



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

**TESIS:**

**“MEJORAMIENTO DE SUELOS CON INYECCIÓN DE  
CONCRETO LÍQUIDO CON FINES DE CIMENTACIÓN EN  
EDIFICACIONES EN EL SECTOR DE LA APV RAMIRO  
PRIALE COMITÉ 4 – DISTRITO SANTIAGO – CUSCO”**

**PRESENTADO POR:**

**LEDDIN ITURRIAGA ANCO**  
Bachiller en Ingeniería Civil

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

**ASESOR TÉCNICO:**  
**JUAN VLADIMIRO LOAYZA AGUIRRE**  
Ingeniero Civil

**ASESOR METODOLÓGICO:**  
**SALINOVA CARRILLO SEGURA**  
Magister

**CUSCO-PERÚ**

2018

## **DEDICATORIA**

*A Dios.*

*Por haberme dado salud, vida, paciencia y amor para poder llegar hasta donde hoy me encuentro, culminando una de mis metas.*

***A mi madre Francisca.***

*Por haber estado siempre ahí guiándome, aconsejándome, dándome la fuerza y motivación constante sin dejarme vencer de nada, gracias por tu amor madrecita de mi vida.*

***A mi padre Juan Francisco.***

*Por los ejemplos de trabajo, constancia, perseverancia, fuerza y de duro carácter que lo caracterizan, gracias a eso me ha enseñado a salir adelante, por tu cariño y tu amor.*

***A mis Hermanos.***

*Leida y Leandro, por estar conmigo y apoyarme siempre, los amo.*

***A mis amigos.***

*Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional*

***Finalmente, a los Docentes***

*Aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.*

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.*

*Le doy gracias a mis padres Francisca y Juan, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. A mis hermanos Leida y Leandro, por ser parte importante de mi vida, a mi novia Leydi y a mi hija Luciana, que fueron mis apoyos incondicionales, gracias por el amor que me brindan y cariño el otorgado a cada momento.*

*A la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, que me supo abrir sus puertas para poder alcanzar esta meta.*

*A mi asesor Ing. Juan Vladimiro Loayza Aguirre y Dictaminantes Ing. Ambrocio Mamani Cutipa, Ing. Walter Giovanni Meza Vera, y a todas las personas que me supieron apoyar en el transcurso de mis estudios.*

## RESUMEN

El tema desarrollado en el presente trabajo de investigación está orientado a determinar en qué medida se mejora el suelo con inyección de concreto líquido con fines de cimentación en edificaciones en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.

Para la elaboración de la presente tesis se realizó en un primer momento, ensayos en laboratorio para determinar las propiedades físicas del suelo a través de la excavación de una calicata en la zona de estudio. Posteriormente conociendo los parámetros físicos del suelo, se procedió a excavar dos nuevas calicatas, donde en una primera calicata se moldeó tres muestras sin alterar y la segunda calicata de igual manera se moldeó tres muestras alterándolo con la adición de concreto líquido o grout usando el método de la inyección.

Se dejó que el concreto fragüe durante 28 días, para recién desarrollar el ensayo de corte insitu con el equipo construido para tal fin. Este ensayo se basa en principios análogos a los de corte directo en laboratorio. El propósito fue determinar las propiedades mecánicas, resistencia al corte y capacidad de carga del suelo en estudio y determinar en qué medida influye la aplicación de inyección de concreto líquido en suelos con fines de cimentación del sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.

Se concluye que la mejora es significativa; por cuanto los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas, resistencia al corte y capacidad de carga, del suelo natural con respecto al suelo mejorado con inyección de concreto líquido, existe incremento.

## SUMMARY

The theme developed in this research work is aimed at determining to what extent the soil is improved with liquid concrete injection for foundation purposes in buildings in the APV sector. Ramiro Priale Committee 4, district of Santiago, Cusco.

For the elaboration of the present thesis was carried out in a first moment, tests in laboratory to determine the physical properties of the soil through the excavation of a pit in the zone of study. Subsequently, knowing the physical parameters of the soil, two new pits were excavated, where in a first pit three unaltered samples were molded and the second pit was molded three samples altering it with the addition of liquid concrete or grout using the method of the injection.

The concrete was allowed to set for 28 days, to just develop the insitu cut test with the equipment built for that purpose. This test is based on principles analogous to those of direct cutting in the laboratory. The purpose was to determine the mechanical properties, resistance to cut and load capacity of the soil under study and determine to what extent the application of liquid concrete injection in soils for the purpose of foundations of the APV sector. Ramiro Priale Committee 4, district of Santiago, Cusco.

It is concluded that the improvement is significant; As the obtained results of the mechanical properties, resistance to the cut and capacity of load, of the natural ground with respect to the improved soil with injection of liquid concrete, there is an increase.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN.....	iii
SUMMARY .....	iv
INTRODUCCIÓN.....	x

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

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 .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
1.4. Justificación e importancia del estudio.....	3
1.5. Limitaciones de la investigación.....	4

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio.....	5
2.1.1 En el Mundo:.....	5
2.1.2 En el Perú: .....	6
2.2. Bases teóricas .....	11
2.2.1. Análisis Granulométrico .....	11
2.2.2. Límites de ATTERBERG.....	13
2.2.3. Clasificación de Suelo .....	15
2.2.4. Resistencia al esfuerzo cortante .....	15
2.2.5. Cimentaciones Superficiales .....	20
2.2.6. Capacidad de Carga: .....	21
2.2.7. Mejoramiento de Suelos.....	26
2.2.8. La inyección como procedimiento .....	26

2.2.9. Resistencia del concreto líquido al corte .....	29
2.2.10. Diseño de mezclas para inyecciones en laboratorio .....	30
2.2.11. Ensayo de Corte Directo Estándar .....	31
2.2.12. Ensayo de Corte Directo Insitu .....	33
2.3. Definición de términos básicos .....	35
2.4. Hipótesis de la investigación.....	37
2.4.1. Hipótesis General.....	37
2.4.2. Hipótesis Secundarias .....	37
2.5. Variables de estudio .....	37
2.6. Operacionalización de las variables.....	37

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y nivel de investigación. ....	38
3.2. Diseño de la investigación. ....	38
3.3. Método de la investigación. ....	38
3.4. Población y muestra. ....	38
3.4.1. Población .....	38
3.4.2 Muestra .....	38
3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	39
3.5.1. Técnicas de Tratamiento de los Datos: .....	39
3.5.2. Instrumentos: .....	39

### CAPÍTULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ensayos de laboratorio .....	40
4.1.1 Ensayo granulométrico por tamizado .....	40
4.1.2 Ensayo de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico. ....	41
4.1.3 Clasificación e identificación de suelos .....	43
4.1.4 Inyección de Concreto Líquido (A pequeña escala). ....	44
4.1.5 Ensayo de Corte Directo (INSITU). ....	45

4.2. Resultados.....	53
4.2.1 Recolección de datos.....	53
4.2.1.1 Recolección de datos del suelo en estudio .....	53
4.2.2 Procedimiento y análisis e interpretación de resultados .....	59
4.2.2.1 Resultado general.....	59
4.2.2.2 Resultado 1.....	61
4.2.2.3 Resultado 2.....	61
4.2.2.4 Resultado 3.....	61
4.2.2.5 Resultado 4.....	62
CONCLUSIONES .....	63
SUGERENCIAS.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	67



## Índice de Figuras

Figura 1: Tamaño del Grano .....	13
Figura 2: Definición de los límites de Atterberg. ....	14
Figura 4: Envolvente de falla de Mohr .....	18
Figura 5: Criterio de rotura de Mohr - Coulomb .....	18
Figura 6: Inclinação del plano de falla respecto al plano principal mayor .....	19
Figura 7: Representación del Mohr - Coulomb .....	20
Figura 8: Modelo de cimentación poco profunda de ancho b .....	21
Figura 9: Modelo de falla de cimentación infinita, poco profunda de ancho B. ....	22
Figura 10: Primer modelo de falla de cimentación infinita. ....	25
Figura 15: Esquema del equipo de corte directo convencional .....	32
Figura 16: Representación gráfica del esfuerzo de corte vs esfuerzo normal. ....	33
Figura 17: Ensayo Insitu. ....	34
Figura 18: Carta de plasticidad para Clasificación de Suelos. ....	44
Figura 19: Equipo de Corte Insitu.....	47
Figura 21: Enrazado del espécimen:.....	48
Figura 22: Trazo y excavación .....	48
Figura 23: Enrazado del espécimen.....	49
Figura 24: Mortero superior para nivelar. ....	49
Figura 25: Colocación de los polines. ....	50
Figura 26: Colocación de la gata hidráulica. ....	50
Figura 27: Registro de datos. ....	51
Figura 28: Falla del suelo.....	52

### Índice de tablas

Tabla 1: Tamaños de cribas U.S. Standard .....	12
Tabla 2: Valores típicos de LL y LP para algunos minerales y suelos arcillosos. ....	15
Tabla 3: Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión. ....	18
Tabla 4: Valores de Factores de Carga. ....	23
Tabla 5: Valores de Factores de Carga de Meyerhof. ....	26
Tabla 9: Resultados de ensayos a compresión.....	31
Tabla 10: Muestra Representativa .....	38
Tabla 11: Clasificación AASHTO. ....	43
Tabla 12: Clasificación SUCS. ....	44
Tabla 13: Análisis Granulométrico por Tamizado. ....	53
Tabla 14: Clasificación de suelos según AASHTO.....	56
Tabla 15: Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	57
Tabla 16: Esfuerzo Normal y de Corte - Suelo Natural.....	57
Tabla 17 Esfuerzo Normal y de Corte – Suelo Mejorado .....	58
Tabla 18: Esfuerzo de corte suelo natural vs suelo mejorado. ....	59
Tabla 19: Cohesión y Angulo de fricción .....	60

### Índice de Gráficos

Gráfico 1: Curva Granulométrica.....	54
Gráfico 2: Límite Líquido .....	54
Gráfico 3: Límite Plástico. ....	55
Gráfico 4: Clasificación de suelos según AASHTO. ....	55
Gráfico 5: Clasificación de suelos según SUCS. ....	56
Gráfico 6: Esfuerzo Cortante vs Esfuerzo Normal - Suelo Natural. ....	58
Gráfico 7: Esfuerzo Cortante vs Esfuerzo Normal – Suelo Mejorado. ....	59
Gráfico 8: Gráfico comparativo de esfuerzo de corte. ....	60
Gráfico 9: De partículas de diámetro menor que el indicado. ....	61

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis de investigación tiene como título “MEJORAMIENTO DE SUELOS CON INYECCIÓN DE CONCRETO LIQUIDO CON FINES DE CIMENTACIÓN EN EDIFICACIONES EN EL SECTOR DE LA APV RAMIRO PRIALE COMITÉ 4 – DISTRITO SANTIAGO - CUSCO”.

El crecimiento demográfico en la ciudad del Cusco está generando una creciente demanda de viviendas, dando lugar al crecimiento urbano de la ciudad del Cusco, en forma longitudinal y vertical, por esta razón se requiere una mayor demanda en la construcción de edificaciones lo que implica conocer el suelo para cimentaciones de estructuras.

En este sentido, existen suelos blandos que plantean problemas como la escasa resistencia al esfuerzo cortante, en cimentaciones de edificaciones. Estos suelos deben ser analizados y tratados convenientemente; caso contrario es de esperarse situaciones no deseadas a corto y largo plazo como son los riesgos de inestabilidad.

El problema que se presenta es la elección de la mejor alternativa de solución para mejorar los suelos y con éstas dar las soluciones óptimas en cualquier proyecto de cimentación en edificaciones.

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 problemas específicos; objetivos 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.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

En la actualidad en nuestro medio local, se da la construcción de edificios de más de 3 pisos a consecuencia de la explosión demográfica en nuestra ciudad del Cusco. El crecimiento urbano que ocupa mayormente el piso del valle con características marcadamente longitudinales, ha generado un crecimiento urbano acelerado y desordenado.

SOTO (2017) explicó que, de acuerdo al análisis de la vulnerabilidad (contra el peligro de sismo) se llega a la conclusión de que la vulnerabilidad es alta, especialmente por la mala calidad de los suelos de fundación en el sector sur de la población, entre Pillao y Kayra (Suelos lacustres y palustres con capacidad admisible entre 0.55 y 0.80 kg/cm<sup>2</sup>); la mala calidad de las construcciones; la abundante cantidad de agua en los suelos; la inadecuada ubicación de muchas construcciones; la poca educación de la población en relación con este problema, etc. Sin embargo la calidad de los suelos mejora hacia sectores de Larapa – Patapata, conformada por gravas de diverso tipo de capacidades admisibles superiores a 1.5 kg/cm<sup>2</sup> (p. 9). Cabe comentar que este estudio da un panorama de los tipos de suelos en la ciudad del Cusco; los suelos malos o blandos a que hace referencia, en la Ingeniería Civil, plantean problemas en las cimentaciones de las edificaciones como es la escasa resistencia al esfuerzo cortante lo que conlleva a riesgos de inestabilidad. En este sentido se trata de evitar estos riesgos a través del mejoramiento de suelos que permita soportar la carga de la edificación a construir.

En este sentido, el problema que se presenta es la elección de las mejores alternativas de mejorar los suelos y con éstas dar las soluciones óptimas en cualquier proyecto de cimentación en edificaciones, uno se ve en la necesidad de elegir la mejor alternativa de solución para el mejoramiento de suelos y escoger el mejor tomando los siguientes aspectos para su selección, seguridad, funcionalidad, habitabilidad y adecuación al entorno, que exista el estabilizante en el lugar, y que no sea agresivo con el medio ambiente.

## **1.2. Formulación del problema de investigación**

### **1.2.1 Problema General:**

¿ En qué medida influye la aplicación de inyección de concreto líquido en el suelo de cimentación del sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco?.

### **1.2.2 Problemas Específicos:**

- ¿De qué manera influye la inyección de concreto líquido, a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco?
- ¿De qué manera influye la inyección de concreto líquido a la capacidad de carga admisible usando el método de Terzaghi y Meyerhof del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco?.

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar en qué medida la aplicación de inyección de concreto líquido mejora el suelo con fines de cimentación en edificaciones en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la influencia de la inyección de concreto líquido sobre la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.
- Determinar la influencia de la inyección de concreto líquido sobre la capacidad de carga admisible usando el método de Terzaghi y Meyerhof del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.

#### **1.4. Justificación e importancia del estudio**

La tesis de investigación se justifica ya que existe la necesidad de evitar los riesgos de inestabilidad del suelo, que conlleva la escasa resistencia al esfuerzo cortante de suelos blandos, que provoca rajaduras en elementos no estructurales como paredes de la edificación y en extremo la ruptura del suelo, fallando por resistencia al esfuerzo cortante es decir que las cargas impuestas (carga viva y carga muerta) son mayores que la capacidad de carga admisible que el suelo pueda soportar en edificaciones mayores a 3 pisos o niveles.

En este sentido la inyección de concreto líquido o grout, surge como alternativa de solución de cimentaciones, esto en beneficio de las partes que se ven involucradas, como son: el cliente, consultor, constructor, medio ambiente). También es importante por:

- Es una alternativa de mejoramiento de suelos nueva en la práctica en nuestra región con fines de cimentación.
- Es generador de nuevas investigaciones, utilizando otros métodos de estabilización como: inyección con grava graduada, vibro sustitución, etc.
- Motiva a la ampliación de la investigación, mediante la realización de ensayos que midan la acción de las inyecciones de concreto líquido a través del tiempo, y obteniendo otros parámetros relacionados con las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los suelos.

#### **Justificación Técnica:**

Es importante hacer mejora de suelos blandos por estar abundando construcciones cada vez más pesadas por el número de niveles (aumento de carga viva y carga muerta), por la necesidad de vivir en un departamento en la ciudad del Cusco y por este hecho existen muchas formas y alternativas de estabilizar el suelo. En esta tesis de investigación se propone mejorar el suelo usando el método de inyección concreto líquido al suelo natural. Este método de estabilización de suelo, quiere demostrar que las mejoras son, reducir los riesgos inestables y aumentar la resistencia al esfuerzo cortante y así contribuir a solucionar los problemas de falla a la resistencia al esfuerzo cortante en nuestro medio.

### **Justificación Social:**

En nuestra región crece la necesidad de vivienda, el problema es que no hay terrenos cerca de lugares que tengan los servicios básicos (agua, luz, desagüe, teléfono) por este motivo existe un crecimiento urbano vertical, es decir, en niveles o pisos, las construcciones antiguas en su mayoría de material adobe, están siendo sustituidas por edificios de 3 a más pisos, lo que resulta un problema especialmente en suelos blandos, este trabajo de investigación se justifica por que busca solucionar el problema de riesgos de inestabilidad y aumentar la capacidad de carga admisible del suelo y beneficiar a todas las personas que quieren una vivienda propia.

### **1.5. Limitaciones de la investigación.**

Para la realización y comprobación de esta investigación de tesis las únicas limitaciones son:

- No se utilizó el equipo pesado especializado para conseguir la inyección de concreto líquido, se hará a escala en miniatura.
- Se adecuó un ensayo de corte directo en campo a través de un equipo de elaboración propia, para poder calcular la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo en estudio.
- En el ensayo de corte directo insitu, no se ha registrado los datos de deformación vertical, solamente los datos de esfuerzo cortante y esfuerzo normal.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio**

##### **2.1.1 En el Mundo:**

**a.1) Héctor Andrés Ovando Pineda** "Inyección De Suelo Por Medio De La Técnica De Jet Grouting". Universidad San Carlos De Guatemala, Guatemala 2011. (Ovando Pineda, 2011)

##### **RESUMEN:**

El Jet Grouting utiliza la energía de la erosión en el terreno para permitir la introducción de la lechada de inyección de concreto, esto hace posible la aplicación de esta técnica en prácticamente cualquier tipo de terreno (desde las arcillas hasta las gravas). Por eso se recomienda este sistema para todo tipo de estabilización de suelos, especialmente para muros de contención o construcción de túneles.

Hacer una buena selección de las mezclas de inyección, porque es uno de los aspectos determinantes en el éxito de una inyección y deben seleccionarse acorde con los fines que se persigan en la zona a tratar.

