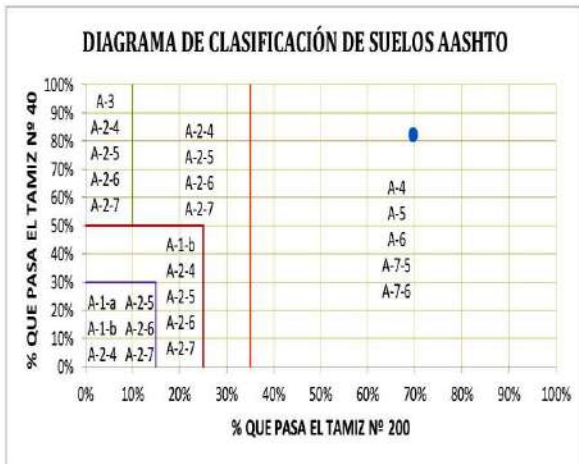
DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz Nº 10 = 90.32%	LL = 26.50%	Tipo = <i>Inorgánico</i>
% que pasa el tamiz Nº 40 = 82.02%	LP = 13.39%	
% que pasa el tamiz Nº 200 = 69.68%	IP = 13.11%	

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz Nº 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5
% que pasa el tamiz:												
Nº 10	50 máx.											
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.									
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz Nº 40												
Límite Líquido			No Plástico	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		

A-6 (8) = Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO

AASHTO M-145



CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO

F = 69.68	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz N° 200
w _L = 26.50	w _L = Límite líquido
I _p = 13.11	I _p = Índice de plasticidad

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

a = F - 35	a = 34.68	=>	a = 34.68
b = F - 15	b = 54.68	=>	b = 40.00
c = w _L - 40	c = -13.50	=>	c = 0.00
d = I _p - 10	d = 3.11	=>	d = 3.11

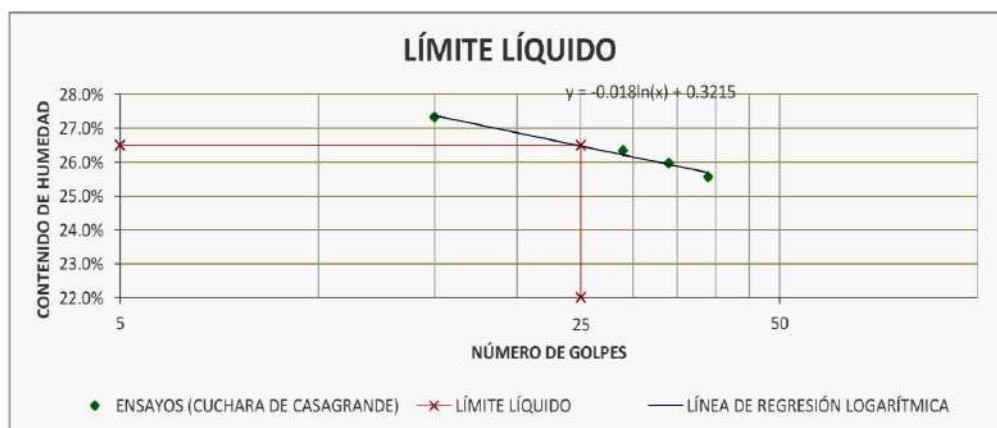
IG = 8

2. Clasificación de Suelos

LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
	1	2	3	4
Peso de Capsula (gr)	20,98	23,65	20,90	21,08
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	27,13	30,70	26,72	26,63
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	25,81	29,23	25,52	25,50
Peso del Agua (gr)	1,32	1,47	1,20	1,13
Peso de la Muestra Seca (gr)	4,83	5,58	4,62	4,42
Contenido de Humedad	27,33%	26,34%	25,97%	25,57%
Número de Golpes	15	29	34	39



LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	A	B	C
Peso de Capsula (gr)	22,24	24,04	23,60
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	24,48	27,37	26,54
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24,22	26,97	26,18
Peso del Agua (gr)	0,26	0,40	0,36
Peso de la Muestra Seca (gr)	1,98	2,93	2,58
Contenido de Humedad	13,13%	13,65%	13,95%



LÍMITE LÍQUIDO = 26.50%
LÍMITE PLÁSTICO = 13.39%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 13.11%

3.- Granulometría.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado

Peso de la Muestra Seca = 1001.00 gr

Después del lavado

Peso de la Muestra Seca = 306.00 gr

% de Error en Peso = 0.03%

Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	15.36	985.64	1.53%	1.53%	98.47%
⅜"	9.5	35.36	965.28	3.53%	5.07%	94.93%
Nº 4	4.75	25.17	925.11	2.51%	7.58%	92.42%
Nº 10	2	20.98	904.13	2.10%	9.68%	90.32%
Nº 20	0.850	17.87	886.26	1.79%	11.46%	88.54%
Nº 40	0.425	65.21	821.05	6.51%	17.98%	82.02%
Nº 100	0.150	84.24	736.81	8.42%	26.39%	73.61%
Nº 200	0.075	39.30	697.51	3.93%	30.32%	69.68%
Cazuela	-	2.23	-	0.22%	30.54%	-
Lavado	-	695.00	-	69.46%	100.00%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		305.72		100.00%		

Gradación: T0 y T1

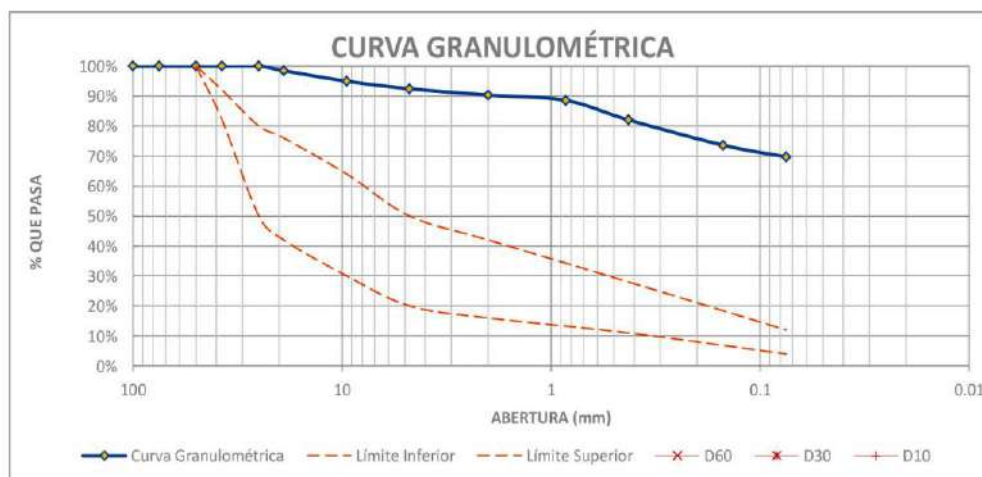
TAMIZ Nº	LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR
2" (50 mm)	100%	100%
1½" (37.5 mm)	82%	92%
1" (25 mm)	50%	80%
¾" (19 mm)	42%	76%
⅜" (9.5 mm)	30%	64%
Nº 4 (4.75 mm)	20%	50%
Nº 10 (2 mm)	16%	42%
Nº 40 (0.425 mm)	11%	28%
Nº 200 (0.075 mm)	4%	12%

Fraciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 7.58%
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 22.74%
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 69.68%
 Total: 100.00%

Fración Gruesa

% de grava = 25.01%
 % de arena = 74.99%
 Total = 100.00%



Tamaño Máximo Absoluto = 1"

Tamaño Máximo Nominal = 3/8"

D60 = -

D30 = -

D10 = -

Cu = -

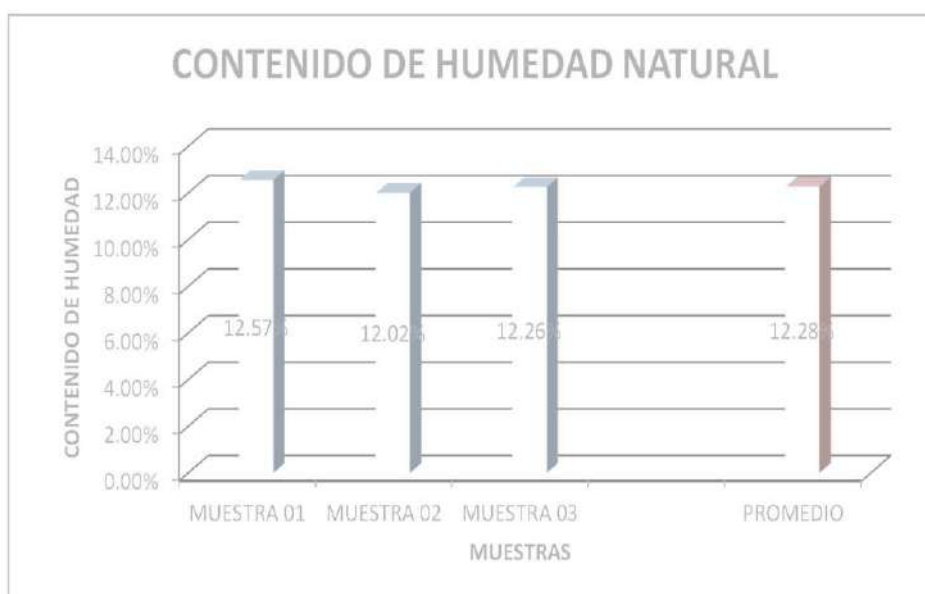
Cc = -

4.- Determinación del contenido de humedad:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	1	2	3
Peso de Capsula (gr)	21.59	15.98	22.32
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	48.64	39.93	49.06
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	45.62	37.36	46.14
Peso del Agua (gr)	3.02	2.57	2.92
Peso de la Muestra Seca (gr)	24.03	21.38	23.82
Contenido de Humedad	12.57%	12.02%	12.26%



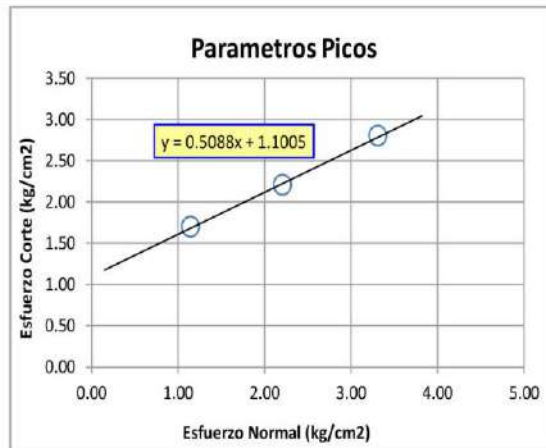
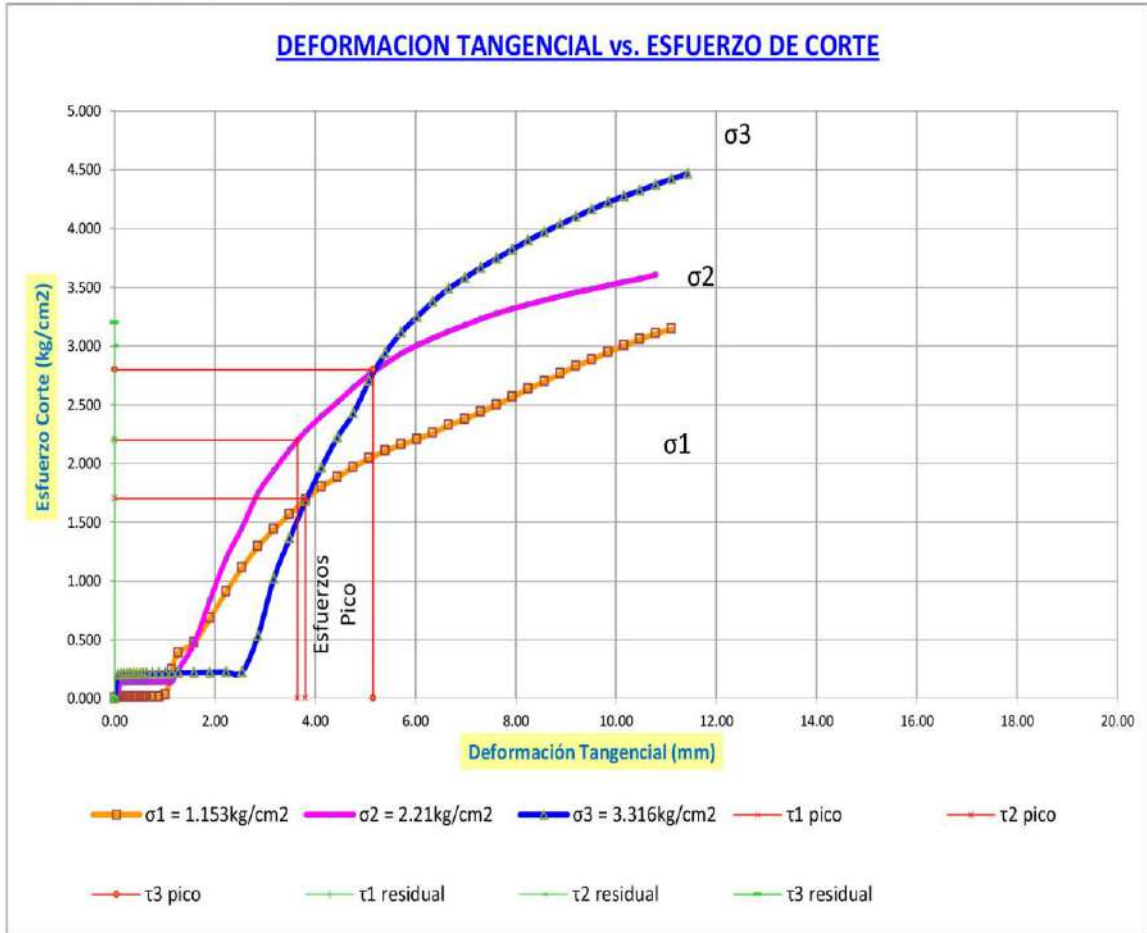
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 12.28%

