



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS, EN ARCILLA Y ARENA  
PARA VIVIENDA DE TRES PISOS EN LA CIUDAD DE MACHALA

VINUEZA VEGA PATRICIO SALVADOR  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2021



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS, EN ARCILLA Y  
ARENA PARA VIVIENDA DE TRES PISOS EN LA CIUDAD DE  
MACHALA

VINUEZA VEGA PATRICIO SALVADOR  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2021



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS, EN ARCILLA Y ARENA PARA  
VIVIENDA DE TRES PISOS EN LA CIUDAD DE MACHALA

VINUEZA VEGA PATRICIO SALVADOR  
INGENIERO CIVIL

CABRERA GORDILLO JORGE PAUL

MACHALA, 28 DE ABRIL DE 2021

MACHALA  
28 de abril de 2021

# TESIS

*por* Jorge Paul Cabrera Gordillo

---

**Fecha de entrega:** 20-abr-2021 11:28a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1564787986

**Nombre del archivo:** VINUEZA.docx (353.73K)

**Total de palabras:** 6434

**Total de caracteres:** 32166

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, VINUEZA VEGA PATRICIO SALVADOR, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS, EN ARCILLA Y ARENA PARA VIVIENDA DE TRES PISOS EN LA CIUDAD DE MACHALA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

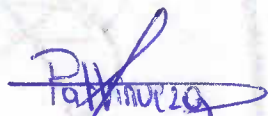
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 28 de abril de 2021



VINUEZA VEGA PATRICIO SALVADOR  
0703762963

# TESIS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[www.clubensayos.com](http://www.clubensayos.com)

Fuente de Internet

1%

2

[laccei.org](http://laccei.org)

Fuente de Internet

<1%

3

[www.elsevier.es](http://www.elsevier.es)

Fuente de Internet

<1%

4

[creativecommons.org](http://creativecommons.org)

Fuente de Internet

<1%

5

Submitted to Universidad San Francisco de  
Quito

Trabajo del estudiante

<1%

6

[revistas.udistrital.edu.co](http://revistas.udistrital.edu.co)

Fuente de Internet

<1%

7

Andrea Mara Henneberg-De León, Daisy  
Briceño. "Ensayos a mezclas de barro  
estabilizadas para el relleno y empañetado de  
paredes de Bahareque", Ingeniería,  
Investigación y Tecnología, 2016

Publicación

<1%

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### Contenido

PORTADA .....	- 1 -
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	- 3 -
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	- 4 -
ÍNDICE DE CUADROS .....	- 5 -
ÍNDICE DE ANEXOS .....	- 5 -
AGRADECIMIENTO .....	- 7 -
DEDICATORIA .....	- 8 -
RESUMEN .....	- 9 -
INTRODUCCIÓN .....	- 11 -
DESARROLLO: .....	- 12 -
Fundamentación Teórica .....	- 12 -
Ingeniería civil .....	- 12 -
Mecánica de suelos .....	- 13 -
Capacidad Portante de suelos .....	- 14 -
Tipos de suelos .....	- 14 -
Límites de Atterberg .....	- 16 -
Ensayos a realizar .....	- 17 -
Caso Práctico .....	- 18 -
Suelo arcilloso .....	- 18 -
Suelo arenoso .....	- 29 -
Resultados de carga última y admisible .....	- 32 -
Carga del edificio .....	- 34 -
Capacidad de carga suelo natural vs estructura .....	- 35 -
Mejoramiento .....	- 35 -
Análisis .....	- 38 -
CONCLUSIONES .....	- 39 -
RECOMENDACIONES .....	- 39 -

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	- 40 -
ANEXOS .....	- 42 -

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Capas de suelo .....	- 13 -
Ilustración 2. Configuración de columnas de piedra construidas para mejorar la capacidad del suelo.....	- 14 -
Ilustración 3. Diámetro de partículas según el tipo de suelo .....	- 14 -
Ilustración 4. Límites de Atterberg .....	- 16 -
Ilustración 5. Ensayos triaxiales más utilizados.....	- 17 -
Ilustración 6. Coeficiente de balasto (k) .....	- 17 -
Ilustración 7. Localización del lugar donde se extrajo la muestra de arcilla .....	- 18 -
Ilustración 8. Excavación de calicatas y medición de los niveles correspondientes .....	- 19 -
Ilustración 9. Extracción de muestra de suelo (arcilla) con tubo Shelby, aplicando entre 80 y 90 golpes .....	- 19 -
Ilustración 10. Extracción de muestra con el eyector horizontal .....	- 21 -
Ilustración 11. Equipo de compresión .....	- 21 -
Ilustración 12. Medición del ángulo de falla .....	- 22 -
Ilustración 13. Rotura por compresión .....	- 23 -
Ilustración 14. Muestra de suelo sometida a compresión .....	- 23 -
Ilustración 15. Ensayo de Límite Líquido .....	- 25 -
Ilustración 16. Ensayo de Límite plástico.....	- 26 -
Ilustración 17. Gráfica de Límite líquido muestra 1 .....	- 26 -
Ilustración 18. Gráfica de Límite líquido muestra 2 .....	- 27 -
Ilustración 19. Gráfica de Límite líquido muestra 3 .....	- 28 -
Ilustración 20. Ensayo de granulometría por lavado .....	- 29 -
Ilustración 21. Localización del sitio donde se extrajo la muestra de suelo arenoso.....	- 29 -
<i>Ilustración 22. Toma de muestras del suelo arenoso.....</i>	- 30 -
Ilustración 23. Valores referenciales de cohesión en Kg/cm <sup>2</sup> .....	- 33 -
Ilustración 24. Valores referenciales de ángulo de fricción y carga admisible para suelos .....	- 33 -
Ilustración 24. Detalle del mejoramiento en Arcilla.....	- 36 -
Ilustración 25. Detalle del mejoramiento en suelo arenoso.....	- 38 -



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1. Clasificación de suelos según la AASHTO .....	- 15 -
Cuadro No. 2. Nomenclaturas utilizadas en la clasificación de suelos según SUCS- .....	15 -
Cuadro No. 3. Muestra a 1 m .....	- 22 -
Cuadro No. 4. Nomenclaturas Muestra a 2 m .....	- 22 -
Cuadro No. 5. Nomenclaturas Muestra a 3 m .....	- 22 -
Cuadro No. 6. Proceso de cálculo del contenido de humedad .....	- 23 -
Cuadro No. 7. MUESTRA 1 (1m de profundidad) .....	- 26 -
Cuadro No. 8. MUESTRA 2 (2m de profundidad) .....	- 27 -
Cuadro No. 9. MUESTRA 3 (3m de profundidad) .....	- 27 -
Cuadro No. 10. Muestra 1 (tomada a 1m de profundidad).....	- 30 -
Cuadro No. 11. Muestra 2 (tomada a 2m de profundidad).....	- 31 -
Cuadro No. 12. Muestra 3 (tomada a 3m de profundidad).....	- 31 -