Toda mezcla debe ser proporcionada y analizada en el laboratorio para que cumpla con parámetros de resistencia, viscosidad, rigidez, etc.

El equipo a utilizar en obra debe ser el adecuado para la comodidad del operador y el número de máquinas a utilizar debe calcularse según el volumen de trabajo a realizar.

##### **CONCLUSIÓN:**

- Las inyecciones, son procedimientos que se aplican al subsuelo, mediante los cuales se introduce en los poros o fisuras del medio a tratar una lechada, que se solidifica adquiriendo una resistencia determinada a través del tiempo.
- Con el resultado de la aplicación del Jet Grouting, se obtiene un mejoramiento de la capacidad del suelo para soportar carga, disminuye o elimina problemas de asentamiento por consolidación del terreno.



- El Jet Grouting puede aplicarse prácticamente a casi todo tipo de suelo, lo que hace este método una solución técnica muy atractiva, además de brindar muchas otras ventajas.

### **2.1.2 En el Perú:**

- b.1) Ing. Salomón Edgard Ampuero Cayo.** “Mejoramiento de Cimentaciones en Suelos y Rocas Aplicando las Técnicas de Grouting” Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Civil 2012.

#### **Resumen.**

Las técnicas de inyecciones de grouting, se conocen desde el año 1802 en Francia, desde entonces se ha recopilado información y se practica esta técnica mejorando cada vez. Los diseños, procedimientos de inyección, están orientados hacia los objetivos básicos, que son el control de agua subterránea y el tratamiento de los macizos rocosos fracturados y suelos sin cohesión.

La aplicación de las técnicas de grouting en rocas; reducen el flujo de agua, refuerzan las rocas y mitigan la formación de sumideros. En suelos; densifica el suelo, reduce el nivel de asentamiento, incrementa la cohesión de los suelos y reduce la permeabilidad.

El mejoramiento de la fundación de una presa, aplicando las técnicas de inyecciones. Requiere de investigación geológica, geotécnica, hidrogeológica, y experiencia del constructor; teniendo éstas investigaciones, se puede diseñar las mezclas para las inyecciones y las cortinas, impermeabilizando la zona y consolidándola.

Las mezclas de lechada generalmente están compuestas de cemento, aditivos y agua. Estas mezclas son inyectadas en suelos y rocas a diferentes presiones, de acuerdo a la calidad del terreno, en presas de agua generalmente se hacen de 2 a 3 cortinas para un buen

sellado y en presas de relave una sola cortina con profundidades que van de 15 a 20 m.

En base a estos principios y teniendo en cuenta que en el Perú, ésta tecnología no se ha desarrollado ampliamente, se elaboró las metodologías investigadas de estas técnicas, con el objeto de proporcionar información orientada a estas técnicas y realizar mayores aplicaciones en nuestro país. Estas investigaciones se desarrollaron en diferentes proyectos como son: cortina de impermeabilización en Presa Huayrondo (Cerro Verde), cortina de impermeabilización en Seepage (Cerro Verde), Presa de relaves (Antamina), Presa de relaves Las Gordas, Las Águilas y Las Hierbas (Cerro Corona). Para las diversas cortinas se elaboran diferentes diseños de mezclas y diseños de cortinas, de acuerdo a las investigaciones geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas, aplicando los diferentes tipos de cementos y aditivos.

## **CONCLUSIONES.**

### **CONCLUSIÓN N° 1**

Las inyecciones de grouting en la cortina de la fundación es un proceso mediante el cual, se sellan las fisuras o porosidades impermeabilizando y consolidando la zona de cortina, para esto, es importante tener claro los conceptos y definiciones, de los procedimientos de diseño, y construcción de cortinas de grouting.

### **CONCLUSIÓN N° 2**

Antes de cualquier diseño de cortina se debe entender el tipo de proyecto en el cuál se realizarán las cortinas de inyección, así mismo, revisar la información existente y elaborar un programa de investigación del sitio, realizando investigaciones geológicas y geotécnicas mediante perforaciones de exploración, con recuperación de testigos y ensayos de pruebas de agua. De igual manera se evaluará la calidad del agua subterránea y la calidad de agua para los diseños de mezclas.

### **CONCLUSIÓN N° 3**

Los ensayos de permeabilidad en las rocas fisuradas, cumplen un papel muy importante, para el diseño de mezclas de la inyección, para lo cual se tiene que tener buen conocimiento de los procedimientos de estos ensayos de Lugeon o Lefranc, las presiones de las pruebas y tramos definidos.

### **CONCLUSIÓN N° 4**

Es muy importante el conocimiento de la calidad de agua subterránea de la zona donde se construirá la cortina de inyecciones, para la elección de los materiales de los diseños de mezclas de la inyección.

### **CONCLUSIÓN N° 5**

El agua que se utilizará, en los diseños de mezclas, debe ser el mismo que se empleara, en las cortinas de inyección, esta agua debe cumplir con los parámetros máximos de calidad de agua para grouting.

### **CONCLUSIÓN N° 6**

Para el diseño de mezclas de grouting, se debe verificar: los equipos de laboratorio, materiales, y el personal técnico que elaborará estas pruebas debe contar, con experiencia; personal capacitado y con experiencia deberá evaluar las propiedades de los materiales, ya sea cemento y aditivos, controlar los ensayos de mezclas en el laboratorio los cuáles son: densidad, fluidez, cohesión, sedimentación, tiempo de fraguado, temperatura y resistencia a la compresión. Luego de tener varios ensayos realizados, se debe realizar la evaluación de estas mezclas, y decidir que mezclas se usarán en la construcción de las cortinas de inyección, de acuerdo al método de inyección elegido.

- b.2) Eleazaro Pozo Vílchez.** “Análisis comparativo entre inyecciones de columnas de grava e inyecciones de Grout sobre una muestra de suelo para el mejoramiento de la resistencia al esfuerzo cortante en el sector alto Qosqo -APV Micaela Pompilla-San Sebastián” Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Andina del Cusco 2015.

**Resumen.**

Para elaborar todo proyecto de obras civiles se requieren estudios de suelos, y estos a su vez requieren analizar los diferentes métodos de mejoría de un suelo específico. Los distintos métodos de mejoramiento de los suelos se utilizan en las diferentes construcciones de obras civiles, entonces el análisis comparativo de los distintos métodos de mejoramiento de un suelo ayuda a un ingeniero civil a elegir el mejor método para llevar al cabo un proceso de construcción civil de la mejor manera.

Analizar en forma más óptima cuál de los métodos conviene utilizar para mejorar un suelo es indispensable y necesario, este análisis se realiza evaluando tres principales características para las construcciones de cualquier obra civil, las cuales son: la economía, la seguridad y el confort.

El sector Alto Qosqo se encuentra actualmente en crecimiento puesto que tiene lugares arqueológicos, turísticos, etc. además los pobladores están construyendo sus casas sin prever el análisis de los suelos, las carreteras también son otro aspecto que tienen problemas por esta parte de la ciudad; las peores épocas del año en que este sector tiene problemas con los suelos son en las épocas de invierno (Noviembre-Abril) cuando hay presencia de lluvias.

Puesto que la población de Alto Qosqo está en crecimiento con tasa inter-censal 6.21% de acuerdo al último censo del 2007, en pocos años entrará en saturación y no habrá otra posibilidad que crecer hacia arriba, por este hecho no habrá otra alternativa que construir casas de más de dos pisos, y para esto se requiere hacer un serio estudio de suelos y en este trabajo se presentan dos métodos de mejoramiento de los suelos, que además ayudará a disminuir el nivel de incertidumbre que se tiene al iniciar la construcción de una obra civil, al reconocer cual método se va a elegir.

## **CONCLUSIONES.**

### **CONCLUSIÓN N° 1**

La Resistencia al esfuerzo cortante con el método inyecciones de Grout es mayor porque tiene resistencia de 1.63 kg/cm<sup>2</sup> respecto al método inyecciones de columnas de grava que tiene 1.07 kg/cm<sup>2</sup>, y respecto al suelo natural que tiene 0.53 kg/cm<sup>2</sup> para un esfuerzo normal de 1.00 kg/cm<sup>2</sup> y cumple con la hipótesis general planteada: la resistencia al esfuerzo cortante con el método de inyecciones de Grout es mayor que la resistencia al esfuerzo cortante con el método de inyecciones de columnas de grava sobre una muestra de suelo en el sector Alto Qosqo - APV Micaela Pompilla – San Sebastián.

### **CONCLUSIÓN N° 2**

Se concluye que la resistencia al esfuerzo cortante con el método de inyecciones de Grout tiene mayor ventaja y supera en 310.50%; y con el método de inyecciones de columnas de grava supera en 204.10%, respecto al suelo natural que tiene 100% y cumple con la hipótesis planteada: “Mediante resultados del ensayo de Corte Directo, se obtiene que las inyecciones de Grout tiene mayor resistencia al esfuerzo cortante que las inyecciones de columnas de grava sobre una muestra de suelo del sector Alto Qosqo - APV Micaela Pompilla – San Sebastián.”

### **CONCLUSIÓN N° 3**

La capacidad portante con el método de inyecciones de Grout es mayor en 3009 % que con el método de inyecciones de columnas de grava que tiene 681 % respecto al suelo natural (100%) y cumple con la hipótesis general planteada: Por medio de las teorías de Capacidad de Carga se estima que el suelo con las inyecciones de Grout tienen mayor Capacidad Portante que con inyecciones de columnas de grava en el suelo del sector Alto Qosqo - APV Micaela Pompilla – San Sebastián.

#### **CONCLUSIÓN N° 4**

Con el método de inyecciones de Grout se tienen mayores ventajas ya que tienen mayor resistencia al esfuerzo cortante y mayor capacidad portante, que cumple con la sub – hipótesis planteada. El suelo con las inyecciones de Grout son más favorables cualitativamente que con las inyecciones de columnas de grava en el análisis de suelo del sector Alto Qosqo - APV Micaela Pompilla – San Sebastián.

#### **CONCLUSIÓN N° 5**

Se concluye que los costos en cuanto a los dos mejoramientos de suelos del sector Alto Qosqo, es más económica el método de inyecciones de columnas de grava y no cumple con la Sub-Hipótesis planteada como: En el sector Alto Qosqo - APV Micaela Pompilla – San Sebastián se establece que el método de inyecciones de Grout es más económica que el método de inyecciones de columnas de grava.

Puesto que, para una edificación por metro cuadrado de área construida, existe una diferencia de S/.29.70 por metro cubico de concreto.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Análisis Granulométrico**

(M.Das, 1999) Mencionó que; en cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían considerablemente. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su *distribución granulométrica*.

#### **Análisis Granulométrico por Mallas**

Un análisis granulométrico por mallas se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de mallas cada vez más pequeñas y con una charola en el fondo. La cantidad de suelo retenido en cada malla se mide y el por ciento acumulado de suelo que pasa a través de cada malla es determinado. Este porcentaje es generalmente denominado el “porcentaje que pasa”. La tabla N° 1 Contiene una lista de los números de mallas usadas en Estados Unidos y

el correspondiente tamaño de sus aberturas. Estas mallas se usan comúnmente para el análisis de suelos con fines de clasificación.

El porcentaje que pasa por cada malla, determinado por un análisis granulométrico por mallas, se grafica sobre papel semilogarítmico, como se muestra en la figura N° 1 se nota que el diámetro del grano D se grafica sobre la *escala logarítmica* y el porcentaje que pasa se grafica sobre la *escala aritmética*.

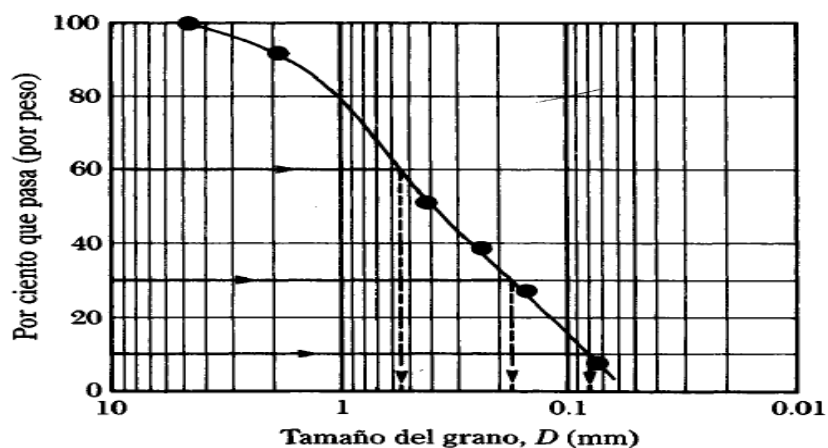
**Tabla 1: Tamaños de cribas U.S. Standard**

Criba nro.	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: (M.Das, 1999).

Figura N° 1 Granulometría de un suelo de grano grueso obtenida por un análisis granulométrico por mallas.

Figura N° 1: Tamaño del Grano



Fuente: (M.Das, 1999).

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

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

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

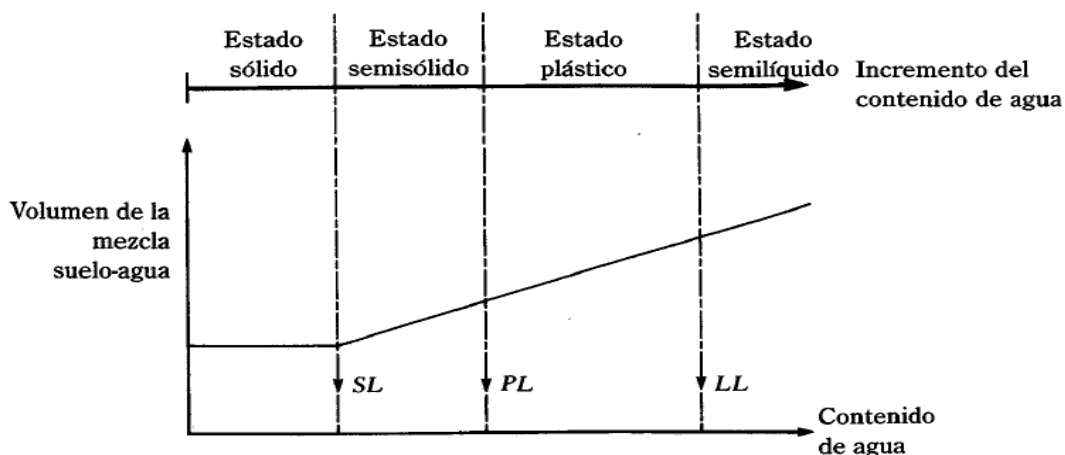
Donde  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$  son los diámetros correspondientes al porcentaje que pasa 10, 30 y 60%, respectivamente. Los parámetros  $C_u$  y  $C_z$  se usan en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

### 2.2.2. Límites de ATTERBERG

(M.Das, 1999) Mencionó que; Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un *semilíquido*. Si el suelo es secado gradualmente, se comportará como un material *plástico*, *semisólido* o *sólido*, dependiendo de su contenido de agua. Éste, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como *límite líquido* (LL). Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se definen como el *límite plástico* (LP), y el *límite de contracción* (SL), respectivamente. Estos se denominan límites de Atterberg Figura N° 2.



**Figura N° 2: Definición de los límites de Atterberg.**



Fuente: (M.Das, 1999).

- El límite líquido de un suelo es determinado por medio de la copa de Casagrande (Designación de Prueba D-4318 de la ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de ½ in (12.7 mm) mediante 25 golpes.
- El límite plástico se define como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 1/8 pulg. (3.18 mm) de diámetro (Designación de Prueba D-4318 de la ASTM).
- El límite de contracción se define como contenido de agua con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con la pérdida de agua (Designación de Prueba D-427 de la ASTM).

La diferencia entre el límite líquido y el plástico de un suelo se define como índice de plasticidad, o:

$$PI = LL - PL$$

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
Illita	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. Clasificación de Suelo

(M.Das, 1999) Mencionó que; los sistemas de clasificación de suelos dividen a estos en grupos y sub grupos en base a propiedades ingenieriles comunes tales como la *distribución granulométrica*, el *límite líquido* y el *límite plástico*. Los dos sistemas principales de clasificación actualmente en uso son (1) Sistema AASHTO (American Association of State High-way and Transportation Officials) y (2) el Unified Soil Classification System (también ASTM). El sistema de clasificación AASHTO se usa principalmente para clasificación de las capas de carreteras. No se usa en la construcción de cimentaciones.

### 2.2.4. Resistencia al esfuerzo cortante

La resistencia al corte, o resistencia al esfuerzo cortante de un suelo como el valor máximo, o límite, de la resistencia al corte que se puede inducir dentro de su masa antes que ceda. El valor límite del esfuerzo cortante está influido tanto por la magnitud como por la velocidad de deformación, así como por la historia de esfuerzos del suelo (BASURTO RAVICHAGUA, 2010).

(Braja, Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2000) Mencionó que; 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.

La resistencia al cizallamiento es, en general, una función de:

- La cohesión entre las partículas del suelo.
- La resistencia a la fricción entre las partículas sólidas.
- El contenido de humedad y la presión del agua intersticial en la masa del suelo.

### **Criterio de Falla de MOHR - COULOMB**

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:

$\tau_f$  = Esfuerzo cortante en el plano de falla.

$\sigma$  = 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.

$\phi$  = 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,  $\sigma'$ , los realizan los sólidos del suelo. Por lo tanto, para aplicar la ecuación a la mecánica de suelos, es necesario reescribirla como.

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

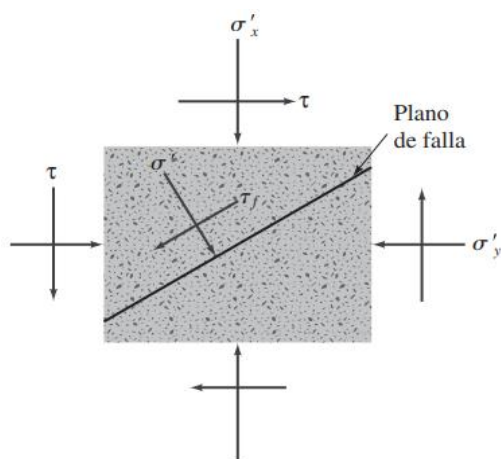
Dónde:

$c'$  = Esfuerzo de cohesión efectivo.

$\phi'$  = Ángulo de fricción efectivo.