5.- corte directo en laboratorio:

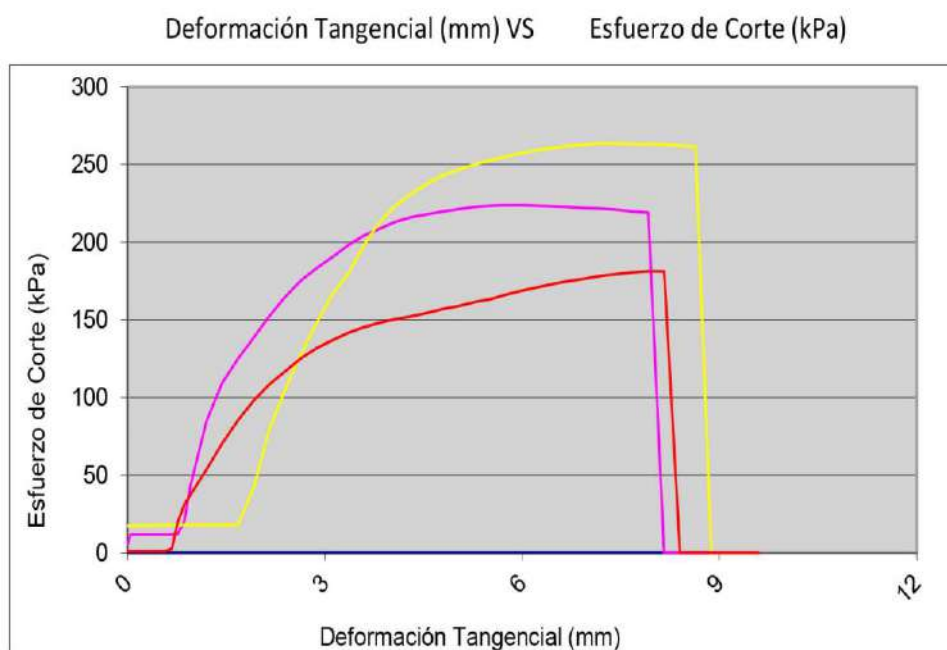
Calculo de esfuerzo cortante y normal:								
Esfuerzo Normal:			Esfuerzo Normal:			Esfuerzo Normal:		
1.15	Kg/cm ²		2.21	Kg/cm ²		3.32	Kg/cm ²	
Lectura del	Desplaz.	Area	Fuerza de	Esfuerzo	Fuerza de	Esfuerzo	Fuerza de	Esfuerzo
Deform Hz.	Hz.	Corregida	Corte	Cortante	Corte	Cortante	Corte	Cortante
(mm)	(cm ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
0.00	0.00	17.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.06	17.32	0.178	0.010	1.122	0.065	3.504	0.202
0.20	0.13	17.29	0.204	0.012	2.345	0.136	3.541	0.205
0.30	0.19	17.26	0.204	0.012	2.366	0.137	3.578	0.207
0.40	0.25	17.23	0.204	0.012	2.386	0.138	3.578	0.208

0.50	0.32	17.20	0.204	0.012	2.386	0.139	3.597	0.209
0.60	0.38	17.17	0.178	0.010	2.386	0.139	3.615	0.211
0.70	0.44	17.14	0.178	0.010	2.386	0.139	3.615	0.211
0.80	0.51	17.11	0.204	0.012	2.386	0.139	3.615	0.211
0.90	0.57	17.08	0.204	0.012	2.386	0.140	3.615	0.212
1.00	0.64	17.05	0.204	0.012	2.386	0.140	3.615	0.212
1.20	0.76	16.99	0.178	0.011	2.386	0.140	3.634	0.214
1.40	0.89	16.93	0.178	0.011	2.386	0.141	3.634	0.215
1.60	1.02	16.87	0.484	0.029	2.386	0.141	3.634	0.215
1.80	1.14	16.81	4.130	0.246	2.407	0.143	3.634	0.216
2.00	1.27	16.75	6.501	0.388	4.058	0.242	3.652	0.218
2.50	1.59	16.60	7.877	0.474	7.831	0.472	3.652	0.220
3.00	1.91	16.45	11.268	0.685	13.848	0.842	3.652	0.222
3.50	2.22	16.30	14.760	0.905	19.415	1.191	3.652	0.224
4.00	2.54	16.16	17.947	1.111	23.474	1.453	3.652	0.226
4.50	2.86	16.01	20.649	1.290	27.961	1.747	8.529	0.533
5.00	3.18	15.86	22.816	1.439	30.755	1.939	16.186	1.021
5.50	3.49	15.71	24.601	1.566	33.263	2.118	21.414	1.363
6.00	3.81	15.56	26.360	1.694	35.384	2.274	26.160	1.681
6.50	4.13	15.41	27.762	1.802	37.036	2.403	30.313	1.967
7.00	4.45	15.26	28.731	1.883	38.484	2.522	33.947	2.225
7.50	4.76	15.11	29.725	1.967	39.973	2.645	36.673	2.427
8.00	5.08	14.96	30.541	2.041	41.258	2.758	40.492	2.706
8.50	5.40	14.81	31.178	2.105	42.175	2.847	43.533	2.939
9.00	5.72	14.66	31.637	2.158	43.032	2.935	45.646	3.113
9.50	6.03	14.51	32.019	2.206	43.623	3.006	47.129	3.247
10.00	6.35	14.36	32.452	2.259	44.052	3.067	48.501	3.376
10.50	6.67	14.22	33.039	2.324	44.419	3.125	49.595	3.489
11.00	6.99	14.07	33.421	2.376	44.684	3.177	50.337	3.578
11.50	7.30	13.92	33.906	2.436	44.949	3.230	51.023	3.666
12.00	7.62	13.77	34.364	2.496	45.112	3.277	51.542	3.744
12.50	7.94	13.62	34.925	2.564	45.173	3.317	52.043	3.821
13.00	8.26	13.47	35.461	2.633	45.173	3.354	52.525	3.900
13.50	8.57	13.32	35.920	2.697	45.153	3.390	52.877	3.970
14.00	8.89	13.17	36.378	2.762	45.092	3.424	53.155	4.036
14.50	9.21	13.02	36.837	2.829	45.010	3.457	53.396	4.100
15.00	9.53	12.87	37.118	2.883	44.868	3.485	53.600	4.164
15.50	9.84	12.72	37.475	2.945	44.725	3.515	53.730	4.223
16.00	10.16	12.57	37.755	3.003	44.582	3.546	53.748	4.274
16.50	10.48	12.43	37.959	3.055	44.378	3.572	53.711	4.323
17.00	10.80	12.28	38.112	3.105	44.256	3.605	53.693	4.374
17.50	11.11	12.13	38.112	3.143	53.619	4.422		
18.00	11.43	11.98	53.489	4.466				

diagramas de esfuerzos:



<u>Parametros Picos</u>	
$\tan \phi =$	0.5088
ϕ pico =	26.97 °
C pico =	1.1005 Kg / cm ²



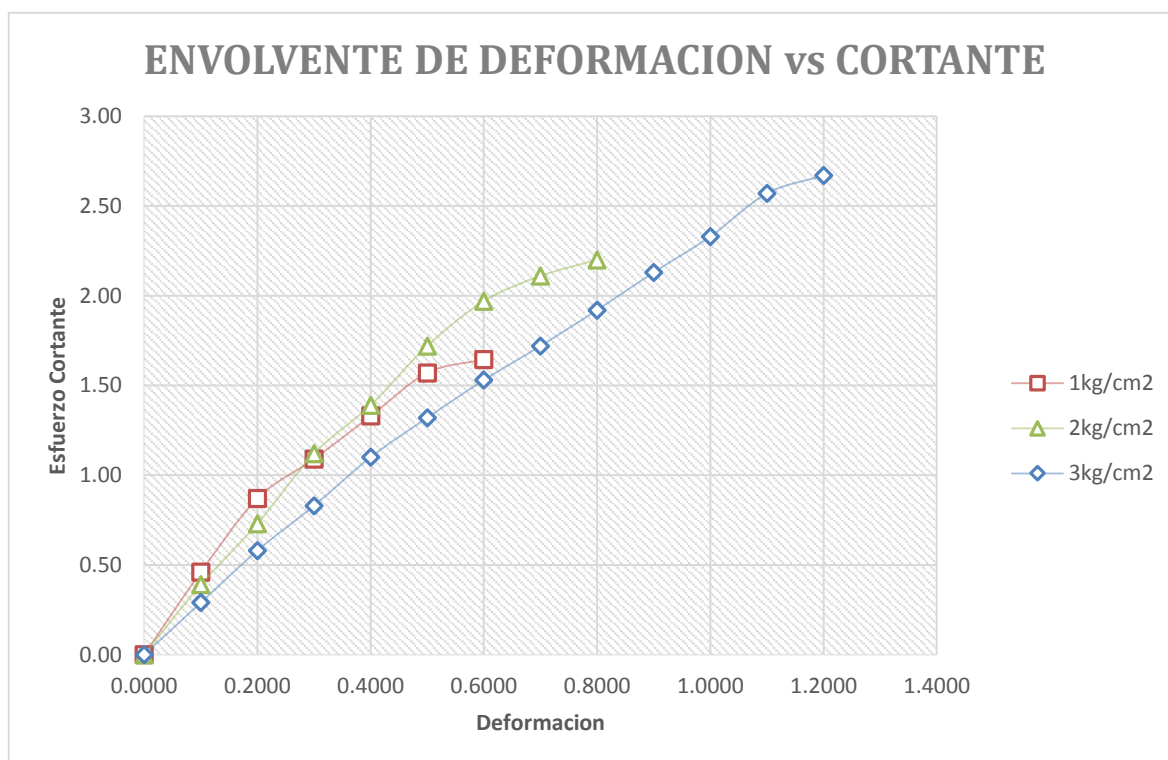
CALICATA 02

En esta CALICATA, se realizó el ENSAYO DE CORTE IN SITU; el cual consta de tres (03) muestras de 0.125 m x 0.125 m de base y 0.30 m de altura. El ensayo a proceder será solamente con SUELO NATURAL. Los resultados obtenidos se aplicaron esfuerzos normales de 1, 2, y 3 kg/cm²