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos para el ensayo triaxial del suelo natural.....	- 42 -
Anexo 2. Esfuerzo y ángulo de la muestra de arcilla .....	- 43 -
Anexo 3. Contenido de humedad suelo natural arcilloso .....	- 44 -
Anexo 4. Datos del ensayo de esfuerzos triaxial arcilla .....	- 45 -
Anexo 5. Carga, constante y lectura del esfuerzo .....	- 46 -
Anexo 6. Deformación unitaria .....	- 47 -
Anexo 7. Área corregida de la muestra de suelo.....	- 48 -
Anexo 8. Cálculo del esfuerzo .....	- 49 -
Anexo 9. Esfuerzo normal, radio y abscisa del círculo de Mohr .....	- 50 -
Anexo 10. Cálculo de la resistencia al corte del suelo natural arcilla .....	- 51 -
Anexo 11. Gráfica esfuerzo vs deformación .....	- 52 -
Anexo 12. Resultados de los ensayos del suelo natural arenoso a 1m .....	- 53 -
Anexo 13. Resultados de los ensayos del suelo arenoso a 2 m.....	- 54 -
Anexo 14. Resultados de los ensayos del suelo arenoso a 3m.....	- 55 -
Anexo 15. Estratigráfica del suelo natural arenoso .....	- 56 -
Anexo 16. Resultados de los ensayos a suelo natural arcilla a 1m .....	- 57 -
Anexo 17. Resultados de los ensayos a suelo natural arcilla a 2m .....	- 58 -
Anexo 18. Resultados de los ensayos a suelo natural arcilla a 3m .....	- 59 -
Anexo 19. Estratigrafía de suelo natural arcilloso .....	- 60 -

Anexo 20. Fachada transversal del edificio empleado en el cálculo de la carga solicitada .....	- 61 -
Anexo 21. Detalle de losa y cimentación de la edificación usada en el cálculo de la carga solicitante .....	- 62 -

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecido Siempre con Dios quien me mantiene con vida y me permite contar con mis padres, Bolívar Vinueza y Totty Vega a quienes les debo todo y son parte fundamental en mi vida, quienes siempre estuvieron ahí cuando los necesitaba, a los docentes de la UTMACH que con su labor de enseñanza nos han guiado día a día a cumplir esta meta, así mismo mis compañeros y amigos que he formado en este tiempo de estudio, con quienes se crearon lazos de hermandad y fueron un gran apoyo con un mismo objetivo el cual es el de graduarnos, a las personas que estuvieron en este trayecto de paso, que de una u otra forma dejaron una gran enseñanza. Y el apoyo constante de mi tutor de Tesis Ing. Paul Cabrera Gordillo por guiarme en este trabajo.

**Patricio Salvador Vinueza Vega**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a mis padres Bolivar Vinueza y Totty Vega, quienes nunca dejaron de creer en mí y siempre fueron ese soporte y apoyo en la carrera y en mi vida, a quienes les estaré eternamente agradecido por todo ya que lo soy y el profesional en el que me convertiré es un triunfo de ellos, de igual manera espero que este trabajo sirva para futuras promociones y puedan guiarse del mismo.

**Patricio Salvador Vinueza Vega**

## RESUMEN

La ingeniería civil dentro de la sociedad juega un papel importante y casi indispensable en el desarrollo de la misma, gracias a esta ciencia a lo largo de la historia se ha podido construir grandes obras arquitectónicas que hasta el día de hoy son renombradas mundialmente. Sin embargo, es una disciplina que va concatenada con otros preceptos o subdisciplinas para lograr el éxito en los proyectos propuestos, tal es el caso del estudio de suelos; mismo que al darse de manera adecuada y oportuna ayuda a que cada construcción dure el tiempo estimado sin sufrir daños prematuros que afectan la seguridad e integridad de las personas que habitan la estructura.

En la ciudad de Machala es importante que se realicen este tipo de estudios, debido a que por su ubicación geográfica gran parte del suelo tiene un elevado nivel freático, principalmente en la zona sur (cerca al Océano Pacífico), por lo que para construir de manera segura y eficiente se debe conocer el tipo de suelo con el que se trabajará para poder actuar de manera correcta frente a la situación que se presente.

En este proyecto se busca calcular la capacidad portante de dos tipos de suelo, cuyas muestras han sido tomadas de dos sitios diferentes a 3 profundidades: 1, 2 y 3 m; los ensayos se los ha realizado en los laboratorios de suelos de la Universidad Técnica de Machala y los resultados se los ha obtenido utilizando el software Excel que facilita la ejecución de cálculos, obtención de curvas y demás datos requeridos.

**Palabras claves:** ingeniería civil, estudio de suelos, construcción, nivel freático, AASHTO

## **ABSTRACT**

Civil engineering within society plays an important and almost indispensable role in its development, thanks to this science throughout history it has been possible to build great architectural works that to this day are world renowned. However, it is a discipline that is concatenated with other precepts or sub-disciplines to achieve success in the proposed projects, such is the case of the soil study; The same that realizing it in a proper and timely manner helps each construction last the estimated time without suffering premature damage that proves the safety and integrity of the people who inhabit the structure.

In the city of Machala it is important that these types of studies be carried out, because due to its geographical location, a large part of the soil has a high water table, mainly in the southern area (near the Pacific Ocean), so to build in a safe and efficient way, you must know the type of soil with which you will be working in order to act correctly in the face of the situation that arises.

This project seeks to calculate the bearing capacity of two types of soil, the samples have been taken from two different sites at 3 depths: 1, 2 and 3 m; The tests have been carried out in the soil laboratories of the Technical University of Machala and the results have been obtained using Excel software that facilitates the execution of calculations, obtaining curves and other required data.

**Keywords:** civil engineering, soil survey, construction, water table, AASHTO

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil es una disciplina casi indispensable en la sociedad, puede que no ayude a curar enfermedades o inculcar aprendizaje directamente, pero si soluciona la vida de las personas, cuando se piensa en la ingeniería se piensa en la resolución de problemas para lo cual aplica una serie de conocimientos científicos que mediante la utilización de otras herramientas ya sea manuales o tecnológicas, se hace posible esto [1]. La idea de solución de un ingeniero civil parte del hecho de que conoce la posibilidad de encontrar más de una solución y con la posibilidad de baja factibilidad, según los recursos que tenga a la mano; todo esto bajo los parámetros de seguridad requerida.

Dentro de esta extensa área que maneja la construcción de estructuras, el estudio del impacto ambiental, construcción de carreteras, puentes, redes de alcantarillado, agua potable, entre otras, se encuentra el estudio de suelos o mecánica de suelos, que constituye una parte fundamental para el correcto desempeño de la ingeniería civil en la sociedad, a través de ensayos de materiales realizados en laboratorios especializados es posible determinar la capacidad que tiene el suelo para sostener el peso de una construcción. También se puede determinar sus propiedades mediante sus perfiles tomados de acuerdo al terreno [2].

Debido a la ubicación geográfica del Ecuador es muy probable que ocurran eventos sísmicos y que debido a eso las estructuras sufran las consecuencias. Por ello a más de utilizar materiales de calidad y colocar refuerzos o demás técnicas constructivas, es importante conocer el tipo de suelo sobre el cual se piensa construir puesto que según la Norma Ecuatoriana de la Construcción se debe ensayar muestras de suelo y clasificarlas según la AASHTO y SUCS, para determinar el tipo de suelo con el que se va a trabajar y con ello conocer su capacidad portante [3].

Actualmente en la ciudad de Machala y en el resto del país según reglamentos, es necesario realizar estudios de suelo previo a la construcción de cualquier estructura, pero solamente es obligatorio cuando esta estructura corresponde a un edificio (mayor a 3 plantas), lo cual en parte es bueno, pues es pensado con el fin de resguardar la seguridad de sus ocupantes, pero que sin duda al tratarse de una construcción de una o 2 plantas pone en riesgo la estabilidad de la misma considerando que en la cultura del país predomina el pensamiento del ahorro.