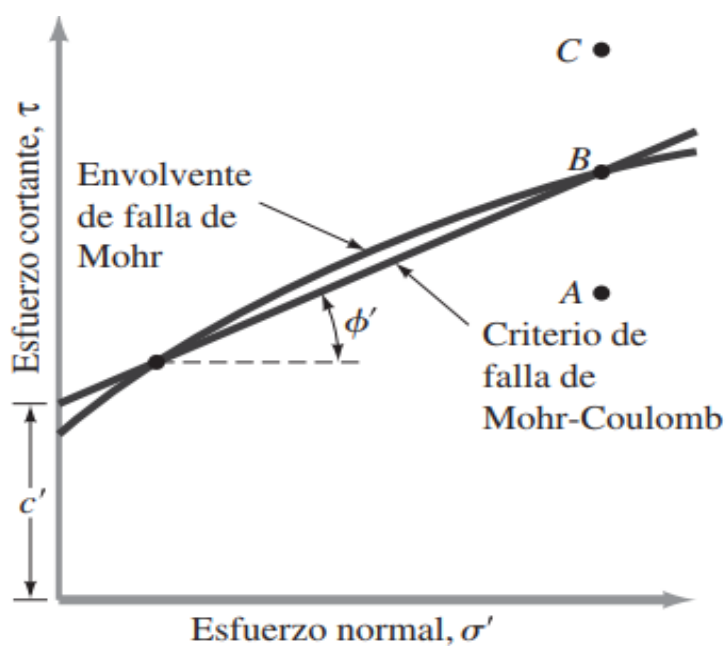
La importancia de la envolvente de falla se puede explicar de la siguiente manera: si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa de suelo (figura 4) son tales que se grafican como el punto A en la figura 5, entonces la falla de cizalla o corte se produce a lo largo de ese plano. 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 N° 3: Envolvente de falla de Mohr**



Fuente: (Braja, 2000).

**Figura N° 4: Criterio de rotura de Mohr - Coulomb**



Fuente: (Braja, 2000).

**Tabla 3: Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión.**

Estado de Empaquetamiento	Densidad relativa (%)	Ángulo de fricción $\phi'$ (grados)
Muy Suelto	< 20	< 30
Suelto	20-40	30-35
Compacto	40-60	35-40
Denso	60-80	40-45
Muy denso	> 80	>45

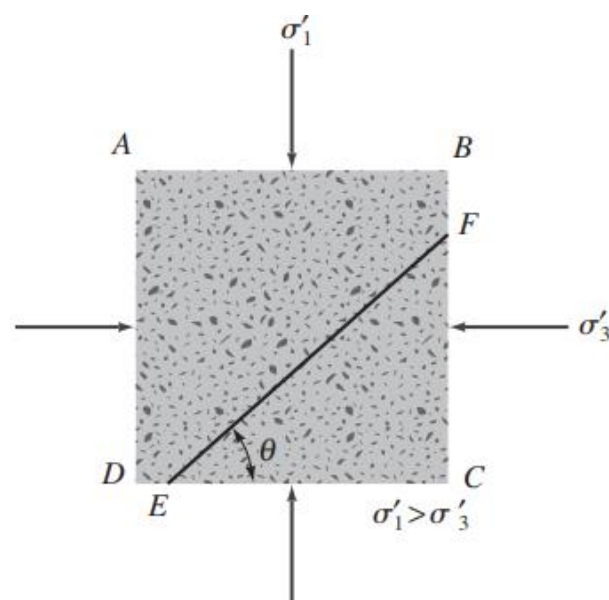
Fuente: (Braja, 2000).

### 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  $\sigma'_1$  y  $\sigma'_3$ , son, respectivamente, los esfuerzos eficaces principales mayor y menor. El plano de falla EF forma un ángulo  $\theta$  con el plano principal mayor. Para determinar el ángulo  $\theta$  y la relación entre  $\sigma'_1$  y  $\sigma'_3$  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

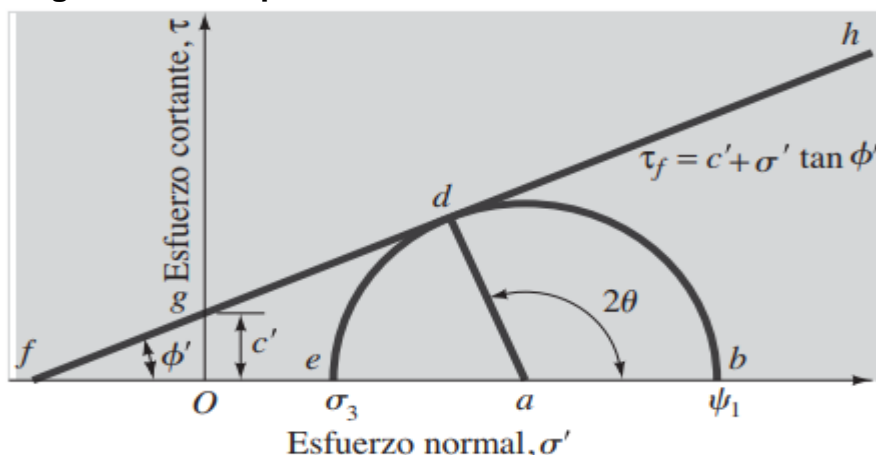
$$\theta = 45 + \phi' / 2$$

**Figura N° 5: Inclinación del plano de falla respecto al plano principal mayor**



Fuente: (Braja, 2000).

**Figura N° 6: 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.

### 2.2.5. Cimentaciones Superficiales

#### Definición de Cimentaciones Superficiales:

(E-050, 1995) Mencionó que; son aquellas en las cuales la relación profundidad / ancho ( $D_f / B$ ) es menor o igual a cinco 5, siendo  $D_f$  la profundidad de la cimentación y  $B$  el ancho o diámetro de la misma. Son cimentaciones superficiales las zapatas aisladas, conectadas y combinadas; las cimentaciones continuas (cimientos corridos) y las plateas de cimentación.

#### Profundidad de Cimentación:

La profundidad de cimentación de zapatas y cimientos corridos, es la distancia desde el nivel de la superficie del terreno a la base de la cimentación, excepto en el caso de edificaciones con sótano, en que la profundidad de cimentación estará referida al nivel del piso terminado del sótano. En el caso de plateas o losas, la profundidad de cimentación será la distancia del fondo de la losa a la superficie del terreno natural.

### 2.2.6. Capacidad de Carga:

(Medrano, 2008) Mencionó que; La capacidad de carga de un suelo, se puede definir como el estado límite de falla de un suelo en una cimentación.

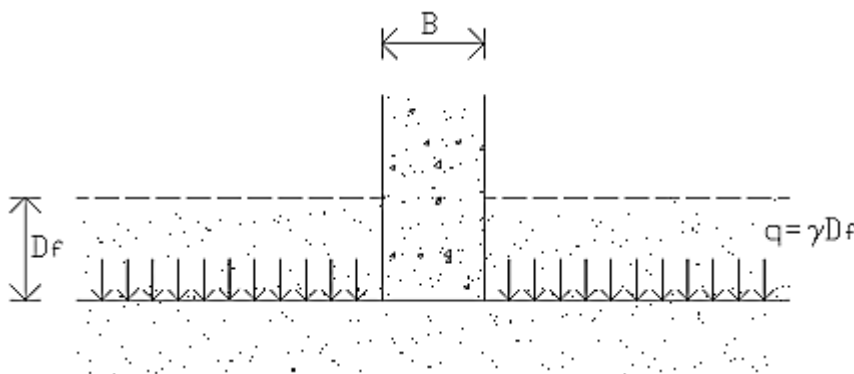
El estado límite de falla se entiende, por la situación que corresponde al agotamiento de la capacidad de carga del terreno de cimentación o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente la resistencia del suelo ante nuevas aplicaciones de carga.

Toda estructura y cada una de sus partes deben diseñarse para cumplir con la seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que puedan presentarse durante su vida esperada. En mecánicas de suelos se define este estado límite de falla del suelo, como la capacidad de carga última de un suelo.

#### Teoría de la Capacidad de Carga de TERZAGHI

La Teoría de Terzaghi para determinar la capacidad de carga de un suelo cubre el caso más general, pues se aplica a suelos con cohesión y/o fricción, y se considera la teoría más usada para determinar la capacidad de carga en cimientos poco profundos (aquellos en que el ancho del cimiento  $B$ , es igual o mayor a la distancia vertical entre el nivel del terreno y la base del cimiento,  $D_f$ ).

**Figura N° 7: Modelo de cimentación poco profunda de ancho  $b$**



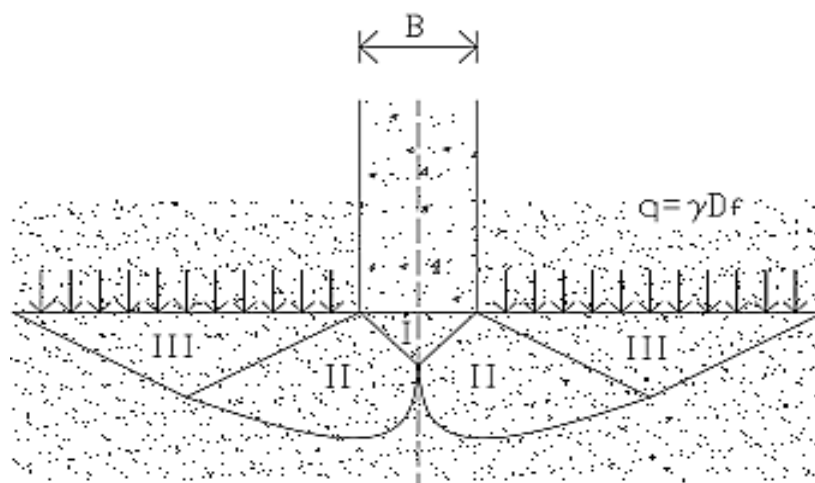
Fuente: (Medrano, 2008).



Terzaghi en su teoría desprecia la resistencia al esfuerzo cortante arriba del nivel de desplante del cimiento. Esta Teoría establece que una zapata continua descansa sobre una superficie de suelo, el terreno falla a través de tres zonas. Debido a la fricción y cohesión entre el suelo y la base de la cimentación, la zona I actúa como una cuña que se introduce en el suelo como si fuera parte de la zapata formando el los lados del triángulo ángulos  $(45^\circ + \phi/2)$ ; las zonas II son de deformación tangencial radial y las curvas de falla son espirales logarítmicas, cuyos centros se localizan en las aristas de la base de la cimentación; Las zonas III son zonas de estado plástico pasivo de Rankine y sus fronteras forman un ángulo de  $(45^\circ - \phi/2)$  con la horizontal.

El mecanismo de falla se indica en la siguiente figura para un cimiento poco profundo.

**Figura N° 8: Modelo de falla de cimentación infinita, poco profunda de ancho B.**



Fuente: (Medrano, 2008).

Por lo anterior se deduce que la capacidad de carga de un suelo, depende de:

- Resistencia al esfuerzo cortante (cohesión y/o fricción).
- Ancho de la cimentación.
- Peso volumétrico del suelo y del relleno arriba del nivel de desplante.
- Profundidad del cimiento.

Por lo que Terzaghi propone la siguiente fórmula para determinar la capacidad de carga última de un cimiento continuo, poco profundo:

$$q_u = \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma + c N_c + \gamma q D_f N_q$$

En donde se suma la capacidad de carga con la que contribuyen, la parte friccionante, la parte cohesiva y la parte relativa a la profundidad de desplante.

B = Ancho de la cimentación.

$\gamma$  = Peso volumétrico del suelo debajo de la cimentación.

$\emptyset$  = Ángulo de fricción interna del suelo debajo de la cimentación.

C = Cohesión.

$\gamma q$  = Peso volumétrico del suelo arriba del nivel de desplante de la Cimentación'.

Df = Profundidad de desplante.

$N_\gamma$ ,  $N_c$  y  $N_q$  = Factores de carga en función del ángulo de fricción interna del suelos debajo del desplante de la cimentación.

Los factores de carga los determinan los diferentes códigos de construcción según los tipos de suelos. Se pueden determinar a través de las siguientes formulas.

$$N_q = e^{\pi \tan \emptyset} \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\emptyset}{2} \right)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \emptyset$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \emptyset$$

A continuación se enlistan los valores de los factores de carga:

**Tabla 4: Valores de Factores de Carga.**

$\emptyset$	$N_\gamma$	$N_c$	$N_q$
-------------	------------	-------	-------

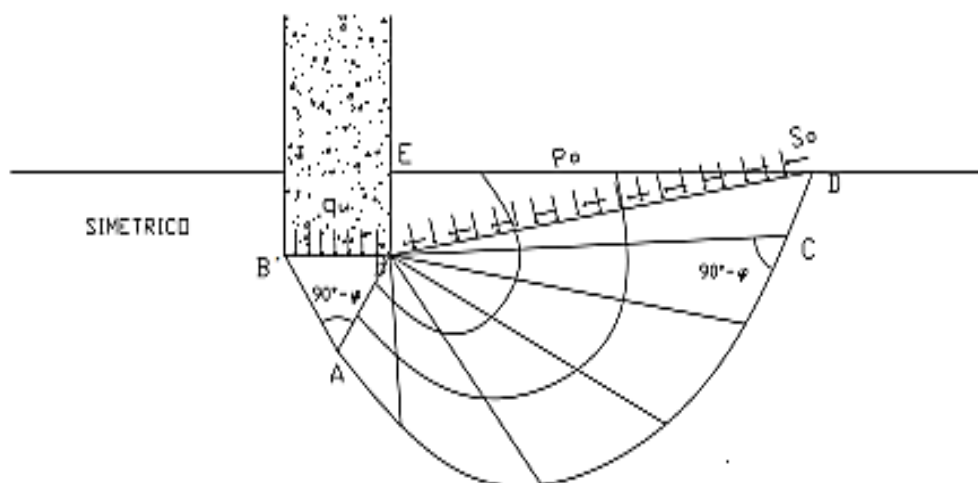
0	0	5.14	1
1	0.07	5.38	1.09
2	0.15	5.63	1.2
3	0.24	5.9	1.31
4	0.34	6.19	1.43
5	0.45	6.49	1.57
6	0.57	6.81	1.72
7	0.71	7.16	1.88
8	0.86	7.53	2.06
9	1.03	7.92	2.25
10	1.22	8.34	2.47
11	1.44	8.8	2.71
12	1.69	9.28	2.97
13	1.97	9.81	3.26
14	2.29	10.37	3.59
15	2.65	10.98	3.94
16	3.06	11.63	4.34
17	3.53	12.34	4.77
18	4.07	13.1	5.26
19	4.68	13.93	5.8
20	5.39	14.83	6.4

Fuente: (Medrano, 2008).

### **Teoría de la Capacidad de Carga de MEYERHOF**

Meyerhof en su teoría de capacidad de carga toma en cuenta los esfuerzos cortantes desarrollados en el suelo arriba del nivel de desplante del cimiento, considerando un mecanismo de falla de la siguiente forma:

**Figura N° 9: Primer modelo de falla de cimentación infinita.**



Fuente: (Medrano, 2008).

El mecanismo de falla de una cimentación a poca profundidad está dividido en tres cuñas, la primera  $ABB'$  es una cuña de esfuerzos uniformes que se puede considerar en estado activo (Rankine); la segunda  $ABC$  es una cuña limitada por una curva de espiral logarítmica y es una zona de esfuerzo cortante radial; la tercera  $BCDE$  es una cuña que se considera en estado pasivo (Rankine). La línea  $BD$  es llamada Línea de Meyerhof y se considera que en esta superficie actúan los esfuerzos normales  $P_o$  y los tangenciales  $S_o$  producto de la cuña  $BDE$ .

Llegando Meyerhof a la siguiente fórmula para determinar la capacidad de carga del suelo en un cimiento largo (corrido):

$$q_u = \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma + c N_c + P_o N_q$$

Considerando los mismos factores de carga indicados en la teoría de Terzagui por Prandtl  $N_c$  y  $N_q$ , como se muestra en las ecuaciones:

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

A continuación se enlistan los valores de los factores de carga de Meyerhof para cimientos superficiales (poco profundos,  $D < B$ ) largos (corridos)

A continuación se en listan los valores de los factores de carga:

**Tabla 5: Valores de Factores de Carga de Meyerhof.**

$\emptyset$	$N_y$	$N_c$	$N_q$
0	0	5.14	1.00
1	0	5.38	1.09
2	0.01	5.63	1.20
3	0.02	5.90	1.31
4	0.04	6.19	1.43
5	0.07	6.49	1.57
6	0.11	6.81	1.72
7	0.15	7.16	1.88
8	0.21	7.63	2.06
9	0.28	7.92	2.25
10	0.37	8.34	2.47
11	0.47	8.80	2.71

Fuente: (Medrano, 2008).

### 2.2.7. Mejoramiento de Suelos

El uso de los suelos mejorados es importante en el diseño y construcción de cimentaciones; el suelo mejorado es un componente integral del terreno que comprende en un suelo con mayor resistencia de cargas. Es así que se tienen diversos métodos y estudios de mejoramiento para diferentes tipos de suelos y aplicadas a distintas ramas y construcciones de la ingeniería civil ( Marín Villalobos, Abril 2015)

### 2.2.8. La inyección como procedimiento

( Marín Villalobos, Abril 2015) Mencionó que; la inyección de suelos es un método de mejoramiento del terreno en el que introduce en el campo un material que, dependiendo del tipo de inyección, rellena vacíos, desplaza el terreno o crea mediante su mezcla con el suelo existente un material más resistente que el que se tiene en el sitio. El material se introduce a presión y caudales según sea el caso. El mejoramiento

consiste en incrementar las características resistentes de la zona tratada, así como reducir su deformabilidad y permeabilidad.

La idea de inyectar terrenos fue del Francés Charles Berigny hace más de 200 años, quien empleó una suspensión de agua y cemento con puzolana. El objetivo fue rellenar las cavidades existentes en los cimientos de una esclusa de los canales de navegación de París al Havre, afectados por los asentamientos. Además, sellar y estabilizar el depósito aluvial de la zona.