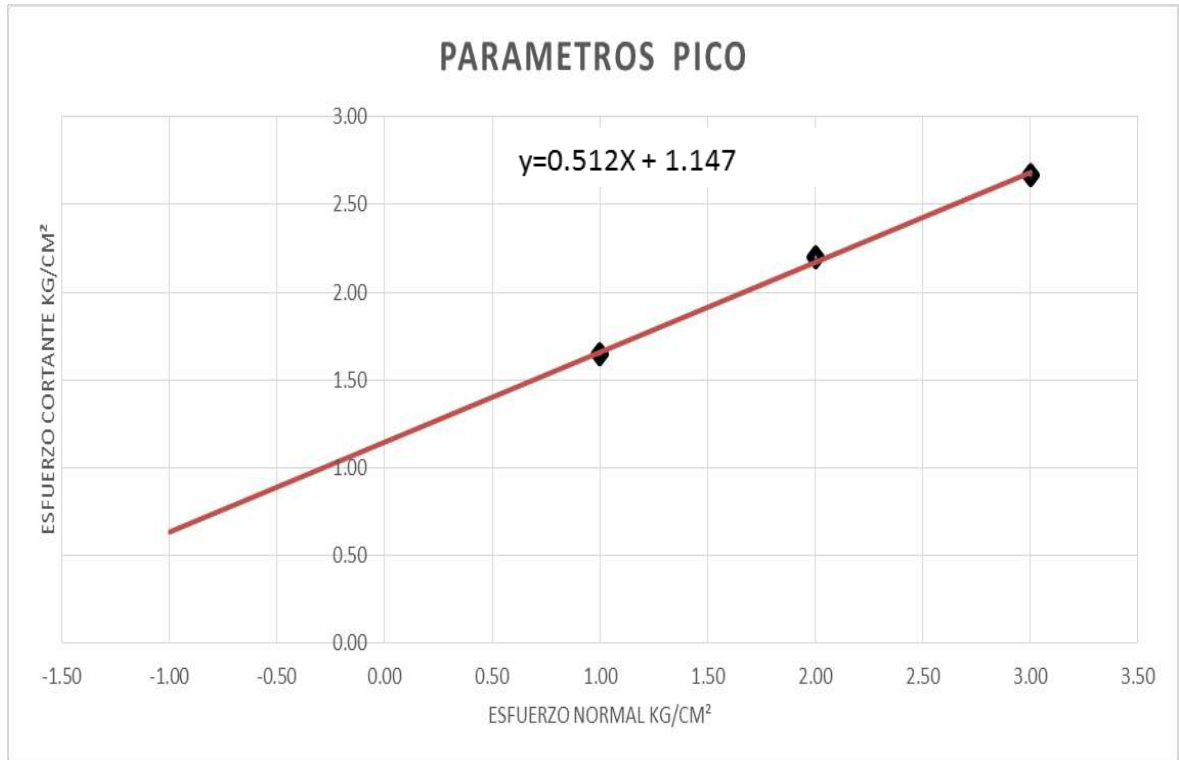
ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN-SITU							
DATOS DEL EQUIPO							
Lado (L) :	12.5 cm						
Area (A) :	156.25 cm ²						
Altura (H) :	30 cm						
Volumen (V)	4687.5 cm ³						
VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE :						156.25	
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²
26.1000	0.0000	0.000	156.250	0.00	14.22	0.00	1.00
26.2000	0.1000	172.504	156.250	6.54	14.22	0.46	1.00
26.3000	0.2000	326.257	156.250	12.37	14.22	0.87	1.00
26.4000	0.3000	408.759	156.250	15.50	14.22	1.09	1.00
26.5000	0.4000	498.761	156.250	18.92	14.22	1.33	1.00
26.6000	0.5000	588.762	156.250	22.33	14.22	1.57	1.00
26.7000	0.6000	616.888	156.250	23.40	14.22	1.65	1.00

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE :						312.54	
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²
24.5000	0.0000	0.000	312.537	0.00	28.45	0.00	2.00
24.6000	0.1000	146.250	312.537	5.55	28.45	0.39	2.00
24.7000	0.2000	273.750	312.537	10.38	28.45	0.73	2.00
24.8000	0.3000	420.000	312.537	15.93	28.45	1.12	2.00
24.9000	0.4000	521.250	312.537	19.77	28.45	1.39	2.00
25.0000	0.5000	645.000	312.537	24.46	28.45	1.72	2.00
25.1000	0.6000	738.750	312.537	28.02	28.45	1.97	2.00
25.2000	0.7000	791.250	312.537	30.01	28.45	2.11	2.00
25.3000	0.8000	825.000	312.537	31.29	28.45	2.20	2.00

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE :					468.75		
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²
23.3000	0.0000	0.000	468.750	0.00	42.67	0.00	3.00
23.4000	0.1000	108.750	468.750	4.12	42.67	0.29	3.00
23.5000	0.2000	217.500	468.750	8.25	42.67	0.58	3.00
23.6000	0.3000	311.250	468.750	11.81	42.67	0.83	3.00
23.7000	0.4000	412.500	468.750	15.65	42.67	1.10	3.00
23.8000	0.5000	495.000	468.750	18.77	42.67	1.32	3.00
23.9000	0.6000	573.750	468.750	21.76	42.67	1.53	3.00
24.0000	0.7000	645.000	468.750	24.46	42.67	1.72	3.00
24.1000	0.8000	720.000	468.750	27.31	42.67	1.92	3.00
24.2000	0.9000	798.750	468.750	30.30	42.67	2.13	3.00
24.3000	1.0000	873.750	468.750	33.14	42.67	2.33	3.00
24.4000	1.1000	963.750	468.750	36.55	42.67	2.57	3.00
24.5000	1.2000	1001.250	468.750	37.98	42.67	2.67	3.00



ESFUERZO. NORMAL (kg/cm ²)	ESFUERZO. CORTANTE(kg/cm ²)
1.00	1.65
2.00	2.20
3.00	2.67



ECUACIÓN LINEAL:

$$y = 0.512 x + 1.147$$

tang(ϕ)	0.512
C	1.147 kg/cm²
ϕ	27.135°

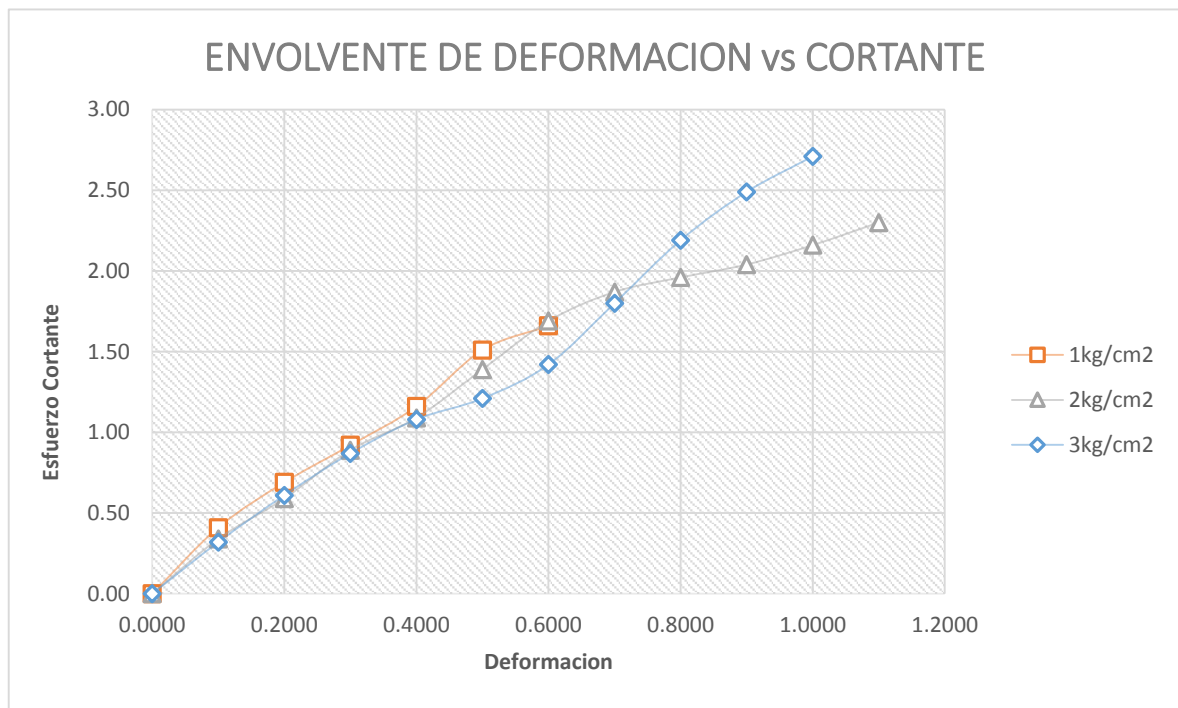
CALICATA 03

En esta CALICATA, se realizó el ENSAYO DE CORTE IN SITU; el cual consta de tres (03) muestras de 0.25 m x 0.25 m de base y 0.30 m de altura. El ensayo a proceder será solamente con SUELO NATURAL. Los resultados obtenidos se aplicaron esfuerzos normales de 1, 2, y 3 kg/cm² y los resultados obtenidos se muestran en a continuación:

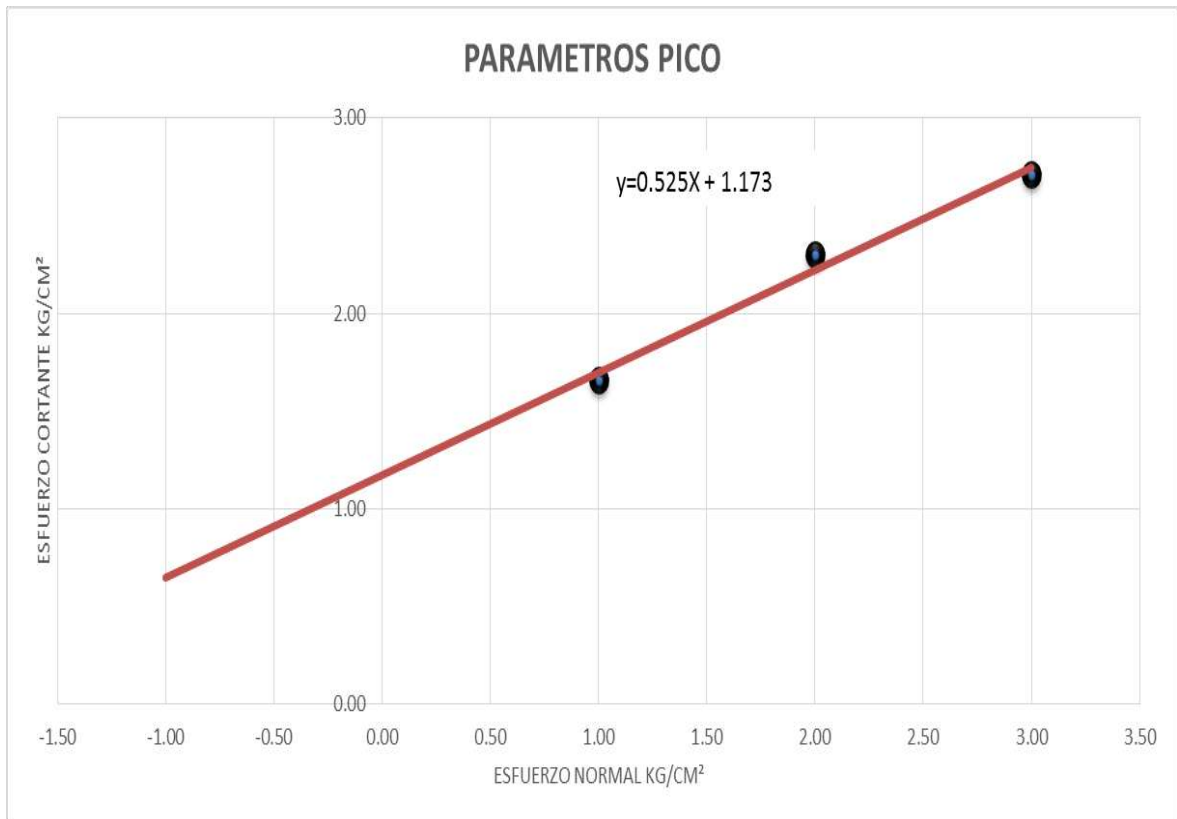
ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN-SITU							
DATOS DEL EQUIPO							
Lado (L) :	25	cm					
Area (A) :	625	cm ²					
Altura (H) :	30	cm					
Volumen (V) :	18750	cm ³					
VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE					625		
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²
26.0000	0.0000	0.000	625.000	0.00	14.22	0.00	1.00
26.1000	0.1000	307.500	625.000	5.83	14.22	0.41	1.00
26.2000	0.2000	517.500	625.000	9.81	14.22	0.69	1.00
26.3000	0.3000	690.000	625.000	13.09	14.22	0.92	1.00
26.4000	0.4000	870.000	625.000	16.50	14.22	1.16	1.00
26.5000	0.5000	1132.500	625.000	21.48	14.22	1.51	1.00
26.6000	0.6000	1245.000	625.000	23.61	14.22	1.66	1.00