El desarrollo de este trabajo es en busca de la solución a la problemática sobre ¿Cómo calcular la capacidad portante de suelos en arcillas y arenas para viviendas de 3 pisos en la ciudad de Machala? Para ello se realizan estudios de laboratorio y mecánica de suelos, siguiendo los lineamientos de las normativas técnicas y legales vigentes, tomando muestras de la Avenida Palmeras y Circunvalación Sur Y vía Pajonal para verificar si el terreno soporta o no una edificación de 3 plantas. Los ensayos fueron realizados en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Civil en el laboratorio de mecánica de suelos.

El objetivo del estudio es Obtener la capacidad portante de las muestras de arcilla y arena mediante un análisis en laboratorio para determinar si los terrenos soportan la carga de una vivienda de 3 pisos.

### **DESARROLLO:**

Comprende la realización del proyecto, conjugando los criterios e ideas conceptuales hasta su aplicación en el cálculo de la capacidad portante del suelo.

### **Fundamentación Teórica**

En este apartado se muestran conceptualizaciones basadas en la información obtenida de artículos científicos, que ayudan a dar contexto a la temática planteada.

#### *Ingeniería civil*

Es una disciplina que forma parte como muchas otras de la ingeniería, utiliza algunos conocimientos técnicos como: cálculo, física e hidráulica con el fin de diseñar estructuras garantizando su construcción y mantenimiento. Estas infraestructuras pueden ser carreteras, puentes, aeropuertos, presas, edificios, etc.

A raíz de la revolución industrial que produjo una implementación masiva de maquinarias en los distintos círculos sociales, surgió la necesidad de capacitar profesionales para el manejo industrial. Posterior a este suceso se suscitaron cambios que a su vez mejoraban la calidad de las obras públicas y demás actividades ejercidas por la población [4].

Actualmente son muchas las tendencias que se han planteado en torno a los defectos revelados durante estudios a estructuras construidas por un ingeniero civil, pero esta no es la única razón pues, se ha podido determinar que en los procesos políticos en donde la participación de un ingeniero es casi nula, no existen planes de sostenibilidad y estos por su parte tampoco ponen demasiado interés en temas ambientales [5].



En este punto se aclara que todo profesional de la ingeniería civil, debe ser capacitado para que afronte estos problemas y riesgos para servir a la comunidad de manera más eficiente.

### Mecánica de suelos

La mecánica de suelos es una disciplina que se encarga de estudiar las cargas que se aplican en la superficie del suelo y el comportamiento de este frente a los esfuerzos que es sometido.

Previo a la construcción de cualquier estructura, es importante que se realice un buen estudio del suelo sobre el cual se edificará, pues se debe conocer las características del mismo para que así sea más fácil realizar una correcta reposición del suelo, con ello la construcción será más firme siendo esto el mejor factor de seguridad.

La mecánica de suelos es en sí el estudio del suelo en donde se implantará la obra, la composición del suelo está conformada principalmente por: limo, arcilla, arena y grava; existiendo entre ellas varias combinaciones y subclasificaciones.

Para cada obra se requiere de una estabilidad diferente del suelo, aunque lo ideal es que antes de realizar una construcción se compacte el suelo; en casos como terraplenes el suelo debe ser de alta resistencia y bien compactados, a manera que no exista peligro de deslizamiento. Es importante que se realicen los estudios pertinentes en un laboratorio especializado, en donde determinen las características del suelo para en base a ello conocer si es un suelo apto para el proyecto planificado y así poder darle el tratamiento adecuado [6].

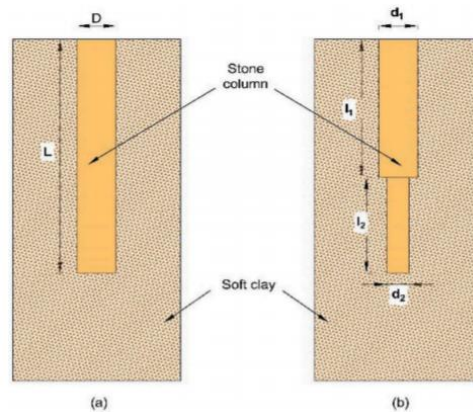


**Ilustración 1. Capas de suelo**

**Fuente: [7]**

### Capacidad Portante de suelos

En términos constructivos y de ingeniería, esta es la capacidad que tiene el suelo o terreno para soportar las cargas que se aplican sobre él, en otras palabras, es la presión máxima de contacto que existe entre el suelo y la cimentación.



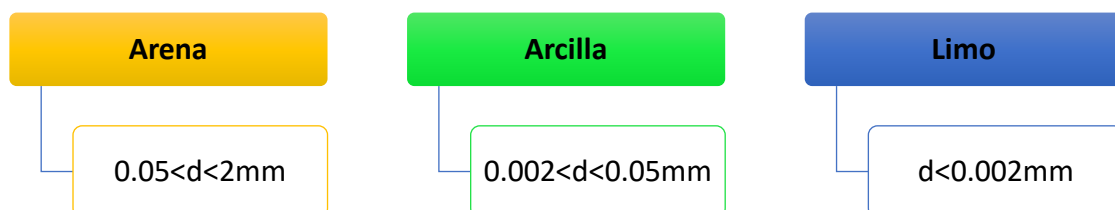
**Ilustración 2. Configuración de columnas de piedra construidas para mejorar la capacidad del suelo**

**Fuente: [8]**

Esta capacidad puede variar dependiendo de la composición del suelo. Para mejorar esta condición se utilizan varios métodos como la reposición de suelos, colocación de pilotes que transfieren las cargas hasta una zona resistente del suelo, también está la construcción de columnas de piedra, estas son utilizadas para aumentar la capacidad del suelo reduciendo la posibilidad de sufrir asentamientos y lograr una estructura más firme [8].

### Tipos de suelos

En la composición del suelo intervienen varios elementos, estos son: minerales, microorganismos animales y vegetales, agua y aire. Las propiedades del suelo ya sean físicas, color o porosidad se definen por la forma y tamaño de las partículas que lo conforman [9].



**Ilustración 3. Diámetro de partículas según el tipo de suelo**

**Fuente: [10]**

Según su textura, pueden existir 3 tipos de suelo: arenoso, arcilloso y limoso.

El suelo arenoso es más común encontrarlo en ríos o en sus alrededores, es muy permeable y de baja cohesión; el suelo arcilloso es muy fino y cuando está saturado de agua tiene una textura muy blanda, es un suelo muy pesado y dificulta el drenaje de agua; el suelo limoso es partículas intermedias, mezclado con otros tipos de suelo es muy utilizado en trabajos de reposición de suelos.

Existen dos sistemas de clasificación de suelos que son comúnmente utilizados en estudios de ingeniería, previo a la ejecución de una obra, estos son: AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) [3].

La AASHTO clasifica el suelo en 7 grupos que van desde el A-1 hasta A-7. Este es un método que se usa principalmente para construcción de carreteras debido a que clasifica el material de la subrasante, los suelos se dividen por grupos de acuerdo a sus características.

**Cuadro No. 1. Clasificación de suelos según la AASHTO**

A-1	Material granular en donde el material pasante del tamiz N°200 $\leq$ 35%
A-2	
A-3	
A-4	Material granular en donde el material que pasa el tamiz N°200 $>$ 35%
A-5	
A-6	
A-7	

**Fuente: Elaboración propia**

La clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se realiza en base a ensayos de laboratorio como granulometría, Límite líquido y Límite Plástico; tomando como referencia la gráfica de la curva de plasticidad. Este sistema clasifica el suelo en 3 grupos: Suelos granulares gruesos, suelos granulares finos, suelos altamente orgánicos.