A partir de esa fecha, el método se empezó a desarrollar, su aplicabilidad salió de las fronteras de Europa y llegó a tierra americana. Esta inyección fue un gran aporte para la ingeniería civil, la que pone a prueba el método utilizando en la cimentación de obras de gran envergadura como son las presas.

(Ovando Pineda, 2011) Mencionó que; Las inyecciones son procedimientos que se aplican al subsuelo, mediante los cuales se introduce en los poros o fisuras del medio a tratar un producto líquido (mortero o lechada), que se solidifica adquiriendo una resistencia determinada a través del tiempo.

El objetivo principal de este tratamiento es el de impermeabilizar o fortificar los macizos porosos, rocas fisuradas o fundaciones defectuosas, incrementando de este modo las propiedades mecánicas de los mismos.

### **Tipos de Inyección**

- Inyección por reemplazo (Jet Grouting).
- Inyección por impregnación y fractura (Fracture Grouting).
- Inyección por consolidación (Compaction Grouting).
- Inyección de lechadas de cemento-bentonita y/o aditivos plastificantes y aceleradores de fraguado. (Chemical / Cement Grouting)

### **Funciones de las Lechadas de Cemento.**

(Ampuero Cayo, 2012) Mencionó que; la lechada puede realizar diferentes funciones en el suelo. El más común es el control de los asentamientos, reducir la permeabilidad e incrementar la capacidad de cargas.

Para lograr estos objetivos la lechada puede aumentar la resistencia del suelo y reforzar la masa de suelo, o la forma de elementos estructurales que directamente llevan la carga. El enfoque de análisis y diseño para cada una de estas funciones es diferente.

1. Una de las funciones es adicionar cohesión al material y rellenar los espacios vacíos de la masa.
2. Impermeabilizar el volumen de suelo debajo o alrededor de una estructura.
3. Densificar los suelos de fundación para aumentar la resistencia a la rotura y reducir la compresibilidad.
4. Rellenar grietas para prevenir asentamientos excesivos.
5. Apoyo de fundaciones.
6. Control del cambio de volumen de suelos expansivos.

### ***Elección del tipo de inyección***

Los criterios que deben seguirse en la elección de los constituyentes y la composición de la mezcla, a fin de conseguir una cierta resistencia y permeabilización, son este tipo de tratamientos diferentes a los que deben cumplirse en las inyecciones convencionales.

Se debe tener en cuenta que el detrito procedente del proceso de corte no sale al exterior, sino queda dentro de la columna, y se mezcla con la lechada que está siendo inyectada. Normalmente la lechada está compuesta de cemento y agua en una relación de cemento / agua entre 0.5 a 1 con la posibilidad de adicionar bentonita u otros componentes.

El producto obtenido dependerá sobre todo, de dos factores de la naturaleza del terreno y de las características de la lechada inyectada, pero su composición puede ser un problema en función de la

permeabilidad del terreno y según se esté trabajando por debajo del nivel freático. Así, en un terreno saturado y poco permeable debido a la baja compresibilidad del agua y a la saturación, la difusión del agua a otras zonas se realiza de forma lenta, lo cual hace que se produzca elevadas presiones, que harían que por el punto más débil, como es el contacto entre varillaje y terreno, pudiera reventar el circuito siendo expulsado el material por la boca del taladro.

Cuando se trabaja en terrenos permeables o por encima del nivel freático, no existe rebose de material, aunque también pueden aparecer problemas por no rellenar los huecos creados al no existir una adecuación entre el caudal inyectado y la porosidad del terreno tratado por unidad de tiempo, por lo que la lechada podrá circular libremente por los poros.

Es por lo dicho anteriormente, que aunque en teoría no debería ser necesario inyectar más lechada de lo necesario para colmatar el hueco, el hueco de ver salir algo de fluido es un buen síntoma de que los huecos del terreno estén rellenos.

#### **2.2.9. Resistencia del concreto líquido al corte**

(Ovando Pineda, 2011) Mencionó que; todos los tipos de Grout, presentan baja resistencia al corte por sí solos. Sin embargo, al combinarlos con los granos de suelo es posible incrementar la resistencia al corte de un suelo estabilizado.

Esto se debe a que una vez que el Grout comienza a solidificarse, se generan fuerzas capilares a nivel de los granos, densificando el suelo y disminuyendo la cantidad de vacíos.

Es por este motivo que los suelos bien graduados, tienen mayor resistencia al corte que los suelos pobremente graduados. Por lo que las inyecciones se utilizan principalmente en suelos granulares, ya que el material de relleno agrega cohesión al suelo. Esto hace que la resistencia al corte de un suelo estabilizado aumente y a la vez se gane impermeabilidad.



### **2.2.10. Diseño de mezclas para inyecciones en laboratorio**

(Ampuero Cayo, 2012) Mencionó que; a la hora de poner en práctica, la inyección, se han de tener bien presente algunos parámetros, los más importantes son los siguientes:

#### ***a) Relación cemento/agua y su efecto sobre la durabilidad***

El agua es necesaria para dar movilidad al fluido inyectado, pero una vez que el transporte ha finalizado; puede llegar a hacer una gran molestia. Normalmente el agua que se necesita para el transporte, excede a la cantidad que se precisa para la acción química y para la hidratación, es por esto que se debe usar la mínima cantidad de agua para lograr la penetración, si se usa demasiada la estructura del material inyectado, puede ser débil y carecer de durabilidad, pudiendo ser atacado por el agua subterránea.

Existen diversas opiniones en relación a la cantidad de agua, aunque parece ser que las teorías tan divergentes en los primeros años, están convergiendo hacia ideas comunes. Se puede decir que, una relación cemento/agua de 5:1, no es nada recomendable debido a su escasa durabilidad, mientras que las inyecciones con relaciones 3:1, son consideradas por muchos como las más finas.

Es por esto que, en la elección de la relación agua/cemento, se recomienda en función de la práctica, empezando por una mezcla más fina que el tamaño medio de las fracturas y aumentando la relación durante el transcurso de la inyección.

#### ***b) Materiales***

##### **Agua**

El agua debe ser libre de sulfatos, materiales orgánicos u otros materiales sólidos, el pH debe estar en el rango de  $7 \pm 1$ .

Cemento Portland, son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, éstos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. En el curso de esta

reacción denominada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una Mezcla (Lechada).

### **c) Aditivos**

Son materiales que se adicionan al agua durante la mezcla con el cemento, cambiando sus propiedades químicas y físicas de la lechada, su estado es líquido o plástico.

### **d) Resultados de ensayos a compresión**

**Tabla 6: Resultados de ensayos a compresión**

<b>CODIGO</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
0.7:1 + 0.5 Euco 37	28	22.4	3380	150.89	117.63
0.7:1 + 0.5 Euco 37	28	22.4	1890	84.38	
1:1	28	22.15	1500	67.72	56.72
1:1	28	22.31	1020	45.72	
1:1 + 1%	28	21.91	1170	53.4	47.77
1:1 + 1%	28	22.31	940	42.13	
0.7:1	28	22.08	1660	75.18	73.4
0.7:1	28	22.06	1580	71.62	

Fuente: (Ampuero Cayo, 2012).

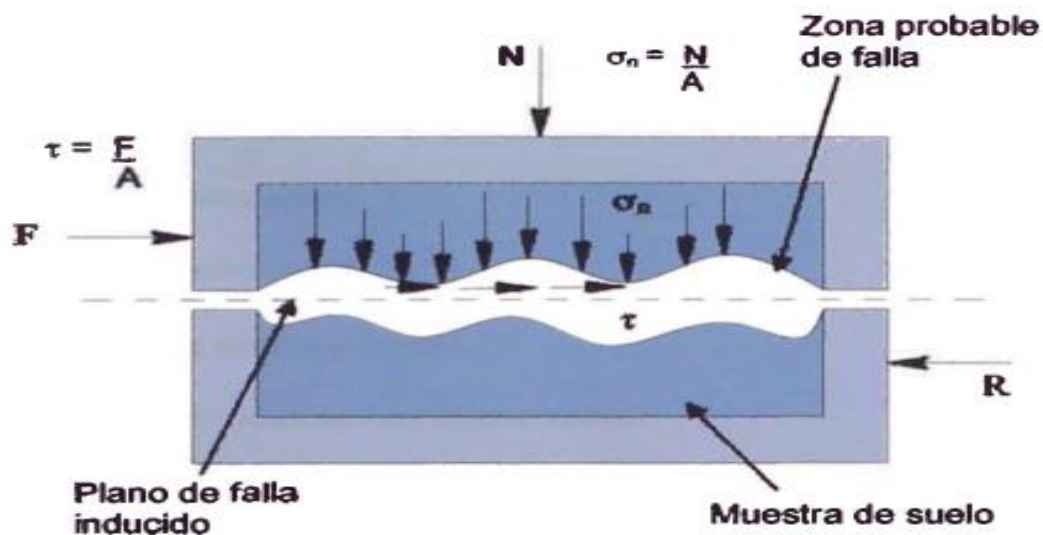
De los ensayos a compresión se determinó efectuar la prueba experimentalmente con la dosificación A:C 0.7:1

#### **2.2.11. Ensayo de Corte Directo Estándar**

El aparato del ensayo de corte directo estándar se representa esquemáticamente en la figura siguiente. Se trata de una caja rígida de acero de sección circular o cuadrada, que se encuentra dividida en dos mitades y en cuyo interior se coloca la muestra de suelo. Encime de ésta, se coloca una placa rígida sobre la que se puede aplicar una carga vertical "N". La aplicación de la fuerza cortante en el suelo se logra trasladando horizontalmente la parte inferior de la caja de corte mientras que se impide el movimiento totalmente de la zona inferior. Una prueba completa sobre un determinado suelo consiste en ensayar tres muestras

idénticas del mismo material bajo tres cargas axiales distintas ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ) (BASURTO RAVICHAGUA, 2010).

**Figura N° 10: Esquema del equipo de corte directo convencional**



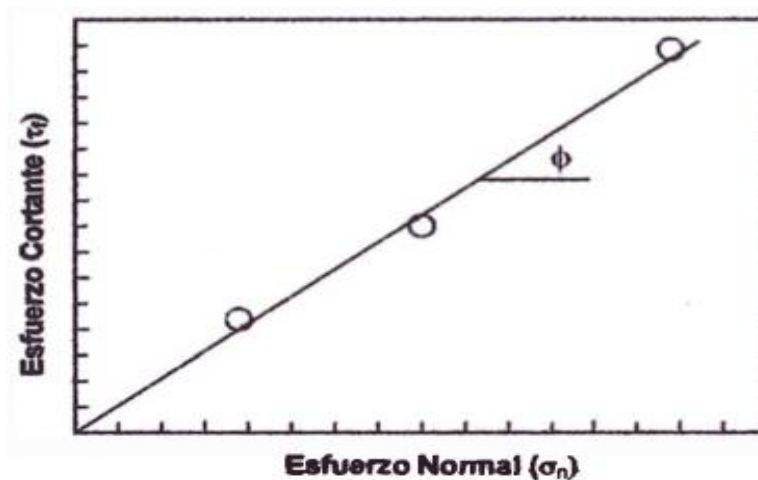
Fuente: (BASURTO RAVICHAGUA, 2010).

### **Determinación de los Parámetros de Resistencia**

Ejecutando como mínimo tres pruebas con el mismo material a diferentes valores de la presión normal, pueden trazarse puntos en la gráfica  $\sigma$  vs  $\tau$  con los valores de los esfuerzos normales " $\sigma$ " y los valores máximos del esfuerzo cortante " $\tau$ ", obtenidos de cada una de las pruebas. Uniendo los puntos así obtenidos se tendrá la envolvente de falla del material. Del gráfico obtenido, se determina los parámetros de resistencia  $c$  y  $\phi$ . Según los requerimientos del proyecto, estos parámetros pueden corresponder a la resistencia máxima o residual.

En la figura siguiente, se muestra una representación gráfica de la envolvente de falla (BASURTO RAVICHAGUA, 2010).

**Figura N° 11: Representación gráfica del esfuerzo de corte vs esfuerzo normal.**



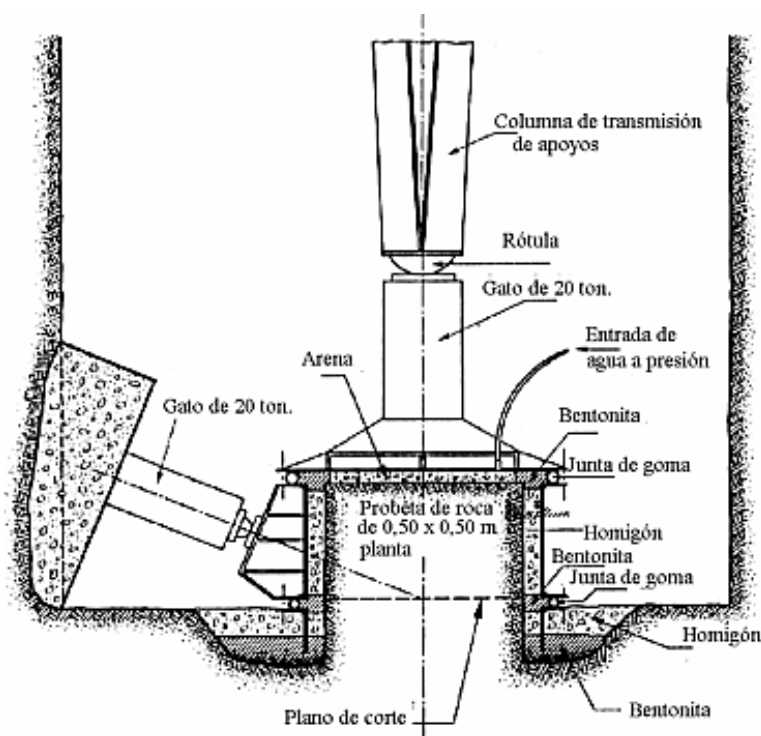
Fuente: (BASURTO RAVICHAGUA, 2010)

### 2.2.12. Ensayo de Corte Directo Insitu

(de Justo Alpañes & Jiménez Salas, 1981) explicó que, estos ensayos son análogos a los de corte directo en laboratorio y su aplicación hoy se extiende tanto a suelos como a rocas. Básicamente consisten en tallar bloques generalmente dentro de calicatas de reconocimiento, en su base o paredes, lo que induce el plano de falla del bloque. Este tipo de ensayos es de interés en todos aquellos casos en que la toma de muestras o el tallado de éstas sea difícil, como sucede en suelos con proporción importante de piedras, o en suelos residuales, en los que existen con frecuencia trozos de roca semi-descompuesta.

El bloque se rodea con un marco metálico, el cual se une al bloque con mortero de cemento. El gato hidráulico que aplicará la fuerza horizontal, por lo general, se ancla a las paredes del pozo con hormigón. La presión vertical también es aplicada con un gato hidráulico.

**Figura N° 12: *Ensayo Insitu.***



Fuente: (de Justo Alpañes & Jiménez Salas, 1981).

Se deben medir los movimientos de las cuatro esquinas de la cara superior del bloque en dirección vertical como horizontal. Las cargas generalmente se miden con un anillo dinamométrico o mediante células de presión y se aplican en forma similar al ensayo de corte directo convencional, es decir, primero la fuerza vertical de confinamiento y luego la fuerza horizontal, que provoca el esfuerzo cortante.

Las dimensiones del bloque oscilan entre 40\*40 cm. y 100\*100 cm., aunque se han ensayado muestras de hasta 400\*400 cm. Una variante del ensayo de corte típico, es el ensayo con saturación previa empleado usualmente en obras hidráulicas. Para esto, se aplica agua a presión que disuelve el aire incluido en el bloque.

En arcillas fisuradas se realiza ensayo de corte in situ sin drenaje con el objeto de ensayar bloques de tamaño adecuado, aplicando una carga normal a la muestra (aunque esté saturada) para cerrar las fisuras. En este tipo de suelos se ha visto que la resistencia en planos horizontales

es menor a la obtenida en muestras de menor tamaño en laboratorio, siendo la diferencia de tamaño la causa principal, lo que se interpreta como que las muestras pequeñas vienen de trozos intactos no afectados por las fisuras, por lo tanto presentan una mayor resistencia.

### 2.3. Definición de términos básicos

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

1. **Muestra:** Cantidad de material necesario para realizar todas las pruebas de laboratorio y aún repetir las incorrectas o aquellas cuyos resultados son dudosos.
2. **Muestras alteradas:** Llamadas también “perturbadas”, 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 (material de construcción).
3. **Muestras inalteradas:** Llamadas también “no perturbadas”, las cuales 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.
4. **Muestreo:** Es la actividad de campo, que consiste en la obtención de una o varias porciones de los materiales, con los cuales se pretende construir una estructura (pavimento), procediendo de tal manera que las características de la o las porciones obtenidas, permitan hacer una evaluación lo más real posible, del conjunto que representan.
5. **Peso específico:** Es la relación entre el peso, al aire, de las partículas minerales y el peso, al aire, del agua destilada a un mismo volumen.
6. **Peso volumétrico seco:** Es la relación entre el peso de los sólidos y el volumen total del suelo. Se usa en cuestiones de compactación.
7. **Propiedades mecánicas:** Evaluadas mediante parámetros cuantitativos que sirven en el cálculo de estabilidades de las fundaciones o estructuras de tierra.

8. **Cohesión:** Propiedad del concreto que describe la facilidad o dificultad que tiene la pasta de cemento y la mezcla con los agregados, de atraerse para mantenerse como suspensión en el concreto, evitando la disgregación de los materiales. Esto debido al exceso de finos en la arena. A la fuerza de cohesión que es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia.
9. **Esfuerzo cortante:** El esfuerzo cortante, de corte, de cizalla o de cortadura es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.
10. **Manómetro:** Es un instrumento utilizado para la medición de la presión.
11. **Estabilización:** Mezcla de dos o más materiales, para que esta presente las características deseables. El suelo se estabiliza cuando en la mezcla de los materiales interviene el agua.
12. **Capacidad de carga:** Presión requerida para producir la falla de la cimentación por corte (sin factor de seguridad).
13. **Capacidad portante:** Capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él.
14. **Carga admisible:** Sinónimo de presión admisible.
15. **Cimentación:** Parte de la edificación que transmite al subsuelo las cargas de la estructura.
16. **Cohesión:** Propiedad del concreto que describe la facilidad o dificultad que tiene la pasta de cemento y la mezcla con los agregados, de atraerse para mantenerse como suspensión en el concreto, evitando la disgregación de los materiales. Esto debido al exceso de finos en la arena. A la fuerza de cohesión que es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia.
17. **Esfuerzo cortante:** El esfuerzo cortante, de corte, de cizalla o de cortadura es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.
18. **Cimentación:** Parte de la edificación que transmite al subsuelo las cargas de la estructura.