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE					1250.00		
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²
24.2000	0.0000	0.000	1250.000	0.00	28.45	0.00	2.00
24.3000	0.1000	255.000	1250.000	4.84	28.45	0.34	2.00
24.4000	0.2000	442.500	1250.000	8.39	28.45	0.59	2.00
24.5000	0.3000	667.500	1250.000	12.66	28.45	0.89	2.00
24.6000	0.4000	817.500	1250.000	15.50	28.45	1.09	2.00
24.7000	0.5000	1042.500	1250.000	19.77	28.45	1.39	2.00
24.8000	0.6000	1267.500	1250.000	24.04	28.45	1.69	2.00
24.9000	0.7000	1402.500	1250.000	26.60	28.45	1.87	2.00
25.0000	0.8000	1470.000	1250.000	27.88	28.45	1.96	2.00
25.1000	0.9000	1530.000	1250.000	29.02	28.45	2.04	2.00
25.2000	1.0000	1620.000	1250.000	30.72	28.45	2.16	2.00
25.3000	1.1000	1725.000	1250.000	32.71	28.45	2.30	2.00

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE				1875.00			
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm2	ESFUERZO NORMAL kg/cm2
22.9000	0.0000	0.000	1875.000	0.00	42.67	0.00	3.00
23.0000	0.1000	240.000	1875.000	4.55	42.67	0.32	3.00
23.1000	0.2000	457.500	1875.000	8.68	42.67	0.61	3.00
23.2000	0.3000	652.500	1875.000	12.37	42.67	0.87	3.00
23.3000	0.4000	810.000	1875.000	15.36	42.67	1.08	3.00
23.4000	0.5000	907.500	1875.000	17.21	42.67	1.21	3.00
23.5000	0.6000	1065.000	1875.000	20.20	42.67	1.42	3.00
23.6000	0.7000	1350.000	1875.000	25.60	42.67	1.80	3.00
23.7000	0.8000	1642.500	1875.000	31.15	42.67	2.19	3.00
23.8000	0.9000	1867.500	1875.000	35.42	42.67	2.49	3.00
23.9000	1.0000	2032.500	1875.000	38.55	42.67	2.71	3.00



ESF. NORMAL (kg/cm ²)	ESF. CORTANTE (kg/cm ²)
1.00	1.66
2.00	2.30
3.00	2.71



ECUACION LINEAL:

$$y = 0.525 x + 1.173$$

Tang (ϕ)	0.525
C	1.173 kg/cm ²
ϕ	27.699°

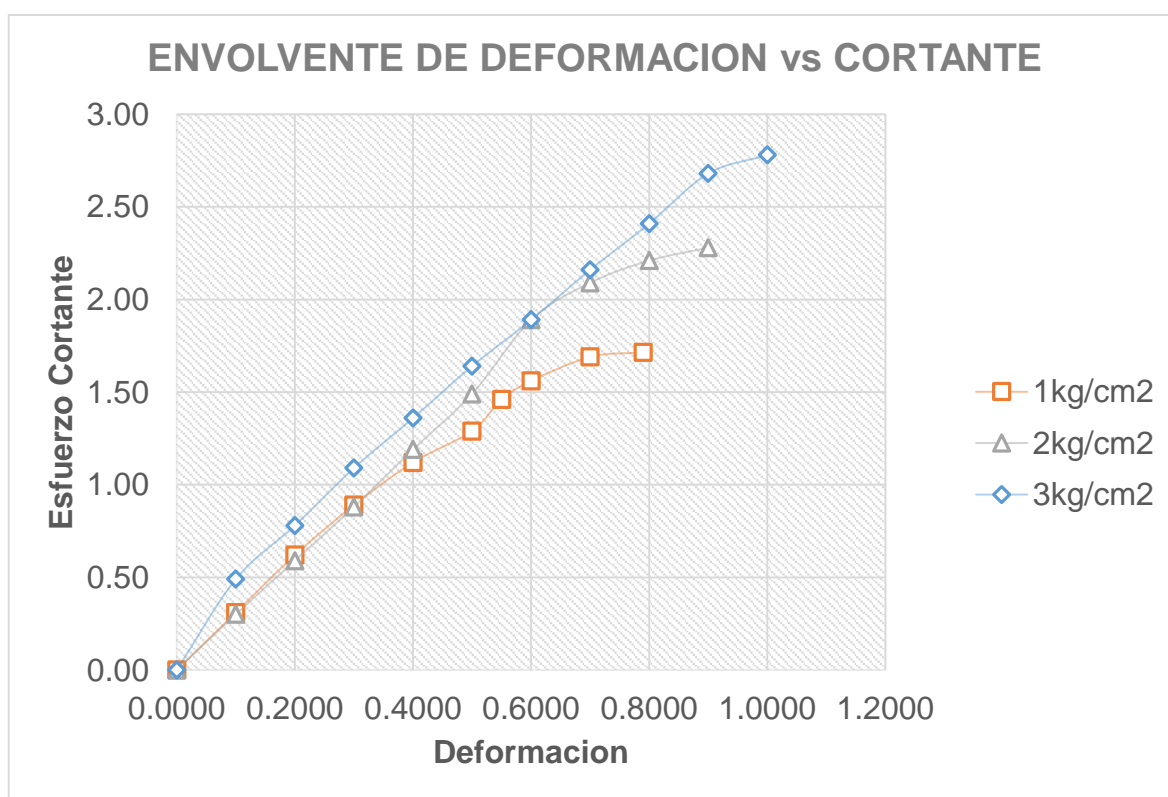
CALICATA 04

En esta CALICATA, se realizó el ENSAYO DE CORTE IN SITU; el cual consta de tres (03) muestras de 0.50 m x 0.50 m de base y 0.30 m de altura. El ensayo a proceder será solamente con SUELO NATURAL. Los resultados obtenidos se aplicaron esfuerzos normales de 1, 2, y 3 kg/cm². Los resultados obtenidos se muestran en a continuación:

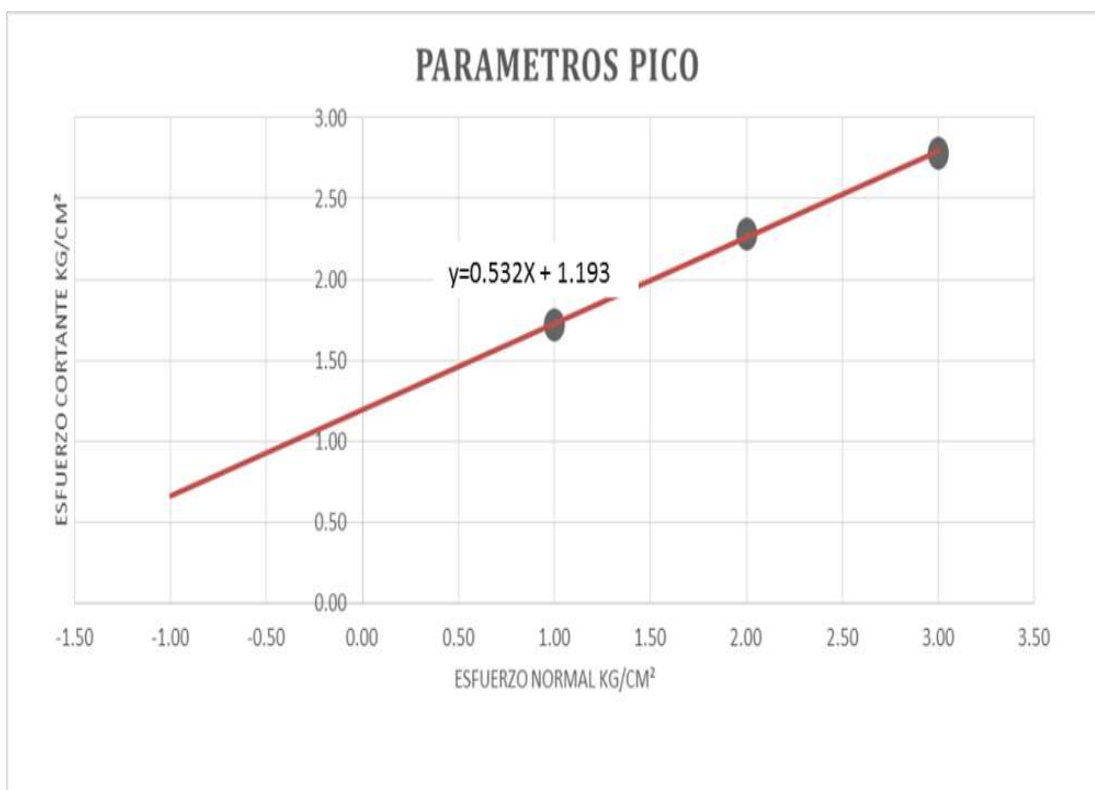
ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN-SITU							
Lado (L) :	50	cm					
Area (A) :	2500	cm ²					
Altura (H) :	30	cm					
Volumen (V) :	75000	cm ³					
VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE					2500		
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²
26.0000	0.0000	0.000	2500.000	0.00	14.22	0.00	1.00
26.1000	0.1000	465.000	2500.000	4.41	14.22	0.31	1.00
26.2000	0.2000	930.000	2500.000	8.82	14.22	0.62	1.00
26.3000	0.3000	1335.000	2500.000	12.66	14.22	0.89	1.00
26.4000	0.4000	1680.000	2500.000	15.93	14.22	1.12	1.00
26.5000	0.5000	1935.000	2500.000	18.35	14.22	1.29	1.00
26.5500	0.5500	2190.000	2500.000	20.77	14.22	1.46	1.00
26.6000	0.6000	2340.000	2500.000	22.19	14.22	1.56	1.00
26.7000	0.7000	2535.000	2500.000	24.04	14.22	1.69	1.00
26.7900	0.7900	2572.500	2500.000	24.39	14.22	1.72	1.00

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE							
					5000.00		
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL kg/cm ²
24.2000	0.0000	0.000	5000.000	0.00	28.45	0.00	2.00
24.3000	0.1000	450.000	5000.000	4.27	28.45	0.30	2.00
24.4000	0.2000	885.000	5000.000	8.39	28.45	0.59	2.00
24.5000	0.3000	1320.000	5000.000	12.52	28.45	0.88	2.00
24.6000	0.4000	1785.000	5000.000	16.93	28.45	1.19	2.00
24.7000	0.5000	2235.000	5000.000	21.19	28.45	1.49	2.00
24.8000	0.6000	2835.000	5000.000	26.88	28.45	1.89	2.00
24.9000	0.7000	3135.000	5000.000	29.73	28.45	2.09	2.00
25.0000	0.8000	3315.000	5000.000	31.43	28.45	2.21	2.00
25.1000	0.9000	3420.000	5000.000	32.43	28.45	2.28	2.00