**Cuadro No. 2. Nomenclaturas utilizadas en la clasificación de suelos según SUCS**

<b>G</b>	Grava (Gravel)
<b>S</b>	Arena (Sand)
<b>M</b>	Limo inorgánico (Mo y Mjala)

<b>C</b>	Arcilla (Clay)
<b>O</b>	Suelos Orgánicos (Organic)
<b>Pt</b>	Turba (Peat)
<b>H</b>	Alta Plasticidad (High plasticity)
<b>L</b>	Baja plasticidad (Low plasticity)
<b>W</b>	Bien graduados (Well graded)
<b>P</b>	Mal graduados (Poorly graded)

Fuente: Elaboración propia

### Límites de Atterberg

También conocidos como límites de consistencia o de plasticidad, se utilizan para determinar el comportamiento del suelo fino a lo largo del tiempo; el límite líquido y el límite plástico representan un rango que está dentro del contenido de humedad del suelo en donde este es plástico [11].

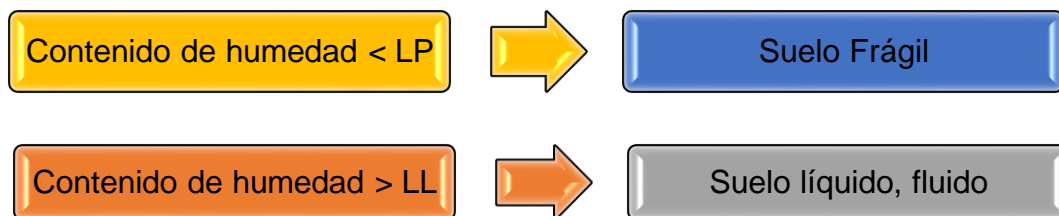


Ilustración 4. Límites de Atterberg

Fuente: [11]

Los ensayos de los límites de Atterberg se realizan para la clasificación de suelos por el método SUCS, originalmente se crearon con fines de agronomía, pero luego fueron modificados para la mecánica de suelos.

Para poder realizar estos ensayos el material debe ser pasante del tamiz N°40, es decir, material fino que contiene arena, limo y arcilla; estos ensayos son:

- Contenido de humedad: Relación entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca, expresado en porcentaje.
- Límite líquido: contenido de agua en el límite entre los estados semi líquido y plástico
- Límite plástico: contenido de agua en el límite entre los estados semi sólido y plástico
- Índice de plasticidad: diferencia entre LL y LP o rango en donde el suelo es plástico.

### Ensayos a realizar

**Ensayo Triaxial:** es un método empleado para determinar la resistencia al cortante del suelo. En este ensayo se reviste de látex a un cilindro de suelo y se lo coloca dentro de una cámara a presión, ambas caras tienen discos porosos conectados a un sistema de drenaje que lo satura o drena de agua. En los ensayos triaxiales sin drenaje la variación de presión intersticial corresponde a la variación de tensiones totales [12].

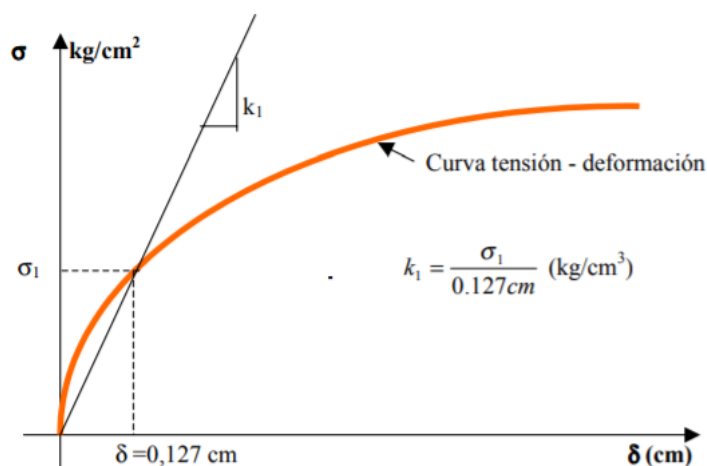
TIPO DE ENSAYO	PROCESO DE CONSOLIDACIÓN	PROCESO DE ROTURA	PARÁMETROS OBTENIDOS	OBSERVACIONES
UU Sin consolidación y sin drenaje.	No hay drenaje	No hay drenaje	$c_u$ y $\Phi_u$	No se mide la presión intersticial. El proceso de rotura es rápido.
CU Con consolidación y sin drenaje.	Hay drenaje	No hay drenaje	$c_u$ y $\Phi_u$	No se mide la presión intersticial. El proceso de rotura es rápido.
CUU Con consolidación, rotura sin drenaje y medida de presiones intersticiales.	Hay drenaje	No hay drenaje	$c'$ y $\Phi'$	Se mide la presión intersticial. Proceso de rotura con velocidad adecuada para que se equilibren las presiones intersticiales.
CD Con consolidación y con drenaje.	Hay drenaje	Hay drenaje	$c_d$ y $\Phi_d$	Se mide la variación de volumen del agua intersticial. Velocidad de rotura adecuada para que no se generen tensiones intersticiales durante el proceso de rotura.

**Ilustración 5. Ensayos triaxiales más utilizados**

Fuente: [13]

**Coeficiente de Balasto (k):** es una medida que resulta de la división entre la presión (p) en un punto y el asentamiento (y) que ésta produce.

$$K_s = \frac{p}{y}$$



**Ilustración 6. Coeficiente de balasto (k)**

Fuente: [14]

Este coeficiente depende principalmente de 2 factores: propiedades del suelo y el área cargada sobre el suelo.

**Ensayo SPT:** es un método comúnmente utilizado para definir las características, propiedades y estratificación del suelo; como resultado también se obtiene la capacidad de resistencia a la penetración que se la obtiene en base al número de golpes efectuados a diferentes profundidades.

Una vez excavado y realizada la prueba se toma las muestras y se cuenta el número de golpes que han sido necesarios para excavar los 15 primeros centímetros ( $N_{0-15}$ ), luego se introduce otros 30 cm y se cuenta los golpes necesarios cada 15 cm ( $N_{15-30}$  y  $N_{30-45}$ )

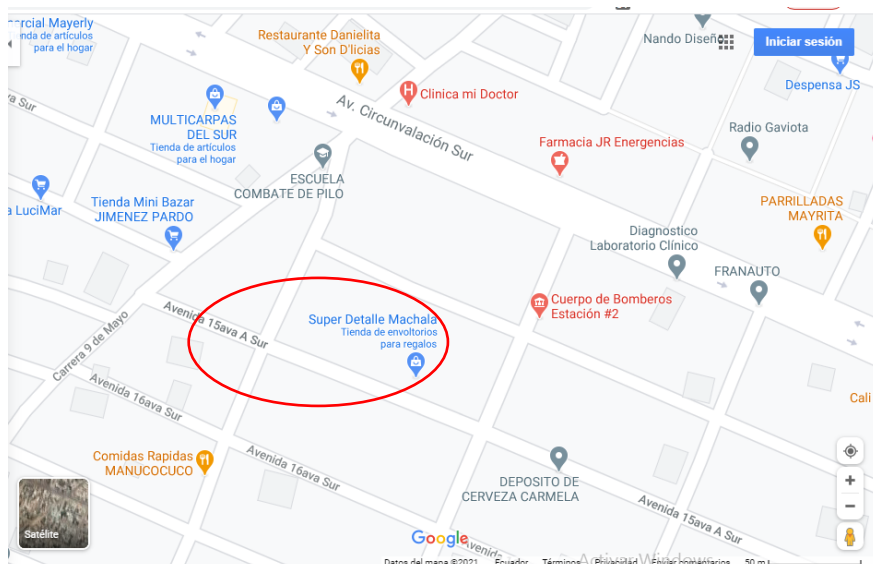
$$N_{SPT} = N_{15-30} \text{ y } N_{30-45}$$

### Caso Práctico

Para desarrollar este trabajo es necesario tener la muestra de 2 tipos de suelo, en este caso: suelo arenoso y suelo arcilloso, cuyas muestras se tomaron en diferentes sitios debido a que en la ciudad es difícil conseguir ambas en el mismo lugar.