## **2.4. Hipótesis de la investigación**

### **2.4.1. Hipótesis General**

El suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco, mejora significativamente sus propiedades mecánicas definidas por el ángulo de fricción y cohesión, con la aplicación de inyección de concreto líquido.

### **2.4.2. Hipótesis Secundarias**

- La influencia de la inyección de concreto líquido mejora significativamente la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.
- La influencia de la inyección de concreto líquido mejora significativamente la capacidad de carga segura usando el método de Meyerhof y Terzagui del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.

## **2.5. Variables de estudio**

**2.5.1. Variable Independiente:** Inyección de concreto líquido.

### **Dimensión / Indicadores de la Variable Independiente**

#### **Concreto líquido:**

- Dosificación del concreto líquido.
- Resistencia del concreto líquido.

**2.5.2. Variable Dependiente:** El suelo de la zona en estudio.

### **Dimensión / Indicadores de la Variable Dependiente**

#### **Suelo de cimentación:**

- Cohesión.
- Ángulo de fricción.
- Resistencia al esfuerzo de corte.
- Capacidad de carga admisible.

## **2.6. Operacionalización de las variables**

- La operacionalización de variables se detalla adjunto en ANEXO.



## CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. Tipo y nivel de investigación.

Es una INVESTIGACION DE TIPO CUANTITATIVA Y NIVEL TRANSVERSAL.

### 3.2. Diseño de la investigación.

El método que se usó en la presente investigación es EXPERIMENTAL, porque analiza la variable y busca medir el efecto de la variable independiente (inyección de concreto líquido) sobre la variable dependiente (el suelo de la zona en estudio).

### 3.3. Método de la investigación.

Es una investigación cuantitativa transversal y de diseño experimental.

### 3.4. Población y muestra.

#### 3.4.1. Población

La población de la investigación son los suelos granulares con partículas finas limosas del sector de la zona de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.

#### 3.4.2 Muestra

Las muestras representativas con la cual se trabajó están tomadas de un terreno de la zona de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco. En total son 06 especímenes de los cuales 03 son inalterados y 03 alterados que serán ensayados con corte directo insitu; dispuestos de la siguiente manera.

**Tabla 7: Muestra Representativa**

ESPECIMEN	CONDICION	CANTIDAD
Suelo inalterado	Suelo natural de base 0.50 x 0.50 altura 0.30 m	03
Suelo alterado	Suelo mejorado con inyección de concreto líquido de base 0.50 x 0.50 altura 0.30 m	03

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.5.1. Técnicas de Tratamiento de los Datos:**

El procedimiento que se usó es el de la OBSERVACIÓN.

#### **3.5.2. Instrumentos:**

El instrumento que se usó fue LA FICHA DE LABORATORIO.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Ensayos de laboratorio**

Los suelos seleccionados para la realización de la presente investigación, fueron tomadas del siguiente lugar, considerando sus diferentes características granulométricas:

Suelo del sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago – Cusco.

##### **4.1.1 Ensayo granulométrico por tamizado**

###### **MTC E 107-2000**

El objetivo es determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 0.075 mm (N°200).

###### **Equipos de accesorios**

Tamices de malla cuadrada.

Balanza con sensibilidad de 0.1 gramo.

Horno de secado.

Bandejas, cepillos y brochas.

Muestra representativa del suelo.

###### **Muestra**

El suelo tiene que secar al aire libre. Cuarteo el suelo secado al aire libre hasta obtener una muestra representativa.

###### **Procedimiento**

Pesar la muestra representativa (obtenido del cuarteo) y llevarla al horno por 24 horas.

Se realiza un lavado por la malla N° 200, se echa la muestra en porciones, de forma que no se pierda partículas mayores a 0.075 mm.

Una vez lavada la muestra por la malla N° 200, el material retenido debe secarse en el horno por 24 horas. Luego de esa etapa, se enfría la muestra y se pesa. Así se obtiene el peso lavado y secado al horno.

La muestra se echa por la parte superior de la serie de tamices y luego se sacude por espacio de diez a quince minutos. Se debe tener cuidado de no perder material durante el zarandeo.

Luego de tamizado se procede a pesar el material retenido en cada malla.

### **Ecuaciones**

Se calcula el porcentaje retenido en cada tamiz, se aplica la siguiente ecuación.

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

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

Para poder ver gráficamente el comportamiento de las partículas de un suelo se grafican en un formato semi- logarítmico.

#### **4.1.2 Ensayo de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico.**

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

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

#### **Equipos de accesorios**

- Recipientes para Almacenaje y mezcla.
- Tamiz N°40.
- Espátula de hoja flexible.
- Aparato del límite líquido (copa de Casagrande) con su acanalador.
- Capsulas para obtener el contenido de humedad.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno de secado.
- Pipeta con agua.
- Placa de vidrio esmerilado de por lo menos 30cm. de lado, de forma cuadrada por 1 cm. de espesor.

## **Muestra**

Para el límite líquido obtener una muestra seca de 150 a 200 gr. pasante el tamiz No 40 y 25 gr para el límite plástico.

## **Procedimientos.**

### **Determinación del Límite Líquido**

Colocar el suelo pasante malla No. 40 en una vasija de evaporación y añadir una pequeña cantidad de agua, dejar que la muestra se humedezca.

Mezclar con ayuda de la espátula hasta que el color sea uniforme y conseguir una mezcla homogénea.

Se coloca una pequeña cantidad de masa húmeda en la parte central de la copa y se nivela la superficie, luego se pasa el acanalador por el centro de la copa para cortar en dos la pasta de suelo.

Poner en movimiento la cazuela con ayuda de la manivela y suministrar los golpes a una velocidad de dos golpes por segundo que sean necesarios para cerrar la ranura en 12.7 mm., Cuando se cierre la ranura, registrar la cantidad de golpes y tomar una muestra de la parte central para la determinación del contenido de humedad.

Este proceso se repite nuevamente con tres muestras más para lograr cuatro puntos a diferentes contenidos de humedad.

### **Determinación del Límite Plástico**

El límite plástico es la humedad correspondiente en el cual el suelo se cuarteo y quiebra al formar pequeños rollitos de 3.2 mm de diámetro.

Se trabaja con el material preparado para el límite líquido se toma aproximadamente 20 gr.

Se amasa el suelo y se deja que pierda humedad hasta una consistencia a la cuál pueda enrollarse sin que se pegue a las manos esparciéndolo y mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio, la prueba continúa hasta que el rollito empieza a rajarse y tiende a desmoronarse.

Una vez que se ha producido el límite plástico se debe colocar el rollito en un recipiente de peso conocido y se pesa para determinar el contenido de humedad.

## Ecuaciones

El índice de plasticidad del suelo se obtiene de la siguiente diferencia:

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

IP= índice de plasticidad

LL= limite liquido

LP= limite plástico

### 4.1.3 Clasificación e identificación de suelos

AASHTO M-145 Clasificación de suelos según AASHTO.

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

#### 1. Sistema AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte)

Este método, divide a los suelos en dos grandes grupos: Una formada por los suelos granulares y otra constituida por los suelos de granulometría fina. Y estos a su vez son clasificados en sub grupos, basándose en la composición granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad. (Mora, S. 1988).

**Tabla 8: Clasificación AASHTO.**

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N°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-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 10 N° 40 N° 200	50máx 30máx 15máx	51máx 25máx	51mín 10máx	35máx	35máx	35máx	35má	36mín	35mín	36mín	36mín
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40 Limite Liquido, WL Índice Plástico, Ip	6 máx.		NP	40máx 10máx	41mín. 10máx	40máx 11mín	41mí 11mí	40má 10má	41mín 10má	40má 11mín	41mín 11mín
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8máx.	12má	16má	20má

Fuente: Mora, S. 1988.

#### 2. Sistema SUCS (Clasificación Unificada de Suelos)

Este sistema, como la clasificación anterior, divide a los suelos en dos grandes grupos: granulares y finos. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus

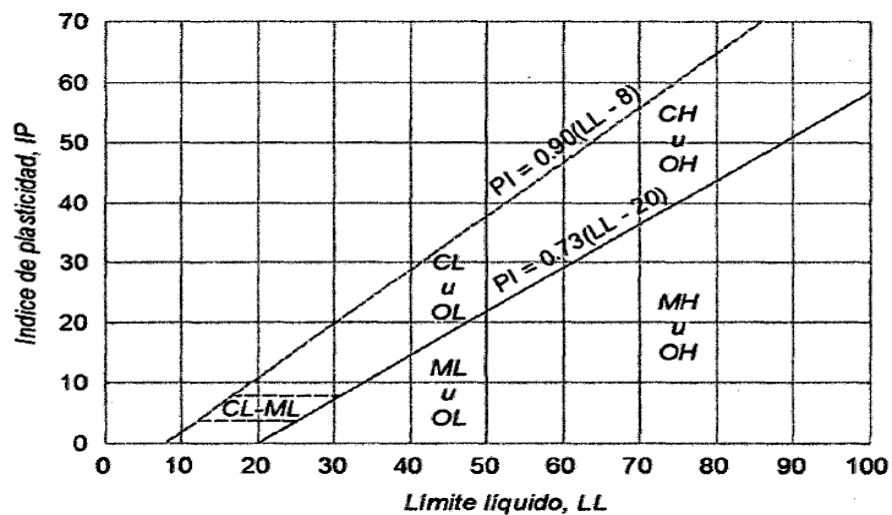
partículas se retienen en el tamiz # 200, y finos, si más de la mitad de sus partículas, pasa el tamiz # 200.

**Tabla 9: 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. Liq.	Índice de Plasticidad * IP	tipo de Suelo	Símbolo	% RET. Malla N° 4	% Pasa Malla N° 200	CU	CC	** IP		
Limos Inorgánicos	ML	$< 50$	$< 0.73 (w_l - 20)$ $\leq 4$	Gravas	GW	$< 50\%$ de lo Ret. En 0.075mm	$< 5$	$> 4$	$1 \text{ a } 3$			
	MH	$> 50$	$< 0.73 (w_l - 20)$		GP			$\leq 6$	$< 16 > 3$			
Arcillas Inorgánicas	CL	$< 50$	$> 0.73 (w_l - 20)$ $y > 7$		GM	$> 50\%$ de lo Ret. En 0.075mm	$> 12$				$< 0.73 (w_l - 20) \leq 4$	
	CH	$> 50$	$> 0.73 (w_l - 20)$		GC						$> 0.73 (w_l - 20) \geq 7$	
Limos o Arcillas Orgánicas	OL	$< 50$	** $w_l$ seco al horno $\leq 75\%$ del $w_l$ seco al aire	Arenas	SW	$< 50\%$ de lo Ret. En 0.075mm	$< 5$	$> 6$	$1 \text{ a } 3$			
	OH	$> 50$			SP			$\leq 6$	$< 16 > 3$			
	Altamente Orgánicas	P <sub>t</sub>	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.			SM	$> 50\%$ de lo Ret. En 0.075mm	$> 12$				$< 0.73 (w_l - 20) \leq 4$
						SC						$> 0.73 (w_l - 20) y > 7$
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				* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC. ** Si IP = 0.73 (w <sub>l</sub> -20) ó si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (w <sub>l</sub> -20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC. 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 En casos dudosos favorecer clasificación más plástica ☑ CH-MH en vez de CL-ML. Si $w_l = 50$ ; CL-CH ó ML-MH				$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$		$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$						

Fuente: Mora, S. 1988.

**Figura N° 13: Carta de plasticidad para Clasificación de Suelos.**



Fuente: Mora, S. 1988.

**4.1.4 Inyección de Concreto Líquido (A pequeña escala).**

Este ensayo tiene por objetivo inyectar concreto líquido al sub-suelo para mejorarlo e incrementar los parámetros (cohesión y ángulo de fricción)

**Equipos y materiales:**

- Aplicador.
- Balde.
- Cemento.
- Agua.
- Broca

**Procedimiento**

1. Con el uso de la broca se apertura unos hoyos los cuales van a permitir ingresar la lechada al sub-suelo.
2. Preparado del concreto líquido con la dosificación conocida relación a / c de 0.7 / 1 calidad 73.4 kg/cm<sup>2</sup> en promedio a los 28 día.
3. Inyección del concreto líquido al sub-suelo con el uso del aplicador; para lo cual se debe ingresar y llenar los hoyos en forma ascendente, para lograr este procedimiento se debe acondicionar al aplicador una manguera de menor dimensión que los hoyos.

**4.1.5 Ensayo de Corte Directo (INSITU).**

ASTM D4554 Ensayo de Corte Directo Insitu.

Este método de prueba se realiza en especímenes forma rectangular o cuadrada, de preferencia los bloques cuadrados ya sea en suelos granulares como en roca que están aislados en todas las superficies, a excepción de la superficie del plano de corte.

Los bloques no deben ser perturbados durante la preparación de especímenes y la instalación de los equipos.

Una carga normal se aplica perpendicular al plano de corte y luego se aplica una carga lateral para inducir la falla.

En conclusión, las pruebas in situ dan valores de los parámetros “c” y “ $\gamma$ ” más conservadores que los ejecutados en el laboratorio con muestras pequeñas, sin embargo, es conveniente investigar más esta prueba para su posterior normalización, teniendo en cuenta la modalidad de ejecución, tipo de equipo, etc.



## **Equipos y materiales:**

### **Equipos**

#### **Caja de Madera de Confinamiento**

1. Cajas de madera de 0.50 m x 0.50 m x 0.30 m, asegurada con clavos y alambres que bordea el contorno exterior.

#### **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.

2. Armadura compuesta de angulares dispuesto verticalmente cuyo objetivo es contrarrestar el esfuerzo normal a través de su propio peso, sistema de anclajes a la sub rasante y angulares horizontales que aseguran a la armadura.
3. Gata hidráulica para la carga axial capacidad: 20 toneladas.
4. Plancha de transmisión de la carga axial de 0.50 x 0.50 m x 4mm de espesor.
5. Polines o 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 giraran sobre sí mismos durante la aplicación de la fuerza tangencial y el sistema de carga axial se mantendrá estable.

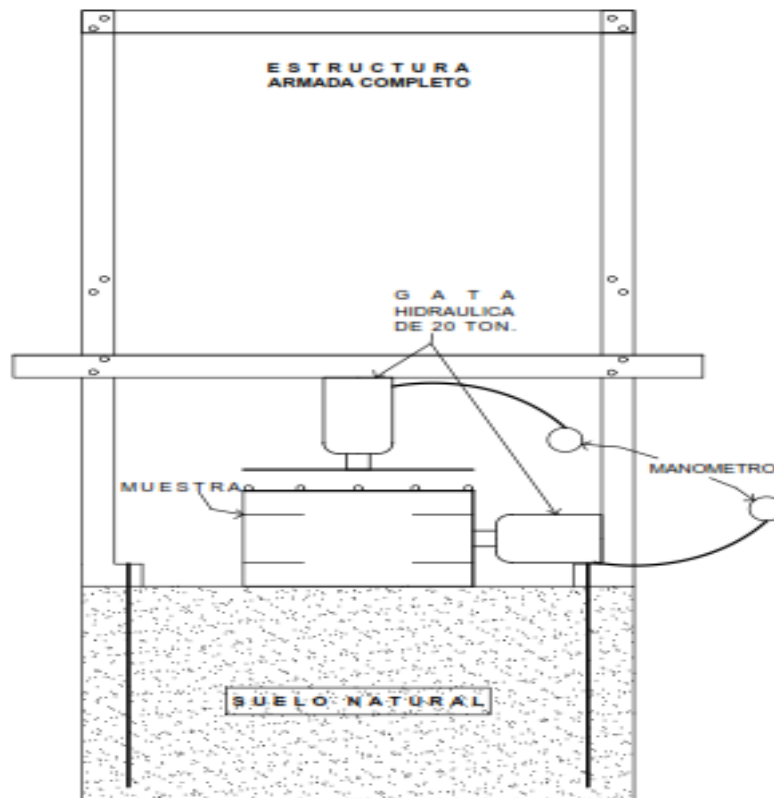
#### **Transmisión de Fuerza Tangencial**

6. Gata hidráulica para la fuerza tangencial con una capacidad: 20 toneladas.
7. Plancha de apoyo del sistema de medidas: 0.50 x 0.30 x 4 mm de espesor.

**Manómetros:** Para medir los desplazamientos verticales y horizontales desarrollados durante el ensayo.

Se presenta una representación gráfica del EQUIPO DE CORTE INSITU.

**Figura N° 14: Equipo de Corte Insitu**



Fuente: Elaboración propia.

### **Materiales**

Se prepara el espécimen prismático perfilando las caras verticales así mismo la cara horizontal con fines de eliminar protuberancias y tener uniformidad en las aristas del espécimen prismático se utiliza mortero que está constituido por:

- Cemento.
- Agua.
- Arena.

### **Muestra**

La prueba de corte directo insitu, se lleva a cabo aislando de la masa, tres especímenes prismático del suelo, limitado en su cara inferior como se muestra en la figura 16 donde se realiza el tallado del espécimen para realización de ensayo.

**Figura N° 15: Enrazado del espécimen:**



Fuente: Elaboración propia.

### **Procedimiento**

4. Se realiza el reconocimiento de campo para la ubicación de los puntos y la apertura de las calicatas.
5. Se realiza el trazo y excavación del terreno con un área suficiente para el armado del equipo y un adecuado tallado de las muestras a ensayar.

**Figura N° 16: Trazo y excavación**



Fuente: Elaboración propia.



6. Se realiza el tallado de las muestras a ensayar, tal como se indica en la figura 19, consiguiendo las dimensiones del ensayo con espátulas y cuchillas.

**Figura N° 17: Enraizado del espécimen**



Fuente: Elaboración propia.