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE 7500.00							
DEFORMACION HORIZONTAL cm	DEFORMACION cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	ESFUERZO CORTANTE PSI	ESFUERZO NORMAL PSI	ESFUERZO CORTANTE kg/cm2	ESFUERZO NORMAL kg/cm2
22.9000	0.0000	0.000	7500.000	0.00	42.67	0.00	3.00
23.0000	0.1000	735.000	7500.000	6.97	42.67	0.49	3.00
23.1000	0.2000	1170.000	7500.000	11.09	42.67	0.78	3.00
23.2000	0.3000	1635.000	7500.000	15.50	42.67	1.09	3.00
23.3000	0.4000	2040.000	7500.000	19.34	42.67	1.36	3.00
23.4000	0.5000	2460.000	7500.000	23.33	42.67	1.64	3.00
23.5000	0.6000	2835.000	7500.000	26.88	42.67	1.89	3.00
23.6000	0.7000	3240.000	7500.000	30.72	42.67	2.16	3.00
23.7000	0.8000	3615.000	7500.000	34.28	42.67	2.41	3.00
23.8000	0.9000	4020.000	7500.000	38.12	42.67	2.68	3.00
23.9000	1.0000	4170.000	7500.000	39.54	42.67	2.78	3.00



ESF. NORMAL (kg/cm ²)	ESF. CORTANTE (kg/cm ²)
1.00	1.72
2.00	2.28
3.00	2.78



ECUACION LINEAL:

$$y = 0.532 x + 1.193$$

tang (ϕ)	0.533
C	1.193 kg/cm²
ϕ	28.035°

4.2.2. Procedimiento y análisis e interpretación de resultados.

A. Resultado del ensayo experimental (Angulo de fricción y cohesión).

Los parámetros de (ángulo de fricción y cohesión) del suelo con partículas de arcilla ligera de baja plasticidad con arena, del sector de la urbanización primero de enero, distrito de Santiago – cusco, fueron ensayadas, determinando la variación de la resistencia al esfuerzo cortante de los parámetros de Angulo de fricción y cohesión en los diferentes áreas de corte de las muestras. 0.50 m x 0.50 m x 0.30 m;

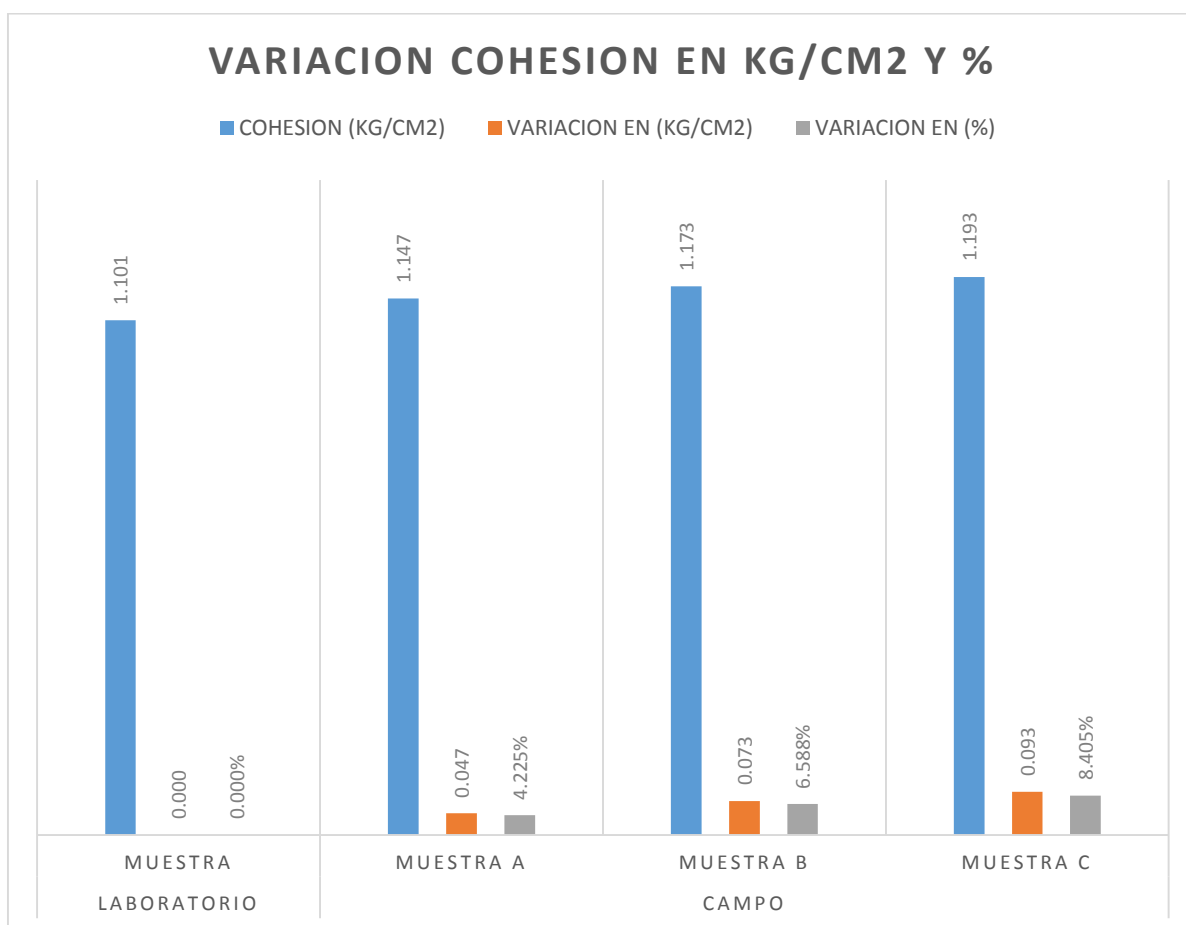
0.25 m x 0.25 m x 0.30 m; y 0.125 m x 0.125 m x 0.30 m, de las muestras estudiadas, probadas en campo con el ensayo de corte directo, tal como se muestra en la tabla siguiente:

La variación del tamaño de muestra ensayadas con el equipo de corte directo in situ y el ensayo de corte directo en laboratorio, la variación de los resultados es mínima.

Tabla 7: Parámetros de la Cohesión.

		COHESIÓN (KG/CM²)	VARIACIÓN EN (KG/CM²)	VARIACIÓN EN (%)
LABORATORIO	MUESTRA	1.101	0.000	0.000%
CAMPO	MUESTRA A	1.147	0.047	4.225%
	MUESTRA B	1.173	0.073	6.588%
	MUESTRA C	1.193	0.093	8.405%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2: Variación Cohesión en Kg/cm² y%

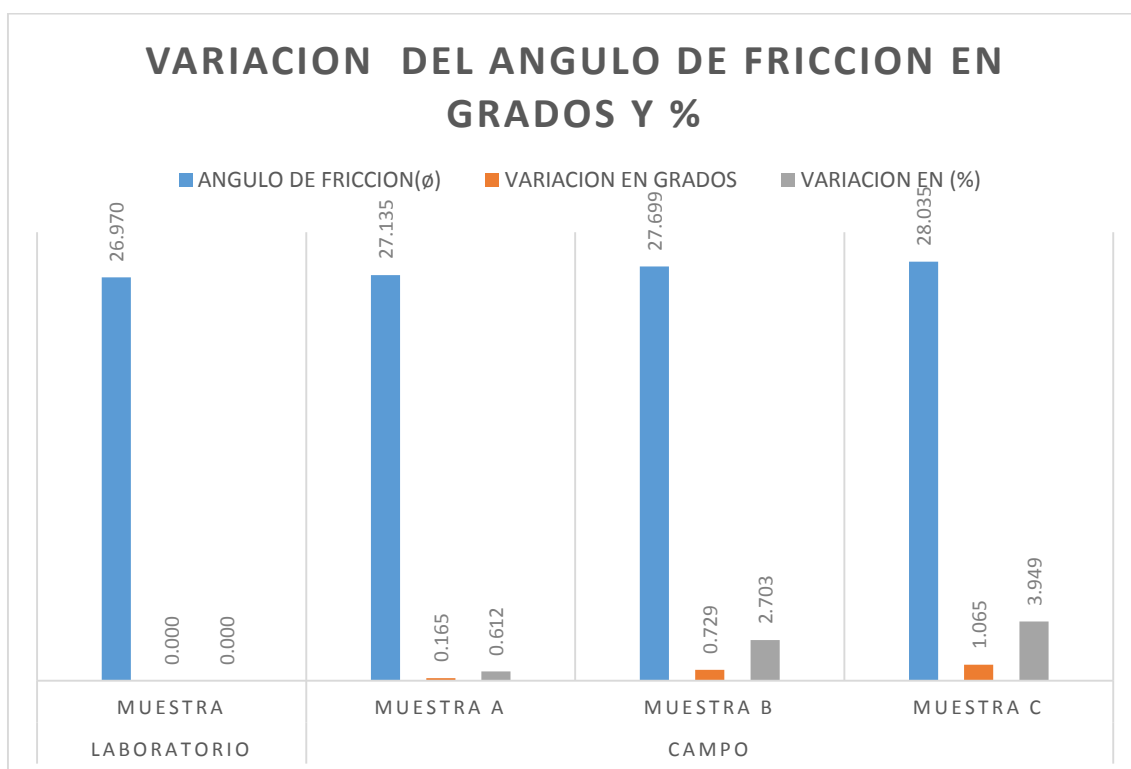
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: Parámetros del Angulo de fricción.

		ÁNGULO DE FRICCIÓN(ϕ)	VARIACIÓN EN GRADOS	VARIACIÓN EN (%)
LABORATORIO	MUESTRA	26.970	0.000	0.000%
CAMPO	MUESTRA A	27.135	0.165	0.612%
	MUESTRA B	27.699	0.729	2.703%
	MUESTRA C	28.035	1.065	3.949%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3: Variación del Angulo de Fricción en Grados



Fuente: Elaboración Propia

Según los datos obtenidos de la cohesión en el ensayo de corte directo in situ y corte directo en laboratorio, la variación es mínima así tenemos:

Muestra A de 12.5 cm de arista es 4.225%.

Muestra B de 25 cm de arista es 6.588%.

Muestra A de 50 cm de arista es 8.405%.

Y la variación en el Angulo de fricción del ensayo de corte directo in situ con respecto a los datos obtenidos en laboratorio varía en:

Muestra A de 12.5 cm de arista es 0.612%.

Muestra B de 25 cm de arista es 2.703%.

Muestra A de 50 cm de arista es 3.949%.

B. Resultado 1 (clasificación de suelos) obtenidos en laboratorio.

De las muestras tonadas de la urbanización primero de enero, distrito de Santiago - cusco, se tiene los resultados obtenidos de la calicata 1, se ha podido establecer mediante dos métodos de clasificación de suelos:

De acuerdo a la clasificación de suelos por AASHTO, contiene materiales granulares A-6 (8) = Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

De acuerdo a la clasificación de suelos por SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS), da como resultado CL = Arcilla ligera de baja plasticidad con arena

C. Resultado 2 (límites de Atterberg) obtenidos en laboratorio.

De acuerdo a las características del suelo estudiado se obtuvo los siguientes resultados.

LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

LIMITE LIQUIDO	26.50%
LIMITE PLASTICO	13.39%
INDICE DE PLASTICIDAD	13.11%

D. Resultado 4 (determinación del contenido de humedad natural) obtenidos en laboratorio.

La obtención del contenido de humedad natural en la muestra de la urbanización primero de enero, distrito de Santiago - cusco, se tiene el resultado obtenidos de la calicata 1, es:

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 12.28%

E. Resultado 5 (determinación del Angulo de fricción y cohesión) obtenidos en laboratorio.

Los resultados de los parámetros obtenidos del corte directo en laboratorio se tienen los siguientes datos.

Cohesión = 1.1005 kg/cm²

Ángulo de fricción interna = 26.97°

4.2.3 Ventajas y Desventajas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. El ensayo de corte directo in situ es simple y práctico. 2. La muestra de suelo tomado no se altera, como sucede cuando se toma muestras para el ensayo en laboratorio. 3. La obtención de los parámetros de resistencia al corte con el equipo de corte directo en campo, son más rápidos y económicos.	1. Para el armado del equipo es necesario más de dos operarios. 2. Para muestras más pequeñas que los que se estudiaron no se puede realizar el ensayo por la dificultad de tallado de la muestra en campo. 3. La obtención de los ensayos son poco confiables mientras el número de ensayos sea el mínimo.