#### Suelo arcilloso

- La muestra de suelo arcilloso fue extraída en un sitio ubicado en la Av. Las Palmeras y Circunvalación Sur.



**Ilustración 7. Localización del lugar donde se extrajo la muestra de arcilla**

**Fuente:** [15]



- Para la extracción de las muestras se utilizó una retroexcavadora, con la que se cavó a 1, 2 y 3m de profundidad, para tomar una muestra de suelo con el tubo Shelby a cada nivel.



**Ilustración 8. Excavación de calicatas y medición de los niveles correspondientes**

**Fuente: El autor**



**Ilustración 9. Extracción de muestra de suelo (arcilla) con tubo Shelby, aplicando entre 80 y 90 golpes**

**Fuente: El Autor**

- Con las muestras obtenidas, se procede a realizar los ensayos respectivos en el laboratorio de suelos; siendo estos:
  1. Compresión simple
  2. Contenido de humedad
  3. Limite líquido
  4. Limite plástico
  5. Índice de Plasticidad
  6. Granulometría por lavado

### 1) Ensayo de compresión simple

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia del suelo a una compresión simple, obteniendo como resultado la curva de esfuerzo-deformación, la resistencia a la compresión simple y el ángulo de fricción.

$$2D \leq H \leq 2.5D$$

$$H_m = \text{Altura inicial de la probeta}$$

$$A_m = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6}$$

**Donde:**

$$A_m = \text{Área media}$$

$$A_s = \text{Área superior}$$

$$A_c = \text{Área central}$$

$$A_i = \text{Área inferior}$$

$$\varepsilon = \text{Deformación unitaria}$$

$$\text{DEFORMACIÓ UNITARIA} = \text{DEFORMACIÓN} / H_m$$

$$\varepsilon = \frac{\text{Deformación}}{H_m}$$

$$\text{Área Corregida} = \frac{A_m}{1 - \varepsilon}$$

$$\text{CARGA} = \text{Lectura del Dial de carga} \times \text{Constante el Anillo}$$

$$\nabla = \text{Esfuerzo Normal}$$

$$\text{Esfuerzo Normal} = \frac{\text{Carga}}{\text{área corregida}}$$

### • EQUIPO

- ❖ Máquina de compresión simple con marco de carga, dial de carga y dial de deformación.
- ❖ Cortador de muestras con segueta de alambre.
- ❖ Balanza de 0,01 gm de precisión
- ❖ Molde para tallar caras.
- ❖ Deformímetro.



- ❖ Molde para tallar caras.
- ❖ Calibrador
- ❖ Cápsulas metálicas
- ❖ Horno.

#### • PROCEDIMIENTO

- ❖ Usando el calibrador vernier, se procede a medir el diámetro interior y altura del tubo Shelby, el diámetro del tubo de carga y la longitud de la capa permeable.
- ❖ Una vez obtenidas las muestras en los tubos, se las debe extraer a presión con la ayuda del eyector de muestra horizontal.



**Ilustración 10. Extracción de muestra con el eyector horizontal**

**Fuente: El autor**

- ❖ Colocar la muestra entre el moldeador de cilindros y recortar los bordes excedentes hasta que coincidan con los de las placas moldeadoras.
- ❖ Medir los diámetros: superior, central e inferior de la muestra.
- ❖ Colocar la muestra en la máquina compresión simple (no confinada), bajo el anillo de medición.



**Ilustración 11. Equipo de compresión**

**Fuente: El autor**

- ❖ Proceder a comprimir la muestra, tomando el tiempo, la carga, y la lectura del micrómetro.
- ❖ Realizar el mismo procedimiento para cada muestra, obtener datos y realizar cálculos.

**Cuadro No. 3. Muestra a 1 m**

Longitud	Diámetro Superior	Diámetro Central	Diámetro Inferior
9.12 cm	3,65 cm	3,62 cm	3,68 cm

Fuente: El autor

**Cuadro No. 4. Nomenclaturas Muestra a 2 m**

Longitud	Diámetro Superior	Diámetro Central	Diámetro Inferior
9.32 cm	3,63 cm	3,61 cm	3,65 cm

Fuente: El autor

**Cuadro No. 5. Nomenclaturas Muestra a 3 m**

Longitud	Diámetro Superior	Diámetro Central	Diámetro Inferior
9.08 cm	3,67 cm	3,64 cm	3,69 cm

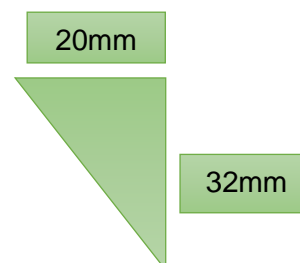
Fuente: El autor

Una vez tomadas las medidas de los cilindros de suelo, se los somete a compresión en donde se obtienen las siguientes longitudes:

Muestra 1 (Tomada a 1m de profundidad):



- Antes de la compresión: 9.12 cm
- Después de la compresión: 8.54 cm
- Un ángulo de falla:



**Ilustración 12. Medición del ángulo de falla**  
Fuente: El autor

Muestra 2 (Tomada a 2m de profundidad):



- Antes de la compresión: 9.32 cm
- Después de la compresión: 8.73 cm
- Un ángulo de falla:

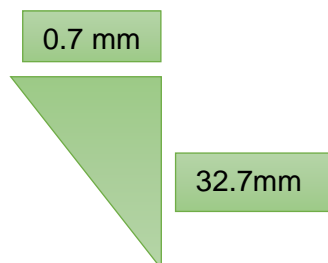


Ilustración 13. Rotura por compresión

Fuente: El autor

Muestra 3 (Tomada a 3m de profundidad):



- Antes de la compresión: 9.08 cm
- Después de la compresión: 8.22 cm
- Un ángulo de falla: recto

Ilustración 14. Muestra de suelo sometida a compresión

Fuente: El autor

## 2) Contenido de humedad

A las mismas muestras con las que se realizó el ensayo de compresión, se les toma el peso húmedo y el peso seco luego de secarlas en el horno durante un lapso de 18 a 24 horas.

**Cuadro No. 6. Proceso de cálculo del contenido de humedad**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		
Proyecto: Extracción de suelo con arcilla		Operador: Salvador Vinueza
CONTENIDO DE HUMEDAD		
Perforación #: 1, 2 y 3 m		Ubicación: Fecha:

GRUPO	PESO	1	2	3
RECIPIENTE	-	-	-	-
Peso del suelo húmedo + recipiente ( $W_1$ )	g	230,81	210,21	174,91
Peso del suelo seco + recipiente ( $W_2$ )	g	212,51	178,83	118,42
Peso del recipiente ( $W_3$ )	-	-	-	-
Peso del agua $W_w = (W_1 - W_2)$	g	18,3	31,38	56,49
Peso del suelo seco $W_s = (W_2 - W_3)$	g	212,51	178,83	118,42
Contenido de Humedad $W_{\%} = \frac{W_w}{W_s} \times 100$	%	8,61	17,55	47,7

Fuente: El autor

### 3) Límite líquido (LL)

Se toma una cantidad de 500 g de muestra de suelo tomada a cada nivel y se la tamiza utilizando el Tamiz N°40, esta cantidad servirá para realizar los ensayos de límite líquido y límite plástico.