7. Se prepara el espécimen prismático perfilando las caras verticales de la muestra, de los 6 especímenes, 3 suelo natural y 3 se inyecta concreto líquido para lo cual mediante una broca se apertura orificios en el suelo y bajo presión se inyecta el concreto; posteriormente se monta un encofrado alrededor del espécimen luego se hecha mortero en los lados y la parte superior para nivelar la superficie.

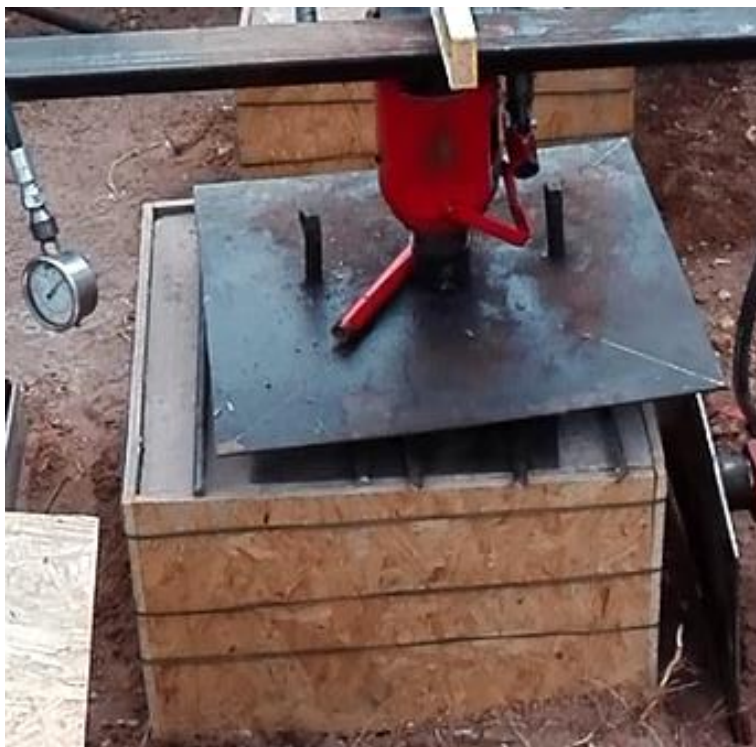
**Figura N° 18: Mortero superior para nivelar.**



Fuente: Elaboración propia.

- Colocación de los instrumentos de transmisión de carga axial, detallados en EQUIPOS antes citado.

**Figura N° 19: Colocación de los polines.**



Fuente: Elaboración propia.

- Colocación de los instrumentos de transmisión de carga tangencial, detallados en EQUIPOS antes citado.

**Figura N° 20: Colocación de la gata hidráulica.**



Fuente: Elaboración propia.

10. Aplicación de la fuerza normal.

Aplice la carga vertical al espécimen, manteniendo la carga constante hasta que el asentamiento cese o hasta que la razón de asentamiento, tan pronto que sea posible antes y después de la aplicación de la carga. Las cargas aplicadas son de 0.50 kg/cm<sup>2</sup>, 1.00 kg/cm<sup>2</sup> y 2.00 kg/cm<sup>2</sup>.

11. Aplicación de la fuerza tangencial.

Se inicia su aplicación cuando disminuye los asentamientos producidos por la carga normal, las lecturas de los manómetros continúan durante la aplicación de la fuerza tangencial, registrándose el desplazamiento horizontal del espécimen hasta provocar la rotura.

**Figura N° 21: Registro de datos.**



Fuente: Elaboración propia.

12. Término del ensayo: Continuar cada ensayo hasta que la carga pico sea alcanzada o hasta que la reacción o hasta que el incremento y asentamiento resulte un mínimo.



**Figura N° 22: Falla del suelo.**



Fuente: Elaboración propia.

**Cálculos:**

Calcúlense los siguientes valores:

- Ángulo de fricción.
- Cohesión.

## 4.2. Resultados

### 4.2.1 Recolección de datos

#### 4.2.1.1 Recolección de datos del suelo en estudio

#### CALICATA 01

### 1. Granulometría

**Tabla 10: Análisis Granulométrico por Tamizado.**

Antes de lavado		Después del lavado				
Peso de la Muestra		Peso de la Muestra Seca				
Seca = 757.30 gr		= 617.00 gr				
		% de Error en Peso = -0.08%				
		ok!				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75	0.70	756.60	0.09%	0.09%	99.91%
Nº 10	2	0.80	755.80	0.11%	20.00%	99.80%
Nº 20	0.850	1.50	754.30	20.00%	40.00%	99.60%
Nº 40	0.425	16.50	737.80	2.18%	2.57%	97.43%
Nº 60	0.250	177.90	559.90	23.49%	26.07%	73.93%
Nº 100	0.150	371.60	188.30	49.07%	75.14%	24.86%
Nº 200	0.075	46.20	142.10	6.10%	81.24%	18.76%
Cazuela	-	2.30	-	30.00%	81.54%	-
Lavado	-	140.30	-	18.46%	100.00%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		<b>617.50</b>		<b>100.00%</b>		

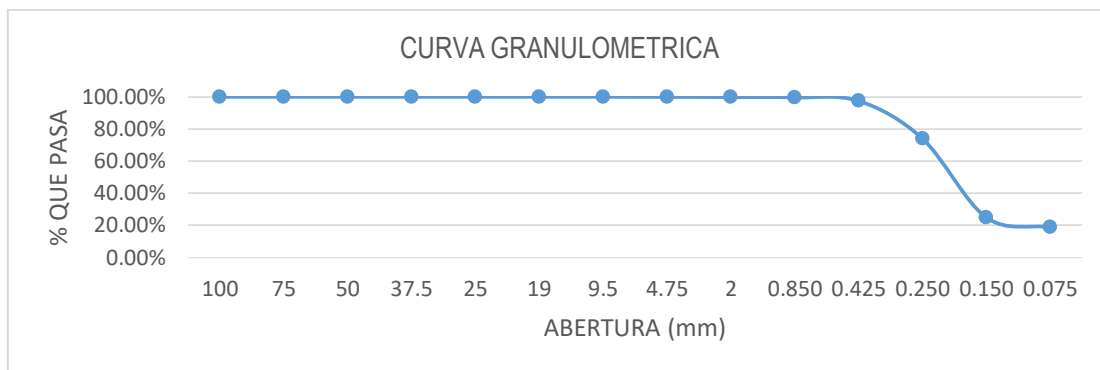
% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 0.09%  
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 81.14%  
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 18.76%  
 Total = 100.00

Fracción Gruesa  
 % de grava = 0.11%  
 % de arena = 99.89%  
 Total = 100.00%

Fuente: Laboratorio Geotécnico – Corporación AYAR SAC.



**Gráfico 1: Curva Granulométrica.**



Tamaño Máximo Absoluto = 3/8"

Tamaño Máximo Nominal = N° 60

D60 = 0.22 mm
D30 = 0.16 mm
D10 = -

Cu = -
Cc = -

Fuente: Laboratorio Geotécnico – Corporación AYAR SAC.

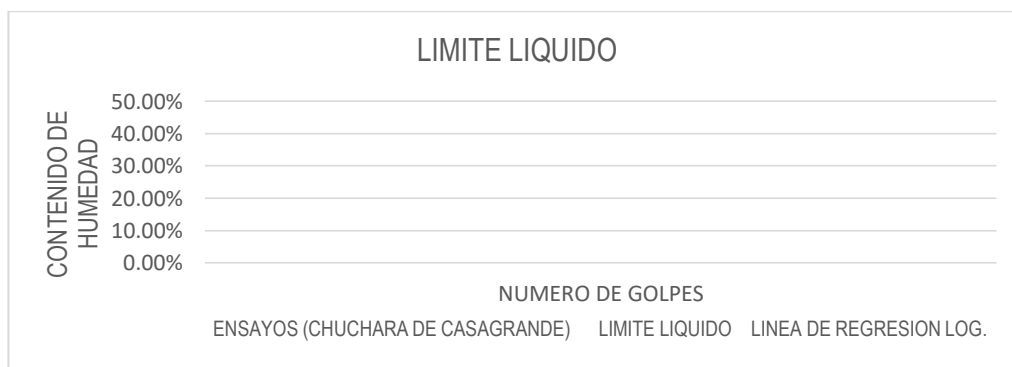
**2. Ensayos de Plasticidad**

**Tabla N° 1: Límite Líquido.**

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

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)				
Peso del Agua (gr)				
Peso de la Muestra Seca (gr)				
<b>Contenido de Humedad</b>				
<b>Número de Golpes</b>				

**Gráfico 2: Límite Líquido**



Fuente: Laboratorio Geotécnico – Corporación AYAR SAC.

**Tabla N° 2: Límite Plástico.**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

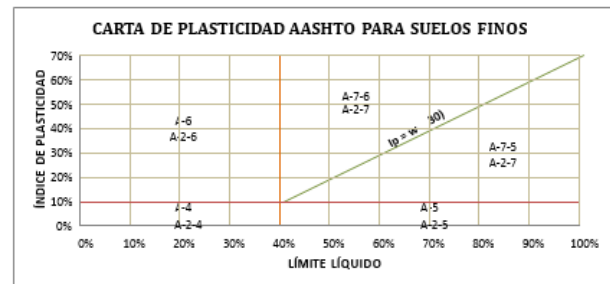
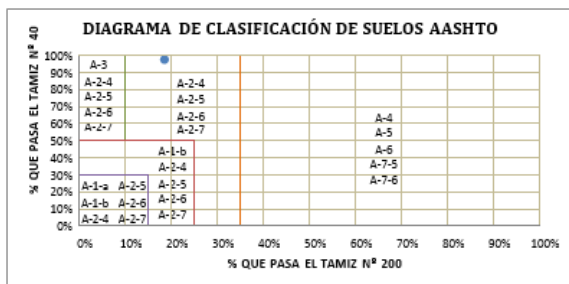
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

**Gráfico 3: Límite Plástico.**

LIMITE LIQUIDO = NO PRESENTA
LIMITE PLASTICO = NO PRESENTA
INDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA

Fuente: Laboratorio Geotécnico – Corporación AYAR SAC.

### 3. Clasificación de Suelos

**Gráfico 4: Clasificación de suelos según AASHTO.**

#### CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO

$F = 18.76$	$F =$ Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz N° 200
$w_L = 00.00$	$w_L =$ Límite líquido
$I_p = 00.00$	$I_p =$ Índice de plasticidad

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

$a = F - 35$	$a = 36.52 \implies$	$a = 36.52$
$b = F - 15$	$b = 56.52 \implies$	$b = 40.00$
$c = w_L - 40$	$c = -5.98 \implies$	$c = 0.00$
$d = I_p - 10$	$d = 8.18 \implies$	$d = 8.18$
$ IG = 0$		

Fuente: Laboratorio Geotécnico – Corporación AYAR SAC.

**Tabla 11: Clasificación de suelos según AASHTO.**

AASHTO M-145

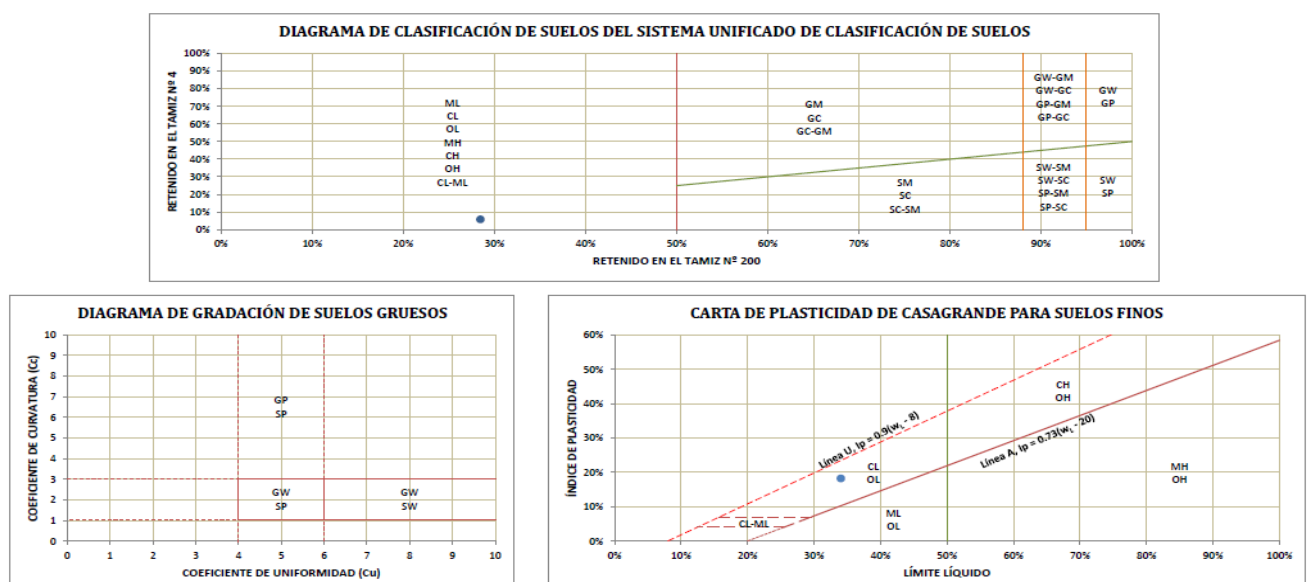
DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 99.80%	LL = NO PRESENTA	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 97.43%	LP = NO PRESENTA	
% que pasa el tamiz N° 200 = 18.76%	IP = NO PRESENTA	

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz N° 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	
SUB - GRUPOS											A-7-6	
% que pasa el tamiz:												
N° 10	50 máx.											
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.									
N° 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 N° 40 Límite Líquido Índice de Plasticidad			No Plástico	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	
	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		

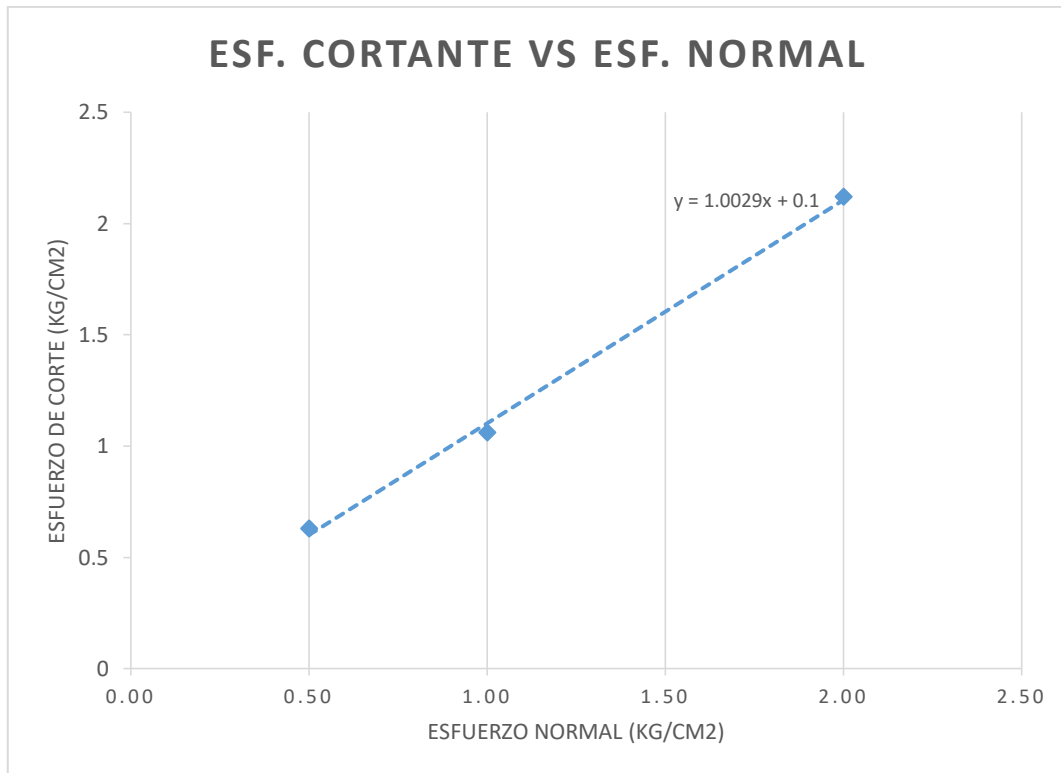
A-2-4 (0) = Materiales granulares con partículas finas limosas

Fuente: Laboratorio Geotécnico – Corporación AYAR SAC.

**Gráfico 5: Clasificación de suelos según SUCS.**





**Gráfico 6: Esfuerzo Cortante vs Esfuerzo Normal - Suelo Natural.**

Fuente: Elaboración propia.