Estos resultados obtenidos son coincidentes con los hallados por el equipo de corte directo in situ y que se sostiene en laboratorio; mientras que el Angulo de fricción y cohesión se tiene una variación mínima, por ello en el suelo analizado podría considerarse dichos estudios.

CAPITULO V

CONCLUSIÓN:

Conclusión 1.- El estudio de los ensayos del tamaño de muestra de 12.5 cm, 25 cm y 50 cm de arista sometida a un ensayo de corte directo in situ tiene una variación de menos 2.5% en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante con respecto a los datos obtenidos en laboratorio.

Conclusión 2.- El ángulo de fricción interna en laboratorio es 26.97° y el ángulo de fricción interna obtenido en campo de las 3 muestras de diferentes tamaños con el equipo de corte directo in situ, es de 27.14° , 27.70° y 28.04° , obteniendo una variación de los datos de laboratorio con respecto al de (in situ) en porcentaje: va del 0.612% a 3.949% estos resultados del ángulo de fricción interna del ensayo de corte directo in situ y los resultados del ángulo de fricción interna encontrados en laboratorio no excede del 4%.

Conclusión 3.- La cohesión obtenida en laboratorio es 1.10kg/cm^2 y la variación de la cohesión de campo realizado en las 3 muestras con el equipo de corte

directo in situ; es de 1.147kg/cm²,1.173kg/cm² y 1.193kg/cm², obteniendo una variación de los datos de laboratorio con respecto al de (in situ) en porcentaje: va del 4.225% a 8.405% y los datos encontrados de los parámetros de la cohesión con el equipo de corte directo in situ y el ensayo de corte directo en laboratorio, la variación no excede del 9%.

RECOMENDACIONES

Recomendación 1.- Se recomienda mejorar el equipo de corte directo in situ como por ejemplo adaptando equipos electrónicos en la lectura de datos y la mejora del equipo ya que se puede hacer estudios en muestras de regular medida sin usar equipos de gran tamaño.

Recomendación 2.- Se recomienda más ensayos en campo con diferentes tipos de suelo y diferentes tamaños de muestra para poder dar credibilidad al equipo de corte directo en campo y a los ensayos realizados.

Recomendación 3.- Se recomienda realizar el ensayo inmediato después de la excavación de la calicata por la pérdida del contenido de humedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badillo, J., & Rodriguez, R. (2002). Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de mecánica de suelos.
- Bowles, J. E. (1981). Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil.
- Braja, M. D. (2000). Fundamentos de ingeniería geotécnica (4ta ed.).
- Chillihuani Chillihuani, V. (2017). Diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos y su aplicación en suelos Típicos de Cusco. Cusco, Perú.
- Cometa Trujillo, S., & Mendez Bohorquez, N. (2016). Correlación entre los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo y el ensayo de Triaxial en un suelo arcilloso típico de la zona occidental de Bogotá. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José Caldas.
- Das, B. (2001). Principios de ingeniería de cimentaciones. (4. Edición, Ed.)
- E., B. J. (1981). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.
- geotécnica, F. d. (2013). Braja M. Das.
- Gonzales Hjar, L. (2012). Estimación de los valores de la cohesión y fricción del macizo rocoso de baja resistencia a partir de ensayos de corte directo in-situ. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Juarez, B., & Rico, R. (2002). Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de mecánica de suelos.
- M.Das, B. (1999). Principios de ingeniería de cimentaciones. (Thomson, Ed.) California State University: Sacramento.
- Shuan Lucas, L. (2011). Investigación de la Matriz en las gravas del Perú modelo grava de ventanilla.
- T. William Lambe y Robert V. Whitman, Mecánica de suelos. México, editorial Limusa 2006
- Peter L. Berry & David Reid. Mecánica de Suelos , Mc. Graw Hill International SA, UK 1993.
- Celso Iglesias Pérez. Mecánica del Suelo. Edit. Sintesis SA. Madrid 1997.

Terzaghi K. Y Peck R. Mecánica de Suelos En La Ingeniería Práctica. Edit.
Ateneo, Argentina 1970.

Donald W. Taylor. Principios Fundamentales de la Mecánica de Suelos.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN SUELOS COHESIVOS DE LA URBANIZACIÓN PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO"					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	SUB VARIABLE	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
			INDEPENDIENTES		
¿En qué medida el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo influye en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco?	Evaluar la influencia del tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco.	El tamaño de la muestra de suelo no influye en los parámetros de resistencia al esfuerzo de corte del sector, Primero de enero, distrito de Santiago, cusco.	· El tamaño de la muestra del suelo	<input type="checkbox"/>	El instrumento que se usó fue LA FICHA DE OBSERVACIÓN.
			DEPENDIENTES		
			Parámetros de resistencia al esfuerzo cortante.	<input type="checkbox"/>	El procedimiento que se utilizo fue el de OBSERVACIÓN
				<input type="checkbox"/>	
				<input type="checkbox"/>	

PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	SUB HIPÓTESIS			
<p>Problema específico 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿En qué medida el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo influye en el ángulo de fricción interna comparadas con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco. ? 	<p>Objetivo específico 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer en qué medida influye el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo con los valores de ángulo de fricción interna comparadas con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco. 	<p>Sub hipótesis 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo no influye en el ángulo de fricción interna del suelo comparada con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ángulo de fricción interna y cohesión. 	<input type="checkbox"/>	
<p>Problema específico 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿En qué medida el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo influye en la cohesión comparada con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco? 	<p>Objetivo específico 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer en qué medida influye el tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo con los valores de la cohesión comparadas con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco. 	<p>Sub hipótesis 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tamaño de la muestra en el ensayo de corte directo en campo no influye en la cohesión del suelo comparado con el ensayo patrón de laboratorio probadas con muestras del sector, Primero de enero, Distrito de Santiago, Cusco. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

PANEL FOTOGRÁFICO.

FOTOGRAFÍA 1: Preparación y adaptación del equipo in situ.



Adaptación de la gata del equipo de corte para que esta de la fuerza cortante con ayuda del técnico mecánico.

FOTOGRAFÍA 2: replanteo del suelo para su respectivo tallado de muestra.



Trazo y replanteo de muestra con las dimensiones de 12.5 cm, 25 cm y 50 cm de arista de muestra a ensayar en corte directo in situ

FOTOGRAFÍA 3: tallado y enrazado de las muestras.



Se hizo el tallado de las muestras de 12.5 cm, 25 cm y 50 cm de arista de muestras a ensayar en corte directo in situ.

FOTOGRAFÍA 4: Instalación de equipo de corte in situ.



Se realiza la instalación del equipo de corte in situ en la calicata, ubicando los elementos verticales y horizontales donde se sujetarán las gatas hidráulicas para su respectiva lectura de datos de los esfuerzos cortantes.

FOTOGRAFÍA 5: Lectura de la deformación horizontal del equipo.



Obtención de datos de la deformación horizontal ejercida por la fuerza cortante.

FOTOGRAFÍA 6: Lectura de la deformación horizontal del equipo.



Se obtiene datos del manómetro de glicerina, registrando progresivamente hasta que el suelo falle, esta operación se realiza con los especímenes en estudio.

FOTOGRAFÍA 7: Lectura de la deformación horizontal del equipo.



Se muestra los especímenes en el punto de falla, ensayados en este caso corresponde a la calicata en estudio.

FOTOGRAFÍA 8: Lectura de la deformación horizontal del equipo.

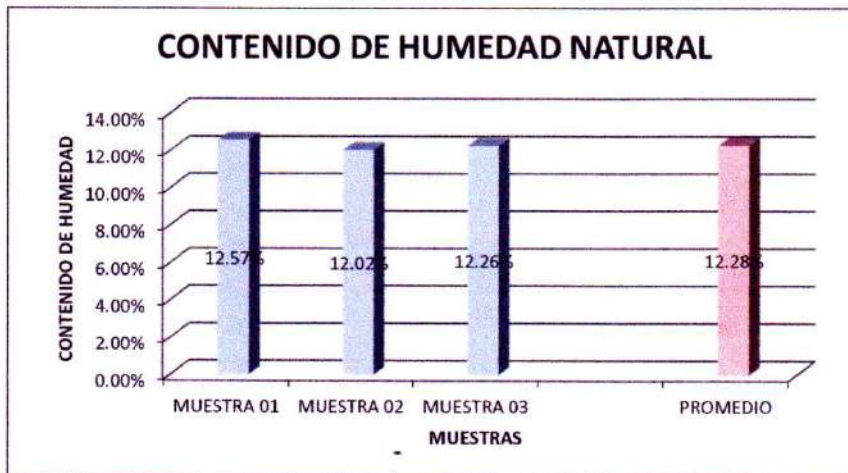


Se muestra los especímenes ensayados mostrando la falla de corte.

PROYECTO:	EVALUAR LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRAS DE SUELO COHESIVOS EN LOS PARAMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, DE LA URBANIZACION PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO		
Ubicación: ---			
Provincia: ---			
Region: ---			
Calicata: C-01			Profundidad: ---
Fecha: JUNIO, 2018			Nivel Freático : ----

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	1	2	3
Peso de Capsula (gr)	21.59	15.98	22.32
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	48.64	39.93	49.06
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	45.62	37.36	46.14
Peso del Agua (gr)	3.02	2.57	2.92
Peso de la Muestra Seca (gr)	24.03	21.38	23.82
Contenido de Humedad	12.57%	12.02%	12.26%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 12.28%


ASET
INGENIERIA S.R.L.
 ING^o ELIZABETH TAPIA INGA
 REPRESENTANTE GENERAL

ASET INGENIERIA



PROYECTO: EVALUAR LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRAS DE SUELO COHESIVOS EN LOS PARAMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, DE LA URBANIZACION PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO

Ubicación: ---
 Provincia: ---
 Region: ---
 Calicata: C-01
 Fecha: JUNIO, 2018

Profundidad: ---
 Nivel Freático : ---

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado
 Peso de la Muestra Seca = 1001.00 gr

Después del lavado
 Peso de la Muestra Seca = 306.00 gr
 % de Error en Peso = 0.09%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	1001.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	15.36	985.64	1.53%	1.53%	98.47%
⅜"	9.5	35.36	965.28	3.53%	5.07%	94.93%
Nº 4	4.75	25.17	925.11	2.51%	7.58%	92.42%
Nº 10	2	20.98	904.13	2.10%	9.68%	90.32%
Nº 20	0.850	17.87	886.26	1.79%	11.46%	88.54%
Nº 40	0.425	6.521	821.05	0.651%	17.95%	82.02%
Nº 100	0.150	84.24	734.81	8.42%	26.39%	73.61%
Nº 200	0.075	39.30	697.51	3.93%	30.32%	69.68%
Cazuela	-	2.23	-	0.22%	30.54%	-
Lavado	-	695.00	-	69.46%	100.00%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		305.72		100.00%		

Gradación: T0 y T1

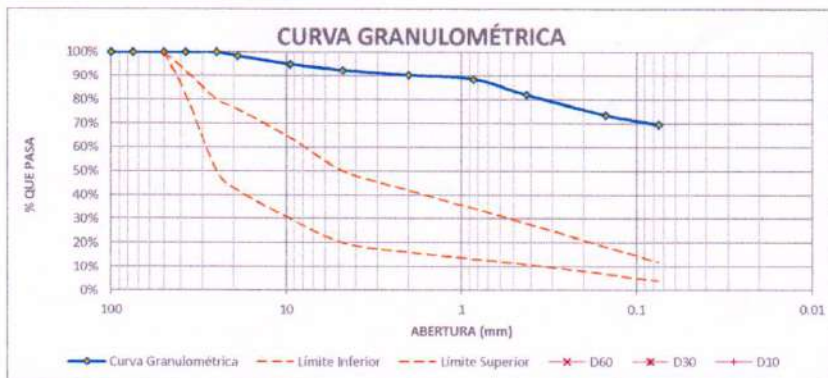
TAMIZ Nº	LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR
2" (50 mm)	100%	100%
1½" (37.5 mm)	82%	92%
1" (25 mm)	50%	80%
¾" (19 mm)	42%	76%
⅜" (9.5 mm)	30%	64%
Nº 4 (4.75 mm)	20%	50%
Nº 10 (2 mm)	16%	42%
Nº 40 (0.425 mm)	11%	28%
Nº 200 (0.075 mm)	4%	12%

Fraciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 7.58%
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 22.74%
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 69.68%
 Total: 100.00%

Fración Gruesa

% de grava = 25.01%
 % de arena = 74.99%
 Total = 100.00%



Tamaño Máximo Absoluto = 1"

Tamaño Máximo Nominal = ⅜"

D60 = -
 D30 = -
 D10 = -

Cu = -
 Cc = -

ASET INGENIERIA S.R.L.
 ING. ELIZABETH TAPIA INGA
 C.R. 157724

PROYECTO: EVALUAR LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRAS DE SUELO COHESIVOS EN LOS
PARAMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, DE LA URBANIZACION PRIMERO
DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO

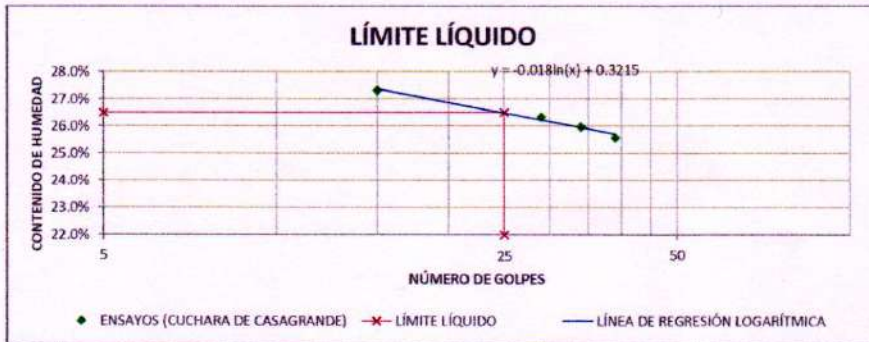
Ubicación: ---
Provincia: ---
Region: ---
Calicata: C-01
Fecha: JUNIO, 2018

Profundidad: ---
Nivel Freático : ----

LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
	1	2	3	4
Peso de Capsula (gr)	20,98	23,65	20,90	21,08
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	27,13	30,70	26,72	26,63
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	25,81	29,23	25,52	25,50
Peso del Agua (gr)	1,32	1,47	1,20	1,13
Peso de la Muestra Seca (gr)	4,83	5,58	4,62	4,42
Contenido de Humedad	27,33%	26,34%	25,97%	25,57%
Número de Golpes	15	29	34	39



LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
	A	B	C
N° de Capsula			
Peso de Capsula (gr)	22,24	24,04	23,60
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	24,48	27,37	26,54
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24,22	26,97	26,18
Peso del Agua (gr)	0,26	0,40	0,36
Peso de la Muestra Seca (gr)	1,98	2,93	2,58
Contenido de Humedad	13,13%	13,65%	13,95%



LÍMITE LÍQUIDO = 26,50%
LÍMITE PLÁSTICO = 13,39%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 13,11%

ASET INGENIERIA S.R.L.
ING[°] ELIZABETH TAPIA INGA
GERENTE GENERAL

ASET INGENIERÍA



PROYECTO: EVALUAR LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRAS DE SUELO COHESIVOS EN LOS PARÁMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, DE LA URBANIZACIÓN PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO

Ubicación: ---
 Provincial: ---
 Región: ---
 Calicata: C-01
 Fecha: JUNIO, 2018

Profundidad: ---
 Nivel Freático: ---

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUICS)

ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos =	30.32%
% de Finos =	69.68%
Total =	100.00%
% de Grava =	7.58%
% de Arena =	22.74%
Total =	30.32%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	25.01%
% de Arena =	74.99%
Total =	100.00%
Coeficientes	
Cu =	-
Cc =	-
De Límites de Consistencia	
LL =	26.50%
LP =	13.39%
IP =	13.11%
Otros Datos	
Tipo =	Inorgánico
3000	
4250	
3625	



ING^o ELIZABETH TAPIA INGA
 CIP: 151724
 GERENTE GENERAL

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO	SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	GW	Grava bien graduada
	GP	Grava mal graduada
GRAVAS CON FINOS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GM	Grava limosa
	GC	Grava arcillosa
GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	GC - GM	Grava limosa arcillosa
	GW - GM	Grava bien graduada con limo
	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla
	GP - GM	Grava mal graduada con limo
	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla
ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	SW	Arena bien graduada
	SP	Arena mal graduada
ARENAS CON FINOS Más del 12% pasa la malla Nº 200	SM	Arena limosa
	SC	Arena arcillosa
	SC - SM	Arena limosa arcillosa
ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	SW - SM	Arena bien graduada con limo
	SW - SC	Arena bien graduada con arcilla
	SP - SM	Arena mal graduada con limo
	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	ML	Limo de baja plasticidad
	CL	Arcilla de baja plasticidad
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	CL - ML	Arcilla limosa
	OL	Limo orgánico
	OH	Arcilla orgánica
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS Principalmente materia orgánica de color oscuro	CH	Limo de alta plasticidad
	OH	Arcilla de alta plasticidad
	PT	Limo orgánico
		Arcilla orgánica
		Turba

CL = Arcilla ligera de baja plasticidad con arena

ASET INGENIERÍA



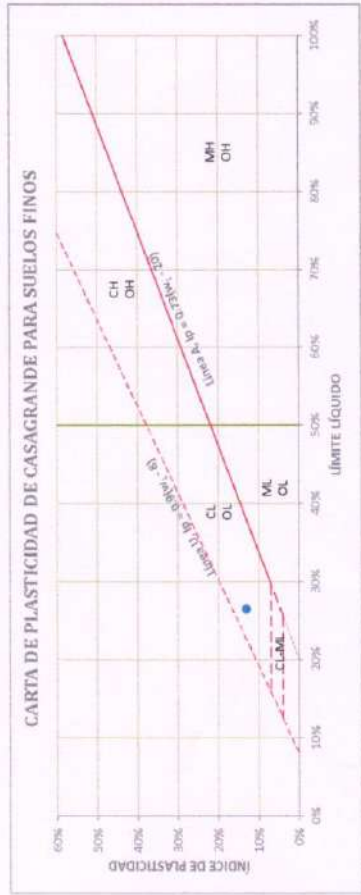
PROYECTO: **EVALUAR LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRAS DE SUELO COHESIVOS EN LOS PARÁMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, DE LA URBANIZACIÓN PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO**

Ubicación: ---
 Provincia: ---
 Región: ---
 Calicata: C-01
 Fecha: JUNIO, 2018

Profundidad: ---
 Nivel Freático: ---

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

ASTM D-2487



ASET INGENIERÍA S.R.L.
 ING[®] ELIZABETH TAPIA INGA
 CIP. 157724
 GERENTE GENERAL



PROYECTO: EVALUAR LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRAS DE SUELO COHESIVOS EN LOS PARAMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, DE LA URBANIZACIÓN PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO

Ubicación: ---
 Provincia: ---
 Región: ---
 Calicata: C-02
 Fecha: JUNIO, 2018

Profundidad: ---
 Nivel Freático : ---

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO
 AASHTO M-145

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	De Límites de Consistencia
% que pasa el tamiz Nº 10 = 90.32%	LL = 26.50%
% que pasa el tamiz Nº 40 = 82.02%	LP = 13.39%
% que pasa el tamiz Nº 200 = 69.68%	IP = 13.11%
	Otros Datos Tipo = <i>inorgánica</i>

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz Nº 200)						MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)				
	A-1		A-3	A-2		A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS											
% que pasa el tamiz: Nº 10 Nº 40 Nº 200	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz Nº 40			No Plástico	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Límite Líquido	6 máx.	6 máx.	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Índice de Plasticidad	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos		

A-6 (B) = Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo

ASET INGENIERIA S.R.L.
 ING^o ELIZABETH TAPIA INGA
 CIP: 157724
 GERENTE GENERAL

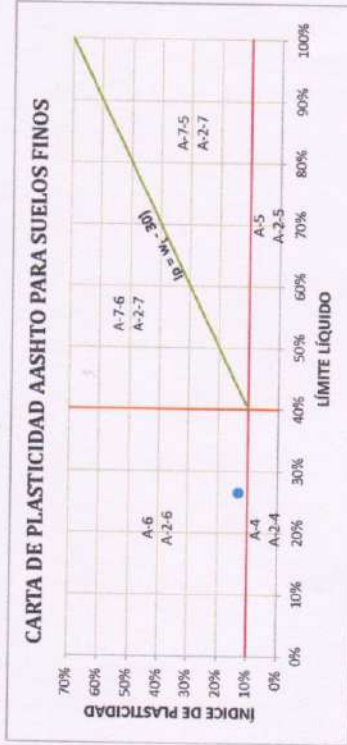


PROYECTO: **EVALUAR LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRAS DE SUELO COHESIVOS EN LOS PARAMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, DE LA URBANIZACION PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO**

Ubicación: ---
 Provincia: ---
 Región: ---
 Calicata: C-01
 Fecha: JUNIO, 2018

Profundidad: ---
 Nivel Freático : ----

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO
 AASHTO M-145



CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO

F = 69.68	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200
w _L = 26.50	w _L = Límite líquido
Ip = 13.11	Ip = Índice de plasticidad

$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$

a = F - 35	a = 34.68	=>
b = F - 15	b = 54.68	=>
c = w _L - 40	c = -13.50	=>
d = Ip - 10	d = 3.11	=>

$IG = 8$

ASET INGENIERIA S.R.L.
 ING^o ELIZABETH TAPIA INGA
 CIP: 157724
 GERENTE GENERAL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

INFORME N°: 042-A-2018 fecha: JUNIO, 2018
 Solicitado por: BR. ORLANDO MEDINA VELASQUE / U.A.P. - FILIAL - CUSCO
 proyecto: EVALUAR LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRAS DE SUELO COHESIVOS EN LOS PARAMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, DE LA URBANIZACION PRIMERO DE ENERO, DISTRITO DE SANTIAGO - CUSCO

datos de la muestra: CALICATA: C-01

Sondeo:		Material:
muestra:	---	COHESIVO FRICCIONANTE
prof.:	---	INALTERADO

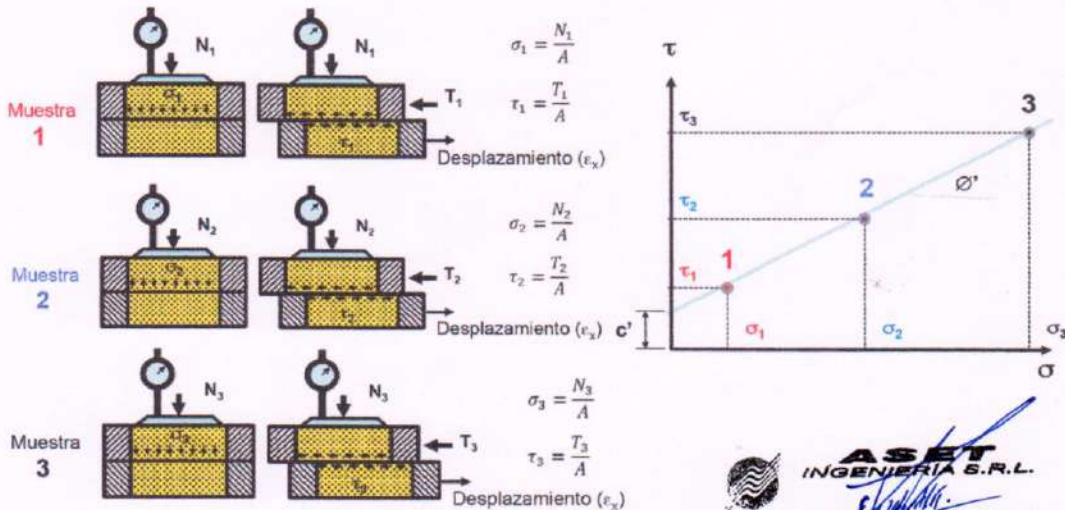
Parámetros de la Muestra:

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	4.70	4.80	4.80
Altura (cm)	2.20	2.20	2.30
Area (cm ²)	17.35	18.10	18.10
Volumen (cm ³)	38.17	39.81	41.62
% humedad	12.00%	12.00%	12.00%
Masa M. húmeda M ₁₀ (gr)	80.64	89.26	88.98
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.89	2.00	1.91

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	4.00	8.00	12.00
Carga total en la muestra (kg)	4.00	8.00	12.00
Múltiplo (5 / 10)	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm ²)	1.15	2.21	3.32
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO

Diagrama del arreglo para la prueba de Corte Directo:



ASET INGENIERIA S.R.L.
 ING^o ELIZABETH TAPIA INGA
 CIP: 15772
 GERENTE GENERAL

ASET INGENIERÍA



Calculo de esfuerzo cortante y normal:

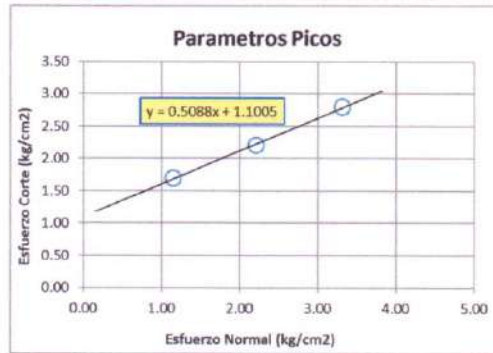
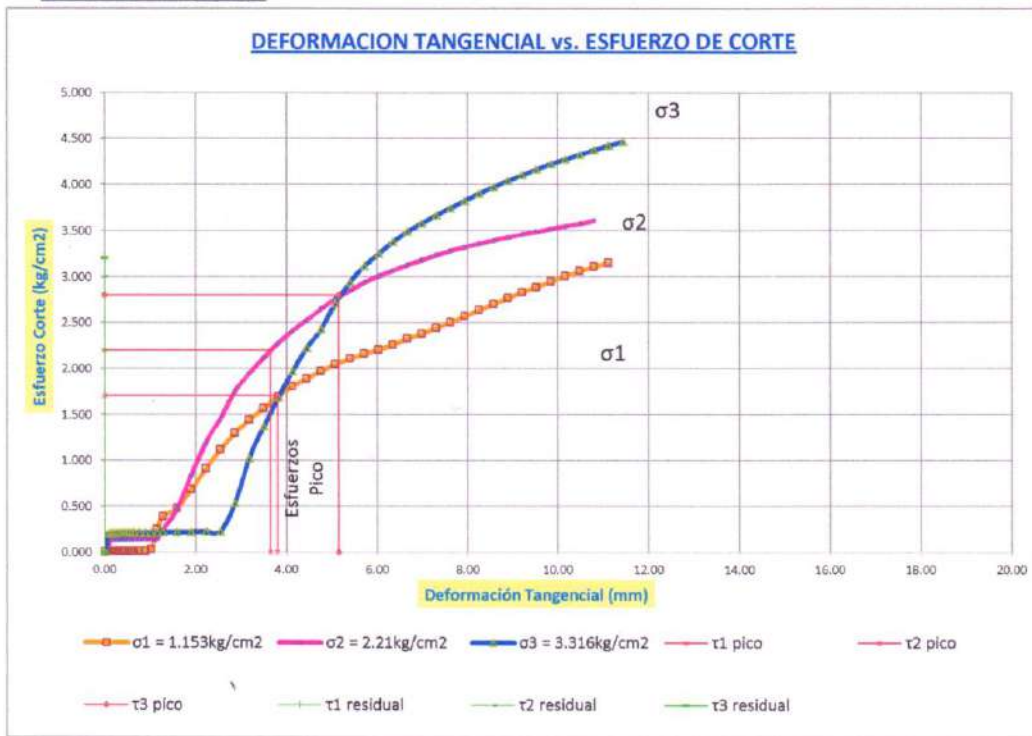
Lectura del Deform Hz.	Desplaz. Hz. (mm)	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo Normal: 1.15 Kg/cm2		Esfuerzo Normal: 2.21 Kg/cm2		Esfuerzo Normal: 3.32 Kg/cm2	
			Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)
0.00	0.00	17.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.06	17.32	0.178	0.010	1.122	0.065	3.504	0.202
0.20	0.13	17.29	0.204	0.012	2.345	0.136	3.541	0.205
0.30	0.19	17.26	0.204	0.012	2.366	0.137	3.578	0.207
0.40	0.25	17.23	0.204	0.012	2.386	0.138	3.578	0.208
0.50	0.32	17.20	0.204	0.012	2.386	0.139	3.597	0.209
0.60	0.38	17.17	0.178	0.010	2.386	0.139	3.615	0.211
0.70	0.44	17.14	0.178	0.010	2.386	0.139	3.615	0.211
0.80	0.51	17.11	0.204	0.012	2.386	0.139	3.615	0.211
0.90	0.57	17.08	0.204	0.012	2.386	0.140	3.615	0.212
1.00	0.64	17.05	0.204	0.012	2.386	0.140	3.615	0.212
1.20	0.76	16.99	0.178	0.011	2.386	0.140	3.634	0.214
1.40	0.89	16.93	0.178	0.011	2.386	0.141	3.634	0.215
1.60	1.02	16.87	0.484	0.029	2.386	0.141	3.634	0.215
1.80	1.14	16.81	4.130	0.246	2.407	0.143	3.634	0.216
2.00	1.27	16.75	6.501	0.388	4.058	0.242	3.652	0.218
2.50	1.59	16.60	7.877	0.474	7.831	0.472	3.652	0.220
3.00	1.91	16.45	11.268	0.685	13.848	0.842	3.652	0.222
3.50	2.22	16.30	14.760	0.905	19.415	1.191	3.652	0.224
4.00	2.54	16.16	17.947	1.111	23.474	1.453	3.652	0.226
4.50	2.86	16.01	20.649	1.290	27.961	1.747	8.529	0.533
5.00	3.18	15.86	22.816	1.439	30.755	1.939	16.186	1.021
5.50	3.49	15.71	24.601	1.566	33.263	2.118	21.414	1.363
6.00	3.81	15.56	26.360	1.694	35.384	2.274	26.160	1.681
6.50	4.13	15.41	27.762	1.802	37.036	2.403	30.313	1.967
7.00	4.45	15.26	28.731	1.883	38.484	2.522	33.947	2.225
7.50	4.76	15.11	29.725	1.967	39.973	2.645	36.673	2.427
8.00	5.08	14.96	30.541	2.041	41.258	2.758	40.492	2.706
8.50	5.40	14.81	31.178	2.105	42.175	2.847	43.533	2.939
9.00	5.72	14.66	31.637	2.158	43.032	2.935	45.646	3.113
9.50	6.03	14.51	32.019	2.206	43.623	3.006	47.129	3.247
10.00	6.35	14.36	32.452	2.259	44.052	3.067	48.501	3.376
10.50	6.67	14.22	33.039	2.324	44.419	3.125	49.595	3.489
11.00	6.99	14.07	33.421	2.376	44.684	3.177	50.337	3.578
11.50	7.30	13.92	33.906	2.436	44.949	3.230	51.023	3.666
12.00	7.62	13.77	34.364	2.496	45.112	3.277	51.542	3.744
12.50	7.94	13.62	34.925	2.564	45.173	3.317	52.043	3.821
13.00	8.26	13.47	35.461	2.633	45.173	3.354	52.525	3.900
13.50	8.57	13.32	35.920	2.697	45.153	3.390	52.877	3.970
14.00	8.89	13.17	36.378	2.762	45.092	3.424	53.155	4.036
14.50	9.21	13.02	36.837	2.829	45.010	3.457	53.396	4.100
15.00	9.53	12.87	37.118	2.883	44.868	3.485	53.600	4.164
15.50	9.84	12.72	37.475	2.945	44.725	3.515	53.730	4.223
16.00	10.16	12.57	37.755	3.003	44.582	3.546	53.748	4.274
16.50	10.48	12.43	37.959	3.055	44.378	3.572	53.711	4.323
17.00	10.80	12.28	38.112	3.105	44.256	3.605	53.693	4.374
17.50	11.11	12.13	38.112	3.143			53.619	4.422
18.00	11.43	11.98					53.489	4.466


ASET
 INGENIERIA S.R.L.
 ING^o ELIZABETH TAPIA INGA
 GERENTE GENERAL

ASET INGENIERIA



diagramas de esfuerzos:



Parametros Picos	
tan ϕ =	0.5088
ϕ pico =	26.97 °
C pico =	1.1005 Kg / cm2

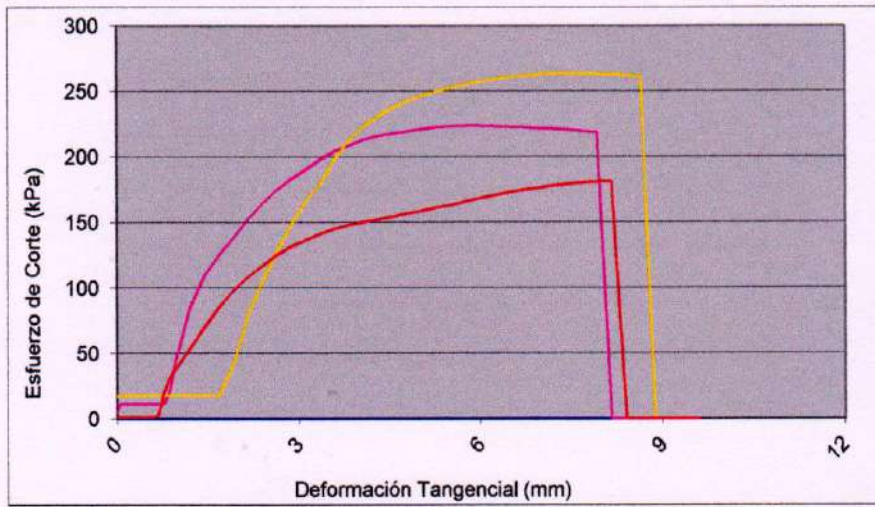
ASET
 INGENIERIA S.R.L.

ING° ELIZABETH TAPIA INGA
 CIP/151724
 GERENTE GENERAL

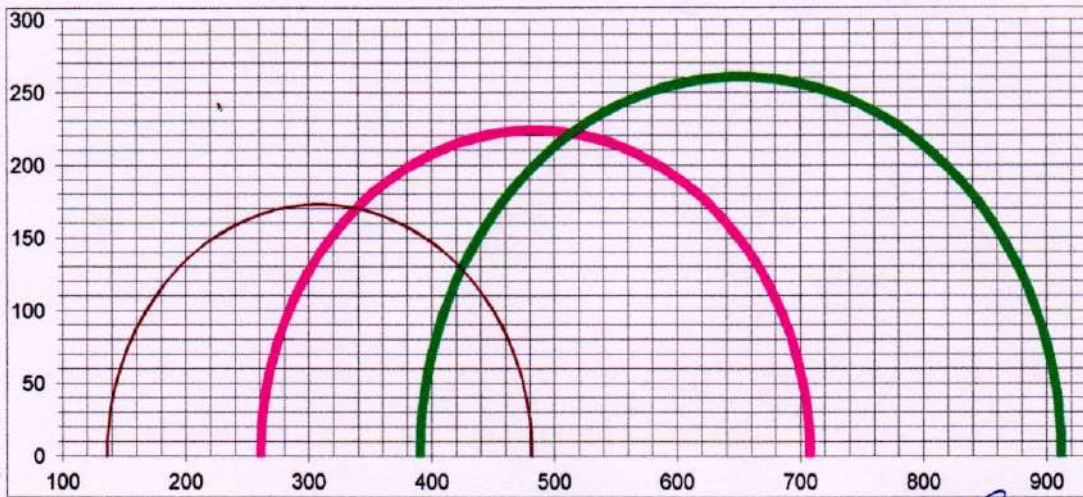
ASET INGENIERIA



Deformación Tangencial (mm) VS Esfuerzo de Corte (kPa)



CIRCULO DE MOHR




ASET
 INGENIERIA S.R.L.
 ING^o ELIZABETH TAPIA INGA
 CIP: 15774
 GERENTE GENERAL

ASET INGENIERIA