- **EQUIPO:**

- ❖ Martillo cabeza de caucho.
- ❖ Tamiz # 40
- ❖ Recipiente de porcelana
- ❖ Piseta con agua
- ❖ Espátula
- ❖ Ranurador
- ❖ Copa de Casagrande
- ❖ Balanza electrónica (sensibilidad 0.01gr.)
- ❖ Recipientes metálicos
- ❖ Horno

- **PROCEDIMIENTO:**

- ❖ Colocar la muestra de arcilla en un recipiente de metal grande, utilizar el martillo de cabeza de goma para deshacer los grumos más grandes y tamizar utilizando el tamiz N° 40.
- ❖ En un recipiente de porcelana, colocar la muestra tamizada y con la ayuda de una piseta, incorporar agua hasta formar una pasta.
- ❖ Calibrar la copa de casa grande con una altura de caída de 1 cm.
- ❖ Poner una porción de la mezcla en el borde de la copa de Casagrande y extenderla con la ayuda de la espátula, luego utilizar el ranurador para cortar en el centro de la pasta.

- ❖ Empezar a dar golpes con la copa, contando dos golpes por segundo, observando hasta que se cierre la ranura, el número de golpes debe estar en un rango de 15 a 35 golpes.
- ❖ Recortar la parte que se unió, colocarla en los recipientes metálicos y pesarla con la ayuda de la balanza. Colocar las muestras al horno para secarlas por un lapso de 18 a 24 horas. Realizar 5 ensayos por cada muestra tomada.



**Ilustración 15. Ensayo de Límite Líquido**

**Fuente: El autor**

#### **4) Límite plástico (LP)**

##### **• EQUIPO:**

- ❖ Martillo cabeza de caucho.
- ❖ Tamiz # 40
- ❖ Recipiente de porcelana
- ❖ Piseta con agua
- ❖ Espátula
- ❖ Varilla de 3 mm de ancho
- ❖ Placa de Vidrio
- ❖ Balanza electrónica (sensibilidad 0.01gr.)
- ❖ Recipientes metálicos
- ❖ Horno

##### **• PROCEDIMIENTO:**

- ❖ Se realiza el mismo procedimiento inicial del ensayo de límite líquido hasta formar una pasta.
- ❖ Hacer una pequeña esfera con la pasta y sobre la placa de vidrio empezar a formar rollos de 3 mm de diámetro aproximadamente.
- ❖ Seguir extendiendo el rollito hasta que empiece a fisurarse.
- ❖ Una vez que se fisuren los rollos, colocarlos en los recipientes metálicos para pesarlos y posteriormente llevarlos a secar al horno por un periodo de 18 a 24 horas.

- ❖ Realizar 3 ensayos por cada muestra.



Ilustración 16. Ensayo de Límite plástico

Fuente: El autor

- Resultados:

Cuadro No. 7. MUESTRA 1 (1m de profundidad)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
N° de ensayo	1	2	3	4	5	1	2	3
N° de Recipiente	R187	R73	R575	R42	R59X	R22	R35	A42
Peso de Recipiente (gr)	19,19	18,53	17,45	18,13	15,95	11,19	11,37	11,68
P. Recipiente + Suelo húmedo	17,15	16,64	15,59	16,06	14,09	10,97	11,10	11,34
P. Recipiente + Suelo Seco	9,81	10,38	9,94	10,51	9,57	9,64	9,60	9,66
Peso del Agua	2,04	1,89	1,86	2,07	1,86	0,22	0,27	0,34
Peso del Suelo Seco	7,34	6,26	5,65	5,55	4,52	1,33	1,50	1,68
Contenido de Humedad	27,79	30,19	32,92	37,30	41,15	16,54	18,00	20,24
N° de Golpes	52	51	19	14	5			
Promedio Cont./ Hum (%)						18,26		

Fuente: El autor

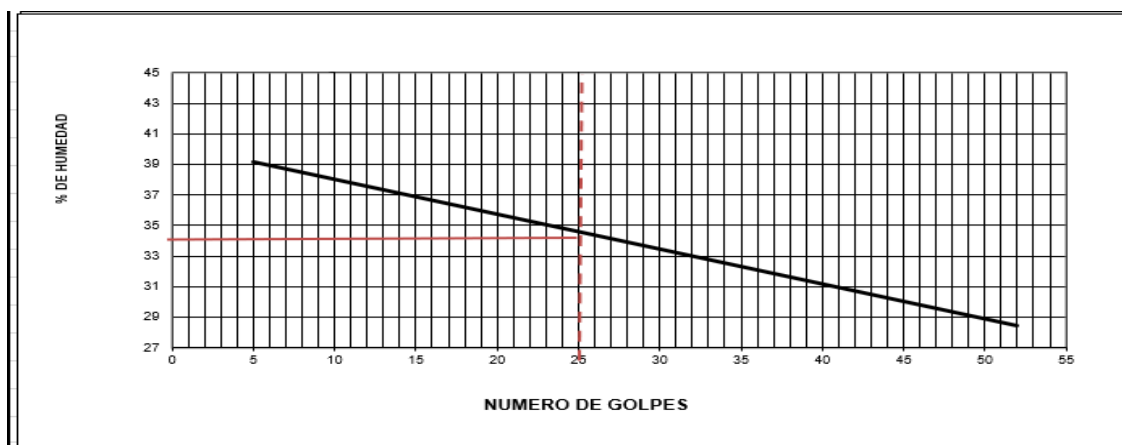


Ilustración 17. Gráfica de Límite líquido muestra 1

Fuente: El autor

- Limite Líquido: 18.26
- Limite Plástico: 35.11

**Cuadro No. 8. MUESTRA 2 (2m de profundidad)**

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
N° de ensayo	1	2	3	4	5	1	2	3
N° de Recipiente	R71	R25	A42	RX7	R20	RX7	R20	R71
Peso de Recipiente (gr)	9,6	9,62	9,66	9,66	9,65	9,66	9,65	9,6
P. Recipiente + Suelo humedo	18,38	17,4	14,89	13,92	13,79	11,2	11,33	12,25
P. Recipiente + Suelo Seco	15,95	15,19	13,33	12,59	12,51	10,92	10,98	11,67
Peso del Agua	2,43	2,21	1,56	1,33	1,28	0,28	0,35	0,58
Peso del Suelo Seco	6,35	5,57	3,67	2,93	2,86	1,26	1,33	2,07
Contenido de Humedad	38,27	39,68	42,51	45,39	44,76	22,22	26,32	28,02
N° de Golpes	45	30	19	13	10			
Promedio Cont./ Humedad (%)						25,52		

Fuente: El autor



**Ilustración 18. Gráfica de Límite líquido muestra 2**

Fuente: El autor

- Limite Líquido: 43.63
- Limite Plástico: 25,52

**Cuadro No. 9. MUESTRA 3 (3m de profundidad)**

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
N° de ensayo	1	2	3	4	5	1	2	3
N° de Recipiente	K14	R22	R20Y	R35	R50	R50	R25	K14
Peso de Recipiente (gr)	9,66	9,64	9,66	9,6	9,6	9,6	9,62	9,66
P. Recipiente + Suelo húmedo	18,94	19,87	17,05	15,3	17,25	11,3	12,36	12,55