### **CALICATA 03**

En esta CALICATA, se realizó el ENSAYO DE CORTE INSITU; 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 con SUELO MEJORADO con inyección de concreto líquido. Los resultados obtenidos se muestran en a continuación:

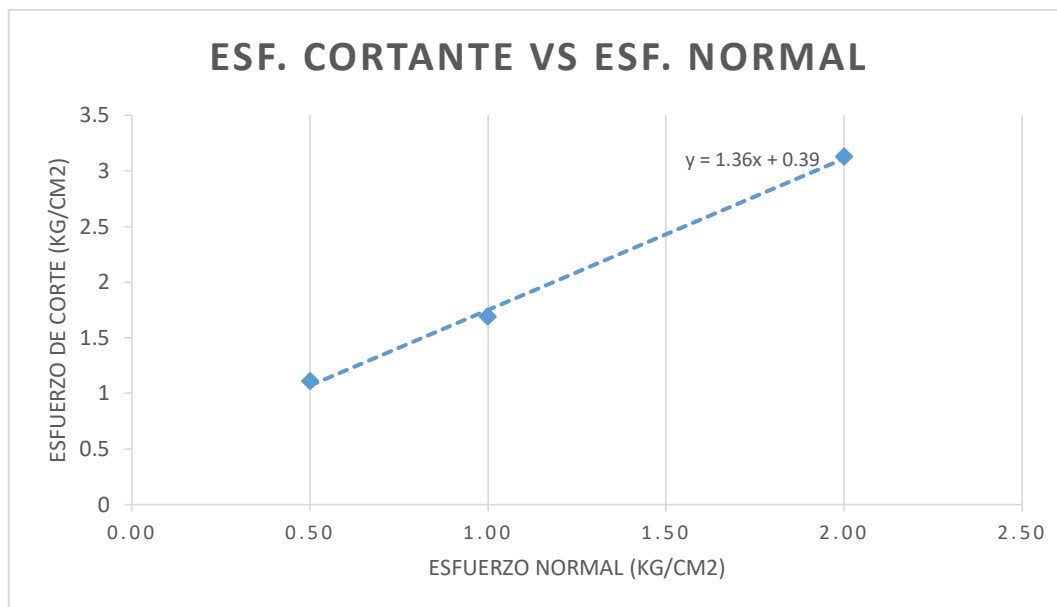
**Tabla 14 Esfuerzo Normal y de Corte – Suelo Mejorado**

SUELO MEJORADO				
ESFUERZO	UNIDAD	NRO. DE MUESTRA		
		M1	M2	M3
NORMAL	kg/cm <sup>2</sup>	0.50	1.00	2.00
CORTE	kg/cm <sup>2</sup>	1.11	1.69	3.13

Cohesión =	0.39	kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo de fricción =	53.67	

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 7: Esfuerzo Cortante vs Esfuerzo Normal – Suelo Mejorado.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2 Procedimiento y análisis e interpretación de resultados

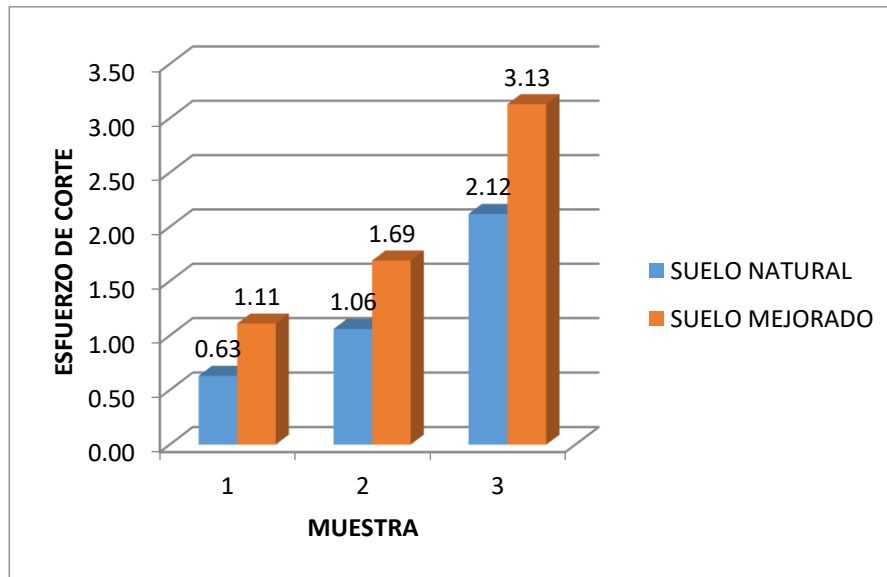
##### 4.2.2.1 Resultado general

Las propiedades mecánicas del suelo granular con partículas finas limosas del sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco, fueron ensayadas, determinando que; mejora la resistencia al esfuerzo cortante y capacidad de carga admisible de terreno con la inyección de concreto líquido, probada en campo con el ensayo de corte directo, tal como se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 15: Esfuerzo de corte suelo natural vs suelo mejorado.**

RESULTADOS			
ESFUERZO NORMAL	M1	M2	M3
	0.50	1.00	2.00
ESFUERZO CORTE SUELO NATURAL	0.63	1.06	2.12
ESFUERZO CORTE SUELO MEJORADO	1.11	1.69	3.13
VARIACION DEL ESFUERZO DE CORTE ENTRE SUELO NATURAL Y MEJORADO	76.19%	59.43%	47.64%
<b>PROMEDIO</b>	<b>86.89%</b>		

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 8: Gráfico comparativo de esfuerzo de corte.**

Fuente: Elaboración propia.

Se observa el mejoramiento al esfuerzo cortante, entre el suelo natural y mejorado como promedio de 93.81%.

De los gráficos de Esfuerzo Cortante vs Esfuerzo Normal tanto en suelo natural como en suelo mejorado, se obtiene la cohesión y ángulo de fricción para cada caso.

**Tabla 16: Cohesión y Angulo de fricción**

CONDICION	REGRESION LINEAL	COHESION ( C)	ANGULO DE FRICCIÓN
SUELO NATURAL	$y = 1.0029x + 0.10$	0.10	45.080 °
SUELO MEJORADO	$y = 1.4743x + 0.54$	0.54	55.850 °
VARIACION ENTRE SUELO NATURAL Y MEJORADO		290.00%	19.06%

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos la cohesión incrementa en un 290.00 %, y el ángulo de fricción en 19.06%.

Respecto a la capacidad portante admisible del suelo natural respecto del mejorado se tiene un incremento por el método de Terzaghi de 659.61% y por Meyerhof del 624.12%.

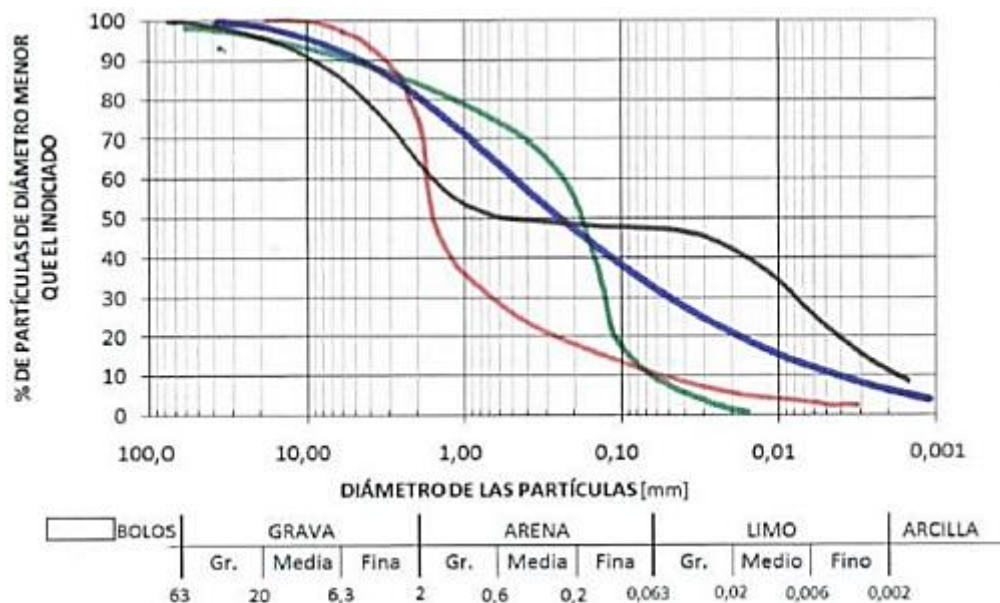
#### 4.2.2.2 Resultado 1.

Del ensayo de granulometría del suelo en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco, según los resultados obtenidos de la calicata 1, se ha podido establecer que:

***De acuerdo a la clasificación de suelos por AASHTO, contiene materiales granulares con partículas finas limosas.***

#### 4.2.2.3 Resultado 2

**Gráfico 9: De partículas de diámetro menor que el indicado.**



Fuente: (Mecánica de Suelos I, 2015)

En la interpretación de cómo está graduado un suelo, dando información sobre el equilibrio entre los diversos tamaños: tenemos que el material granular con partículas finas limosas se encuentra uniforme en la fracción de arena fina.

#### 4.2.2.4 Resultado 3.

De acuerdo a las características del material se tiene lo siguiente:



<b>LIMITE LIQUIDO = NO PRESENTA</b>
<b>LIMITE PLASTICO = NO PRESENTA</b>
<b>INDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.5 Resultado 4.

Capacidad portante del suelo natural

<b>Teoría</b>	<b>qu</b>	<b>Qadm</b>	<b>Unidad</b>
Terzagui	973.101	324.367	Ton/m <sup>2</sup>
Meyerhof	1411.259	470.420	Ton/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

Capacidad portante del suelo mejorado

<b>Teoría</b>	<b>qu</b>	<b>Qadm</b>	<b>Unidad</b>
Terzagui	7391.791	2463.930	Ton/m <sup>2</sup>
Meyerhof	10219.209	3406.403	Ton/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- CONCLUSIÓN 1:

Se concluye que el suelo con fines de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, mejora sus propiedades mecánicas definidas por el ángulo de fricción y la cohesión ya que de acuerdo a los cálculos realizados entre el suelo natural y el suelo mejorado hay incremento porcentual en el ángulo de fricción de 19.06% y de la cohesión del 290% y cumple con la hipótesis planteada “El suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco, mejora significativamente sus propiedades mecánicas definidas por el ángulo de fricción y cohesión, con la aplicación de inyección de concreto líquido”.

- CONCLUSIÓN 2:

Se concluye que, entre el suelo de cimentación natural y el suelo mejorado se tiene mayor resistencia al corte del 61.09 % y cumple con la hipótesis planteada “La influencia de la inyección de concreto líquido mejora significativamente la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco”.

- CONCLUSIÓN 3:

Se concluye que, se tiene un incremento favorable respecto a la capacidad de carga admisible usando el método de Meyerhof y Terzagui; este incremento entre el suelo natural y suelo mejorado es del 624.12% y 659.61% respectivamente y cumple con la hipótesis planteada “La influencia de la inyección de concreto líquido mejora significativamente la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco”.

## SUGERENCIAS

- Por los resultados favorables obtenidos, de mejorar las propiedades mecánicas en lo que se refiere al ángulo de fricción y cohesión, la inyección de concreto líquido o grout debe de considerarse en nuestro medio local, como alternativa de solución para suelos de baja capacidad portante lo que conlleva a riesgos de inestabilidad.
- Como se tiene mejoras en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo; se debe desarrollar mayores investigaciones para mayor conocimiento de la inyección de concreto líquido o grout.
- El equipo con el cual se desarrolló la práctica permitió determinar el mejoramiento de suelos que ofrece la técnica de la inyección de concreto líquido; en este sentido se debe mejorar el equipo en función al desarrollo de nuevas investigaciones que permitan un mejor desempeño del equipo en cuanto a su funcionamiento y registro de datos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Marín Villalobos, N. R. (Abril 2015). Factividad del uso de la inyección en Costa Rica para el recalce de cimentaciones en rellenos mas construidos. Costa Rica.
- Ampuero Cayo, S. E. (2012). Mejoramiento de Cimentaciones en Suelos y Rocas aplicando las Técnicas de Grouting. (U. N. Ingenieria, Ed.) Lima, Perú.
- Badillo, J., & Rodriguez, R. (2002). Mecánica de Suelos. México.
- Basurto Ravichagua, D. J. (2010). Diseño e implementacion de un equipo de corte directo para suelos gravosos en el laboratorio. Lima.
- Braja, M. D. (2000). Fundamentos de ingenieria geotécnica (4ta ed.).
- de Justo Alpañes, J. L., & Jiménez Salas, J. A. (1981). Mecánica del suelo y de la rocas. Madrid: Rueda.
- E-050, N. T. (1995). Suelos y Cimentaciones.
- M.Das, B. (1999). Principios de ingeniería de cimentaciones. (Thomson, Ed.) California State University: Sacramento.
- Mecanica de Suelos I. (14 de Mayo de 2015). Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/anaraposo14/mecanica-de-suelo-48167820>
- Medrano, R. C. (2008). Mecánica de Suelos II. Tehuacán - México.
- Ovando Pineda, H. A. (2011). 'Inyección De Suelo Por Medio De La Técnica De Jet Grouting. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Pantaleón, H. (2007). Mejora De Terrenos Potencialmente Licuables Con Inyección De Compactación. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Pozo Vílchez, E. (2015). Análisis comparativo entre inyecciones de columnas de grava e inyecciones de Grout sobre una muestra de suelo para el mejoramiento de la resistencia al esfuerzo cortante en el sector alto Qosqo

-APV Micaela Pompilla-San Sebastián. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco.

Rivera Pérez, E. M. (2018). Uso de rellenos fluidos en la construcción. . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Soto, J. J. (2017). Estudio geologico geotecnico para el ordenamiento territorial del distito de san jeronimo-cusco. Cusco.

# ANEXOS

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSION/ INDICADOR	METODOLOGIA
¿ En qué medida influye la aplicación de inyección de concreto líquido en el suelo de cimentación del sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco?	Determinar en qué medida la aplicación de inyección de concreto líquido mejora el suelo con fines de cimentación en edificaciones en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.	El suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco, mejora significativamente sus propiedades mecánicas definidas por el ángulo de fricción y cohesión, con la aplicación de inyección de concreto líquido.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> El suelo de la zona en estudio.	<b>SUELO DE CIMENTACION:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cohesión.</li> <li>• Ángulo de fricción.</li> <li>• Resistencia al esfuerzo de corte.</li> <li>• Capacidad de carga admisible</li> </ul>	<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Cuantitativa. <b>NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN:</b> Transversal. <b>DISEÑO:</b> Experimental. <b>METODO:</b> Investigación Cuantitativa Transversal y de diseño experimental.
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Inyección de concreto líquido.	<b>CARACTERISTICAS DEL CONCRETO LIQUIDO:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación del concreto líquido.</li> <li>• Resistencia del concreto líquido.</li> </ul>	<b>POBLACION:</b> La población de la investigación son los suelos granulares con partículas finas limosas del sector de la zona de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco. <b>MUESTRA:</b> Son 06 especímenes de los cuales 03 son inalterados y 03 alterados con inyección de concreto líquido. <b>TECNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS:</b> La observación y fichas de laboratorio.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿ De qué manera influye la inyección de concreto líquido, a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco?</li> <li>• ¿ De qué manera influye la inyección de concreto líquido a la capacidad de carga admisible usando el método de Terzaghi y Meyerhof del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la influencia de la inyección de concreto líquido sobre la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.</li> <li>• Determinar la influencia de la inyección de concreto líquido sobre la capacidad de carga admisible usando el método de Terzaghi y Meyerhof del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La influencia de la inyección de concreto líquido mejora significativamente la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.</li> <li>• La influencia de la inyección de concreto líquido mejora significativamente la capacidad de carga segura usando el método de Meyerhof y Terzagui del suelo de cimentación en el sector de la APV. Ramiro Priale Comité 4, distrito de Santiago, Cusco.</li> </ul>			

**“MEJORAMIENTO DE SUELOS CON INYECCIÓN DE CONCRETO LIQUIDO CON FINES DE CIMENTACIÓN EN EDIFICACIONES EN EL SECTOR DE LA APV RAMIRO PRIALE COMITÉ 4 – DISTRITO SANTIAGO – CUSCO”**

<b>VARIABLE 1</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE VALORES</b>
El suelo de la zona en estudio.	El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se utiliza como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y con cimientos estructurales (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica – cuarta edición. Braja M. Das).	Es determinar las características físico-mecánicas del suelo, y el suelo mejorado como componente integral del terreno que comprende en un suelo con mayor resistencia de cargas.	<b>SUELO DE CIMENTACIÓN:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cohesión.</li> <li>• Ángulo de fricción.</li> <li>• Esfuerzo de corte.</li> <li>• Capacidad de carga admisible</li> </ul>	Mejoramiento del suelo, Esfuerzo al corte de 20% a 100% Capacidad portante.
<b>VARIABLE 2</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE VALORES</b>
Inyección de concreto líquido	El concreto líquido o Grout es un material de consistencia fluida, que es la mezcla de cemento, agregados y agua, pudiéndose adicionar cal hidratada normalizada en una proporción que no exceda de 1/10 del volumen de cemento u otros aditivos que no disminuyan la resistencia o que originen corrosión del acero de refuerzo (Norma técnica E-070 Albañilería).	El concreto líquido o Grout es un método de mejoramiento del terreno en el que introduce en el campo un material que, dependiendo del tipo de inyección, rellena vacíos, desplaza el terreno o crea mediante su mezcla con el suelo existente un material más resistente que el que se tiene en el sitio.	<b>CARACTERISTICAS DEL CONCRETO LIQUIDO:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación de la mezcla.</li> <li>• Resistencia del concreto líquido.</li> </ul>	Resistencia mínima de 70 kg/cm <sup>2</sup> .



## PANEL FOTOGRAFICO

FOTOGRAFIA 1 y 2: Excavación de calicatas C-1 (Izquierda) y C-2 (Derecha)



Se realiza los trabajos de trazo y excavación de las 2 calicatas de 1.50 m x 2.50 m; así como también el trazo de los seis especímenes de área 0.50 x 0.50 y altura 0.30 m.

FOTOGRAFIA 3: Enraizado el espécimen de la Calicata N° 1.



*Se realiza el trabajo de enraizado de los bordes de los especímenes con el propósito que encaje con el molde de madera de área 0.50 x 0.50 y altura 0.30 m, que corresponde a la calicata N° 2.*



FOTOGRAFIA 4: Vaciado de solado en la cara superior del espécimen e Instalación del equipo de corte insitu.



*Se realiza el vaciado de solado de 3.00 cm., en la cara superior de los especímenes, que servirá como base cuando se realice el ensayo de corte insitu. Este procedimiento se realizó para los seis especímenes.*

FOTOGRAFIA 5: Instalación del Equipo de Corte Insitu.



*Se realiza la instalación del equipo de corte, en la calicata N° 2, ubicando primero los elementos verticales donde se sujetarán las gatas hidráulicas.*



FOTOGRAFIA 6: Ejecución del ensayo en suelo natural.



*Se completa la instalación del equipo tomando en cuenta la plomada y se inicia con el ensayo aplicando el esfuerzo normal establecido y posteriormente el esfuerzo de corte.*

FOTOGRAFIA 7: Registro de datos en campo durante ejecución del ensayo.



*Se realiza la toma de datos del manómetro, registrando progresivamente hasta que el suelo falle, esta operación se realiza con los 06 especímenes.*

FOTOGRAFIA 8: Especímenes ensayados, mostrando falla por corte.