<b>P. Recipiente + Suelo Seco</b>	17,03	17,72	15,44	14,02	15,5	10,98	11,94	12,04
<b>Peso del Agua</b>	1,91	2,15	1,61	1,28	1,75	0,32	0,42	0,51
<b>Peso del Suelo Seco</b>	7,37	8,08	5,78	4,42	5,9	1,38	2,32	2,38
<b>Contenido de Humedad</b>	25,92	26,61	27,85	28,96	29,66	23,19	18,10	21,43
<b>N° de Golpes</b>	43	30	22	14	12			
<b>Promedio Cont./ Humedad (%)</b>						20,91		

Fuente: El autor

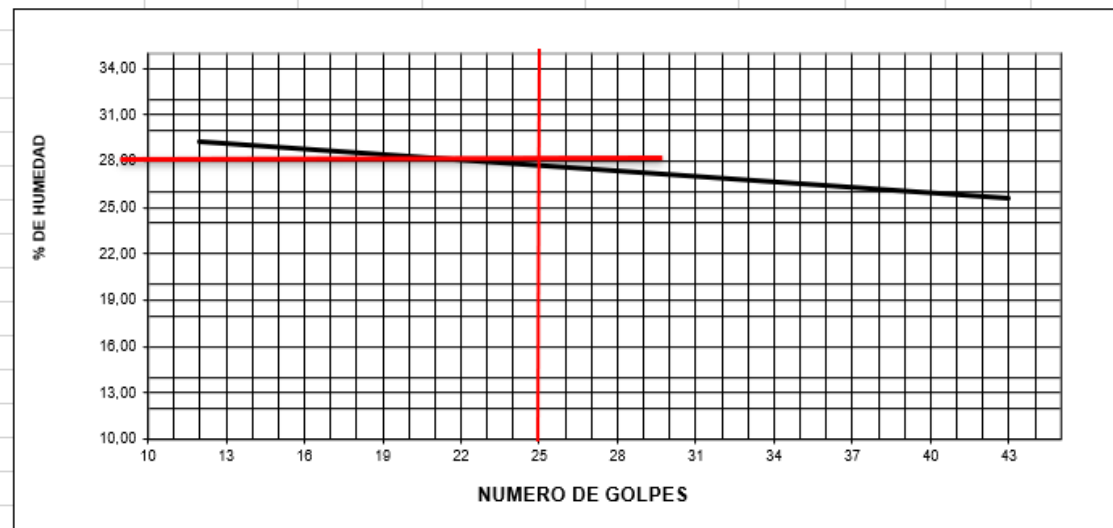


Ilustración 19. Gráfica de Límite líquido muestra 3

Fuente: El autor

- Límite Líquido: 27,23
- Límite Plástico: 20,91

Índice de plasticidad (IP)

Con los datos obtenidos de los ensayos de Límite líquido y Límite plástico, se procede a calcular el índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP$$

**Muestra 1:**

$$IP = 34,6 - 18,26$$

$$IP = \underline{16,34}$$

**Muestra 2:**

$$IP = 42,3 - 25,52$$

$$IP = \underline{16,78}$$

**Muestra 3:**

$$IP = 27,8 - 20,91$$



$$IP = 6.89$$

### 5) Granulometría por lavado

Para realizar este ensayo, se pesa 500 g de muestra.

Aparte se coloca en orden de tamaño los tamices, #10, #40 y #200 respectivamente.

Se procede a lavar el material y luego verificar la cantidad retenida en cada tamiz.

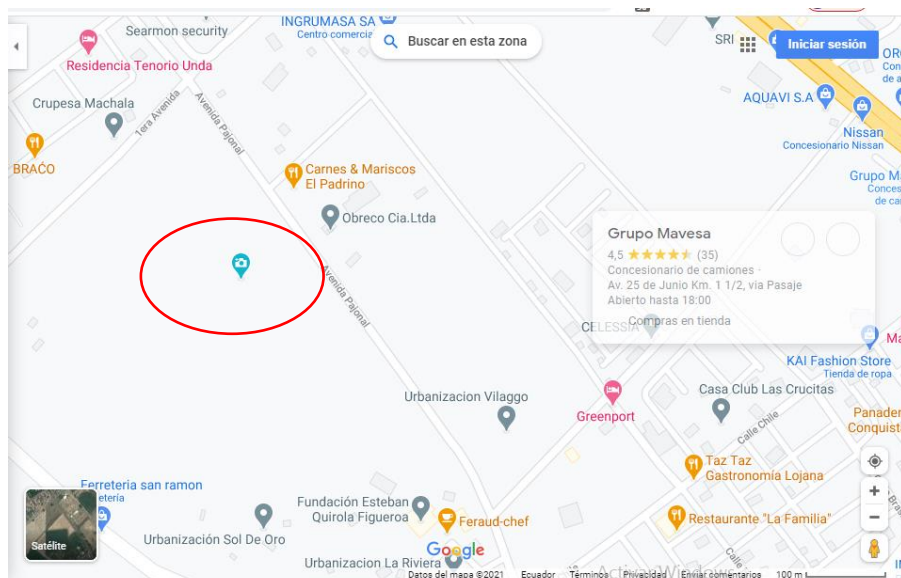


**Ilustración 20. Ensayo de granulometría por lavado**

**Fuente: El autor**

### Suelo arenoso

- La muestra de suelo arenoso fue extraída en un sitio ubicado en la vía Pajonal.



**Ilustración 21. Localización del sitio donde se extrajo la muestra de suelo arenoso**

**Fuente: [15]**



**Ilustración 22. Toma de muestras del suelo arenoso**

**Fuente: El autor**

- Para realizar las excavaciones se utilizó una retroexcavadora para tomar muestras a 1, 2 y 3 m de profundidad.
- Con las muestras obtenidas, se procede a realizar los ensayos respectivos en el laboratorio de suelos; siendo estos:
  1. Contenido de humedad
  2. Limite líquido
  3. Limite plástico
  4. Índice de Plasticidad
  5. Granulometría por lavado

#### **1) Contenido de humedad**

Se toma una pequeña muestra del suelo extraído a cada nivel, se lo coloca en un recipiente, se lo pesa y se coloca en el horno para que se seque en un lapso de tiempo de 18 a 24 horas.

#### **Cuadro No. 10. Muestra 1 (tomada a 1m de profundidad)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
Proyecto: Extracción de suelo con arena		Operador: Salvador Vinueza	
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Perforación #: 1 m		Ubicación:	Fecha:
GRUPO	PESO	Humedad Natural	
RECIPIENTE	g	RX7	R42
Peso del suelo húmedo + recipiente ( $W_1$ )	g	18,93	19,53
Peso del suelo seco + recipiente ( $W_2$ )	g	16,55	17,20
Peso del recipiente ( $W_3$ )	g	9,72	10,56
Peso del agua $W_w = (W_1 - W_2)$	g	2,38	2,33
Peso del suelo seco $W_s = (W_2 - W_3)$	g	6,83	6,64

<b>Contenido de Humedad</b>  $W_{\%} = \frac{W_w}{W_s} \times 100$	%	34.97
--	---	-------

Fuente: El autor

Promedio del Contenido de Humedad: 34.97

**Cuadro No. 11. Muestra 2 (tomada a 2m de profundidad)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
Proyecto: Extracción de suelo con arena		Operador: Salvador Vinueza	
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Perforación #: 2 m		Ubicación:	Fecha:
GRUPO	PESO	Humedad Natural	
RECIPIENTE	g	R20Y	R50
Peso del suelo húmedo + recipiente (W <sub>1</sub> )	g	20,25	16,14
Peso del suelo seco + recipiente (W <sub>2</sub> )	g	17,21	14,24
Peso del recipiente (W <sub>3</sub> )	g	9,76	9,74
Peso del agua W <sub>w</sub> = (W <sub>1</sub> - W <sub>2</sub> )	g	3,04	1,90
Peso del suelo seco W <sub>s</sub> = (W <sub>2</sub> – W <sub>3</sub> )	g	7,45	4,50
Contenido de Humedad  $W_{\%} = \frac{W_w}{W_s} \times 100$	%	41.51	