*Se muestra los especímenes ensayados en este caso corresponde a la calicata N° 01, suelo natural sin mejoramiento en la fotografía se muestra los especímenes N° 02 y 03.*



## ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**  
Urb. Manuel Prado - Pj. Pisac A-17, Cusco - Tel. (084) 235370

**Proyecto:** Mejoramiento de suelos con inyección de concreto Ensayo corte directo insitu  
**Ubicación:** Tesis Universidad Alas Peruanas  
**Solicita:** Leddín Iturriaga A.  
**Fecha:** martes, 04 de abril de 2017

**Excavación :** C-1  
**Muestra :** M-1  
**Profundidad:** 3.00 m

### 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 = 757.30 gr

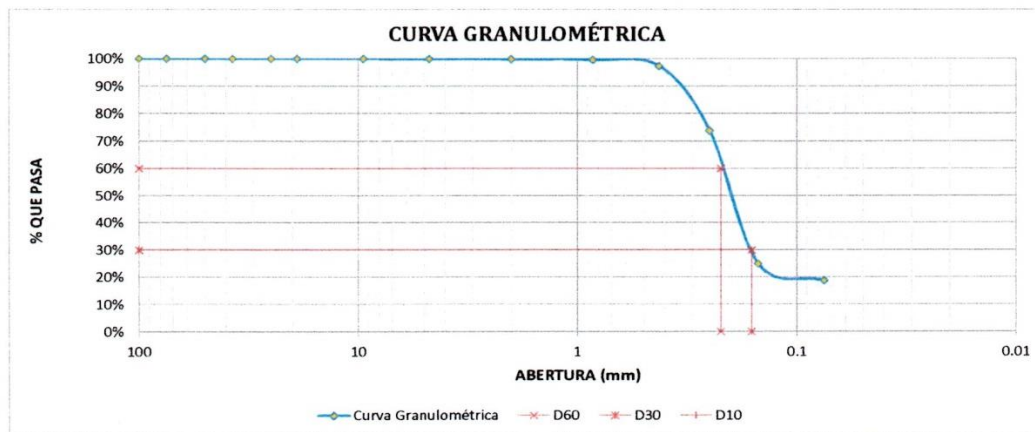
**Después del lavado**  
Peso de la Muestra Seca = 617.00 gr  
% de Error en Peso = -0.08%

Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5		757.30	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75	0.70	756.60	0.09%	0.09%	99.91%
Nº 10	2	0.80	755.80	0.11%	0.20%	99.80%
Nº 20	0.850	1.50	754.30	0.20%	0.40%	99.60%
Nº 40	0.425	16.50	737.80	2.18%	2.57%	97.43%
Nº 60	0.250	177.90	559.90	23.49%	26.07%	73.93%
Nº 100	0.150	371.60	188.30	49.07%	75.14%	24.86%
Nº 200	0.075	46.20	142.10	6.10%	81.24%	18.76%
Cazuela	-	2.30	-	0.30%	81.54%	-
Lavado	-	140.30	-	18.46%	100.00%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		<b>617.50</b>		<b>100.00%</b>		

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 0.09%  
% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 81.14%  
% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 18.76%  
Total: 100.00%

Fracción Gruesa  
% de grava = 0.11%  
% de arena = 99.89%  
Total = 100.00%



**Tamaño Máximo Absoluto = 3/8"**

**Tamaño Máximo Nominal = Nº 60**

D60 = 0.22 mm  
D30 = 0.16 mm  
D10 = -

Cu = -  
Cc = -



*Miguel E. Rozas Gome.*  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 142088



LABORATORIO GEOTECNICO - CORPORACION AYAR S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Urb. Manuel Prado - Pj. Pisac A-17, Cusco - Tel. (084) 235370

**Proyecto:** Mejoramiento de suelos con inyección de concreto Ensayo corte directo insitu

**Ubicación:** Tesis Universidad Alas Peruanas

**Solicita:** Leddin Iturriaga A.

**Fecha:** martes, 04 de abril de 2017

**Excavación:** C-1

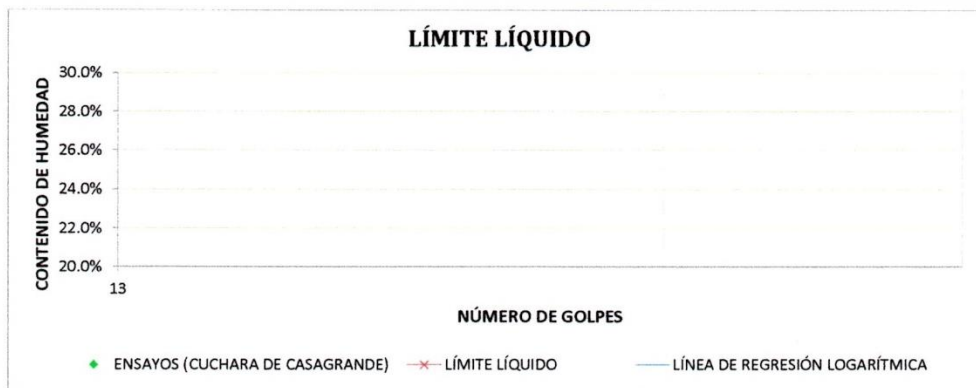
**Muestra:** M-1

**Profundidad:** 3.00 m

### 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
Peso de Capsula (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)				
Peso del Agua (gr)				
Peso de la Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				
Número de Golpes				



### LÍMITE PLÁSTICO

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

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			



LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA
LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA



Mijail E. Rozas Gome  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 142088





**LABORATORIO GEOTECNICO - CORPORACION AYAR S.A.C.**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**  
 Urb. Manuel Prado - Pj. Pitaac A-17, Cusco - Tel. (084) 235370

**Proyecto:** Mejoramiento de suelos con inyección de concreto Ensayo corte directo insitu  
**Ubicación:** Tesis Universidad Alas Peruanas  
**Solicita:** Leddín Iruiriga A.  
**Fecha:** martes, 04 de abril de 2017

**Excavación :** C-1  
**Muestra :** M-1  
**Profundidad:** 3.00

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)**  
 ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos =	81.24%
% de Finos =	18.76%
Total =	100.00%
% de Grava =	0.09%
% de Arena =	81.14%
Total =	81.24%
Facción Gruesa	
% de Grava =	0.11%
% de Arena =	99.89%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	-
Cc =	-
De Límites de Consistencia	
LL =	NO PRESENTA
LP =	NO PRESENTA
IP =	NO PRESENTA
Otros Datos	
Tipo =	Inorgánico

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

SM = Arena limosa

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra



*Miyait E. Rozas Gome*  
**INGENIERO CIVIL**  
 CIP Nº 142088

**LABORATORIO GEOTECNICO - CORPORACION AYAR S.A.C.**



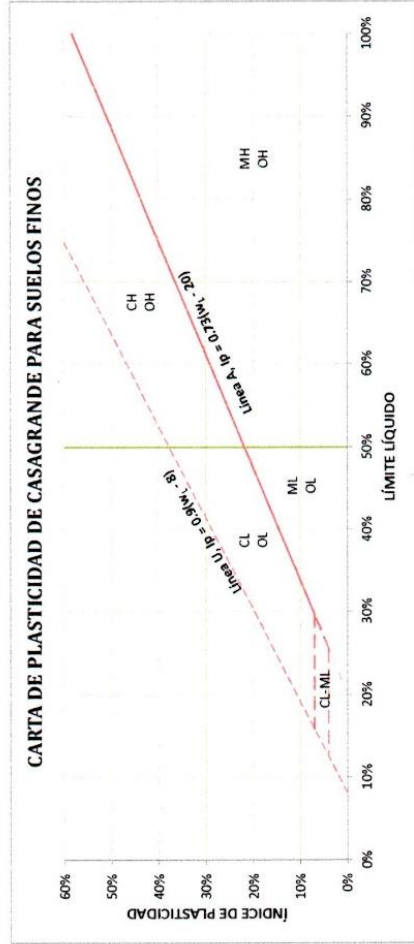
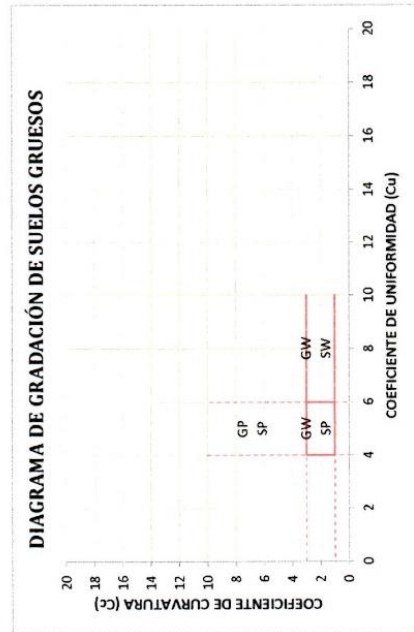
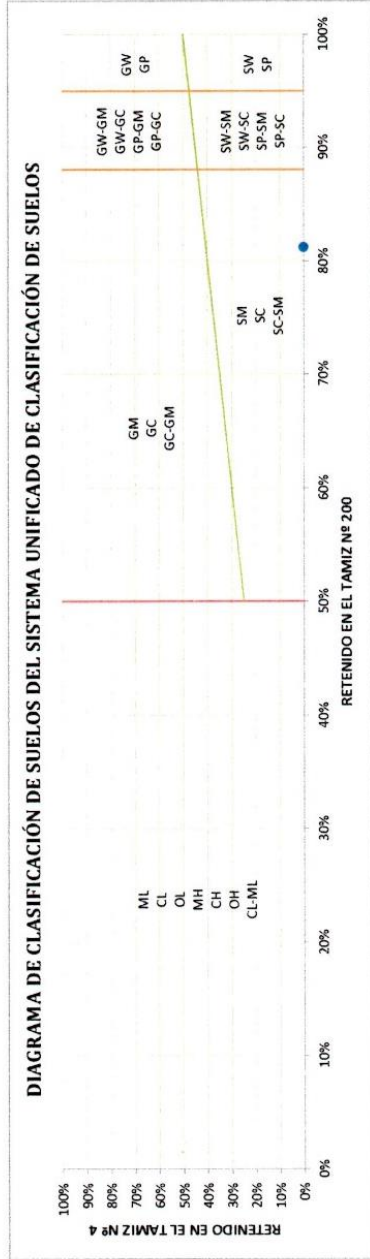
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
Urb. Manuel Prado - P. Pisco A-17, Cusco - Tel. (084) 235370

Proyecto: Mejoramiento de suelos con inyección de concreto Ensayo corte directo insitu  
Ubicación: Tesis Universidad Alas Peruanas  
Solicitante: Leddin Iurrigaia A.  
Fecha: martes, 04 de abril de 2017

Excavación : C-1  
Muestra : M-1  
Profundidad: 3.00

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUICS)**

ASTM D-2487



  
*Miguel E. Rozas Gome*  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 142088



**Proyecto:** Mejoramiento de suelos con inyección de concreto Ensayo corte directo insitu  
**Ubicación:** Tesis Universidad Alas Peruanas  
**Solicita:** Leddim Itrirriaga A.  
**Fecha:** martes, 04 de abril de 2017

**Muestra :** M-1  
**Profundidad:** 3.00

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO**  
 AASHTO M-145

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	Otros Datos
% que pasa el tamiz Nº 10 = 99.80%	LL = NO PRESENTA
% que pasa el tamiz Nº 40 = 97.43%	LP = NO PRESENTA
% que pasa el tamiz Nº 200 = 18.76%	IP = NO PRESENTA

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
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-7-5	A-7-6
% 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.		
Características del material que pasa el tamiz Nº 40												
Limite Líquido			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.	41 mín. 11 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	16 máx.	20 máx.
Índice de Grupo	0	0	0									
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos			

A-2-4(0) = Materiales granulares con partículas finas limosas

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la AASHTO para este tipo de suelo es: Rodillo Neumático, Liso y Vibratorio

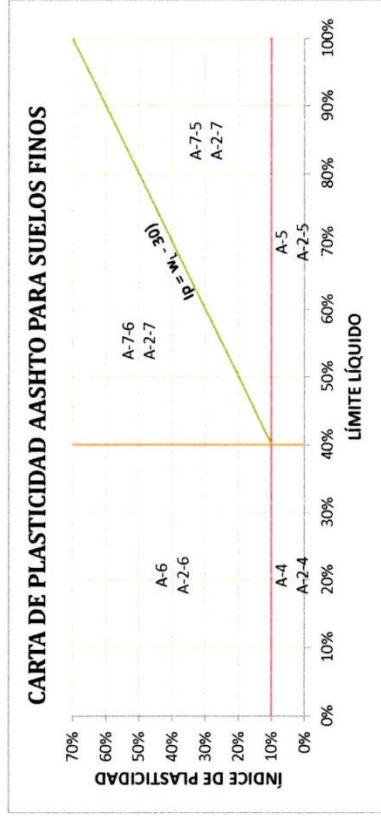
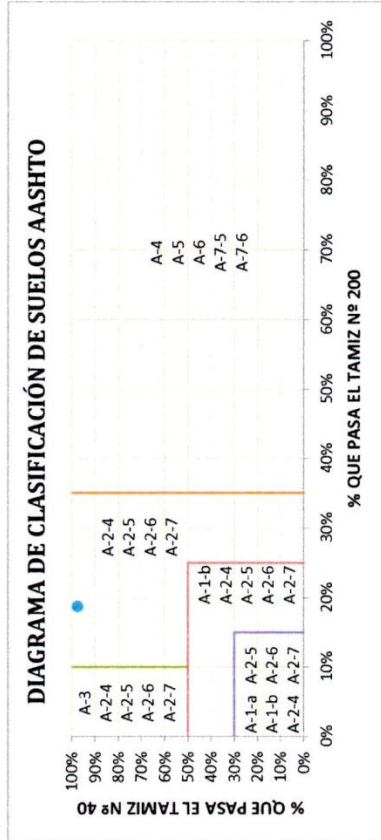


*Miguel E. Rozas Gome*  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 142088

Proyecto: Mejoramiento de suelos con inyeccion de concreto Ensayo corte directo insitu  
 Ubicación: Tesis Universidad Alas Peruanas  
 Solicita: Leddin Iturriaga A.  
 Fecha: martes, 04 de abril de 2017

Muestra : M-1  
 Profundidad: 3.00

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO  
 AASHTO M-145



CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO

F = 18.76	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200
w <sub>L</sub> = 0.00	w <sub>L</sub> = Límite líquido
Ip = 0.00	Ip = Índice de plasticidad

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

a = F - 35	a = -16.24	=>	a = 0.00
b = F - 15	b = 3.76	=>	b = 3.76
c = w <sub>L</sub> - 40	c = -40.00	=>	c = 0.00
d = Ip - 10	d = -10.00	=>	d = 0.00

IG = 0
--------



Mijail E. Rozas Gome  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 142088

## CAPACIDAD PORTANTE SUELO NATURAL PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES RECTANGULARES

DATOS DE ENTRADA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Datos del suelo:

Dato	Valor	Unidad
C	1	Ton/m <sup>2</sup>
f	45.08	°
g	1.54	Ton/m <sup>3</sup>

Datos de forma de la cimentación:

Dato	Valor	Unidad
Df	1.80	m
B	1.50	m
L	1.00	m

Tipo de falla:

Tipo	
General	SI
Local	NO

Corrección por excentricidad (Meyerhof):

Datos	Valor	Unidad
ex	0	m
ey	0	m

Corrección por forma a f (Meyerhof):

Aplicar	
SI	NO

Datos de inclinación de carga:

Dato	Valor	Unidad
b	0	°

Factor de seguridad

Dato	Valor	Unidad
FS	3	S/D

DATOS FINALES DE CÁLCULO

Dato	Valor	Unidad
C'	1.0	Ton/m <sup>2</sup>
f'	42.8	°
g	1.54	Ton/m <sup>3</sup>

Dato	Valor	Unidad
Df	1.80	m
B'	1.50	m
L'	1.00	m

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor	Terzagui	Meyerhof	Vesic
Nc	102.999	102.999	102.999
Nq	49.289	96.465	96.465
Ng	190.676	165.061	180.672

FACTORES DE CORRECCIÓN

Por forma (DeBeer, 1970)		Por profundidad de cimentación (Hansen, 1970)		Por inclinación de la carga (Meyerhof, 1963)	
Fcs	2.405	Fcd	1.350	Fci	1.000
Fqs	2.390	Fqd	1.470	Fqi	1.000
Fgs	0.400	Fgd	1.800	Fgi	1.000

CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

Teoría	qu	qadm	Unidad
Terzagui	973.101	324.367	Ton/m <sup>2</sup>
Meyerhof	1411.259	470.420	Ton/m <sup>2</sup>

## CAPACIDAD PORTANTE SUELO MEJORADO PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES RECTANGULARES

DATOS DE ENTRADA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Datos del suelo:

Dato	Valor	Unidad
C	3.9	Ton/m <sup>2</sup>
f	53.67	°
g	1.698	Ton/m <sup>3</sup>

Datos de forma de la cimentación:

Dato	Valor	Unidad
Df	1.80	m
B	1.50	m
L	1.00	m

Tipo de falla:

Tipo	
General	SI
Local	NO

Corrección por excentricidad (Meyerhof):

Datos	Valor	Unidad
ex	0	m
ey	0	m

Corrección por forma a f (Meyerhof):

Aplicar	
SI	NO

Datos de inclinación de carga:

Dato	Valor	Unidad
b	0	°

Factor de seguridad

Dato	Valor	Unidad
FS	3	S/D

DATOS FINALES DE CÁLCULO

Dato	Valor	Unidad
C'	3.9	Ton/m <sup>2</sup>
f'	51.0	°
g	1.698	Ton/m <sup>3</sup>

Dato	Valor	Unidad
Df	1.80	m
B'	1.50	m
L'	1.00	m

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor	Terzagui	Meyerhof	Vesic
Nc	311.085	311.085	311.085
Nq	167.644	384.973	384.973
Ng	823.306	1139.709	952.815

FACTORES DE CORRECCIÓN

Por forma (DeBeer, 1970)		Por profundidad de cimentación (Hansen, 1970)		Por inclinación de la carga (Meyerhof, 1963)	
Fcs	2.856	Fcd	1.350	Fci	1.000
Fqs	2.851	Fqd	1.340	Fqi	1.000
Fgs	0.400	Fgd	1.800	Fgi	1.000

CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

Teoría	qu	qadm	Unidad
Terzagui	7391.791	2463.930	Ton/m <sup>2</sup>
Meyerhof	10219.209	3406.403	Ton/m <sup>2</sup>