Fuente: El autor

Promedio del Contenido de Humedad: 41.51

**Cuadro No. 12. Muestra 3 (tomada a 3m de profundidad)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
Proyecto: Extracción de suelo con arena		Operador: Salvador Vinueza	
CONTENIDO DE HUMEDAD			
Perforación #: 3 m		Ubicación:	Fecha:
GRUPO	PESO	Humedad Natural	
RECIPIENTE	g	R51X	R20
Peso del suelo húmedo + recipiente ( $W_1$ )	g	15,30	13,72
Peso del suelo seco + recipiente ( $W_2$ )	g	13,83	12,61
Peso del recipiente ( $W_3$ )	g	9,63	9,68

<b>Peso del agua <math>W_w = (W_1 - W_2)</math></b>	g	1,47	1,11
<b>Peso del suelo seco <math>W_s = (W_2 - W_3)</math></b>	g	4,20	2,93
<b>Contenido de Humedad</b>  $W_{\%} = \frac{W_w}{W_s} \times 100$	%	35,00	37,88

Fuente: El autor

**Promedio del Contenido de Humedad: 36.44**

## 2) Granulometría por lavado

Para este ensayo, se toma una cantidad de 500 g de la muestra.

Se utiliza los tamices en forma vertical, empezando desde el que tiene la abertura más grande hasta el más pequeño, #10, #40 y #200 respectivamente.

Se procede a colocar el material sobre la torre de tamices y se vierte el agua sobre este.

Se lava el material y al final se pesa el material retenido en cada tamiz.

### Resultados de carga última y admisible

Se toma los resultados de los caculos en Excel, los mismos que se aprecian en Anexos; para arcilla se estima mediante el ensayo triaxial y para la arena se toma de tablas al ser suelo no plástico.

#### 1) Arcilla

Se obtiene los siguientes datos:

Ángulo de fricción: 26.5 grados

Carga última: 0.29 Kg/cm<sup>2</sup>.

Cohesión: 0.15 Kg/cm<sup>2</sup>

#### 2) Arena

Sus valores son:

Ángulo de fricción: 25 grados

Carga última: 0.70 Kg/cm<sup>2</sup>

Cohesión: 0.05 Kg/cm<sup>2</sup>

Arcilla rígida	0.25
Arcilla semirígida	0.1
Arcilla blanda	0.01
Arcilla arenosa	0.05
Limo rígido o duro	0.02

Ilustración 23. Valores referenciales de cohesión en Kg/cm<sup>2</sup>

**Fuente: [16]**

Tipo de suelo	Consistencia	Angulo de fricción interna $\phi$ en grados	Peso específico en kg/cm <sup>3</sup>
Arena gruesa o arena con grava	Compacta	40	2250
	suelta	35	1450
Arena media	Compacta	40	2080
	suelta	30	1450
Arena limosa fina o limo arenoso	Compacta	30	2080
	suelta	25	1365
Limo uniforme	Compacta	30	2160
	suelta	25	1365
Arcilla – limo	Suave a mediana	20	1440 – 1920
Arcilla limosa	Suave a mediana	15	1440 – 1920
Arcilla	Suave a mediana	0.1	1440 – 1920

Ilustración 24. Valores referenciales de ángulo de fricción y carga admisible para suelos

**Fuente: [16]**

La arcilla es blanda y la arena suelo no plástico mezclada con arcilla y limo; estando dentro de los valores referenciales.

### Carga del edificio

Se toma como referencia a un inmueble situado en el cantón Pasaje, Provincia de El Oro; el proyecto del señor Torres Gaona ubicado en la calle San Martín entre independencia y 9 de Mayo”; consta de una vivienda de tres pisos de uso multifamiliar. El proyecto cumple con todos los requisitos de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC\_2015) y a entera satisfacción de los supervisores [17]; los datos de interés para el estudio son:

- Profundidad de desplante es 1.5 m
- Asentamientos menores a 3 cm
- Zapata corrida, tipo cuadrada en relación D/B de 0.25 a 1.0
- El factor de seguridad será como mínimo 3.0

Los datos para estimar la carga distribuida son:

Nro de pisos: 3 pisos

Peso por piso: 700 toneladas

Cantidad de columnas: 18

Área de columnas: 0.3 x 0.3 cm, 0.09 m<sup>2</sup>

Área del edificio: 133.51 m<sup>2</sup> por planta

Debido a la forma de la losa y la disposición de las 18 columnas, el área tributaria es de 1/6 la superficie del piso.

$$Carga\ distribuida = \left( \frac{3 * 700}{\frac{133.51}{6}} \right) * 3 = 283.12 \frac{Ton}{m^2}$$

Al ser simétrico y pesar lo mismo, se multiplica por 3 la carga sumando cada piso hacia la zapata.

$$Carga\ por\ columna = 283.12 \frac{Ton}{m^2} / 18 = 15.73 \frac{Ton}{m^2}$$

Se divide para 10 para transformar a Kg/cm<sup>2</sup>.

$$Carga\ zapata = \frac{15.73}{10} = 1.57 \frac{Kg}{cm^2}$$

Se procede a comparar con la carga última y admisible del suelo.

### Capacidad de carga suelo natural vs estructura

#### 1) Arcilla

$$q_a > q_r$$

$$0.29 \frac{Kg}{cm^2} < 1.57 \frac{Kg}{cm^2}$$

No cumple con la condición de ser al menos 3 veces la carga solicitada; por lo tanto, requiere al menos de 1.28 Kg/cm<sup>2</sup> de mejoramiento.

#### 2) Arena

$$q_a > q_r$$

$$0.7 \frac{Kg}{cm^2} < 1.57 \frac{Kg}{cm^2}$$

No cumple con la condición de ser al menos 3 veces la carga solicitada; por lo tanto, requiere al menos de 0.87 Kg/cm<sup>2</sup> de mejoramiento.

### Mejoramiento

#### 1) Suelo Arcilloso

Se toma una profundidad de desplante de 0.9 m, donde 60cm son de grava (piedra gruesa), 30 cm de lastre de relleno y 10 cm de replantillo (hormigón de 210 Kg/cm<sup>2</sup>).

Profundidad de desplante, Df;(mts):	<b>0.9</b>
Peso Volumétrico del suelo; Gm (Ton/m <sup>3</sup> ):	<b>2.5</b>
Cohesión del suelo, c; (Ton/m <sup>2</sup> ):	<b>1.5</b>
Ángulo de fricción interna del suelo, Fi (grados):	<b>23</b>
Ancho o Radio del cimiento; B ó R (mts):	<b>1,4</b>
Tipo de suelo:1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	<b>1</b>
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	<b>3,0</b>

- Factores dependientes del ángulo de fricción

Factor de cohesión, Nc =	21.75
Factor de sobrecarga, Nq =	10.23
Factor de piso, Ng =	6

- Para una cimentación cuadrada

$1.3 \cdot C \cdot N_c$	42.4
$G \cdot d_f \cdot N_q$	23.0
$0.4 \cdot g \cdot B \cdot N_g$	6.0

**Capacidad de carga última ( $q_c$ ):**

$$q_c = c' \cdot N'_c + G_m \cdot D_f \cdot N'_q + 0.5 \cdot G_m \cdot B \cdot N'_g$$

$$q_c = 71.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$q_c = 71.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2}$$

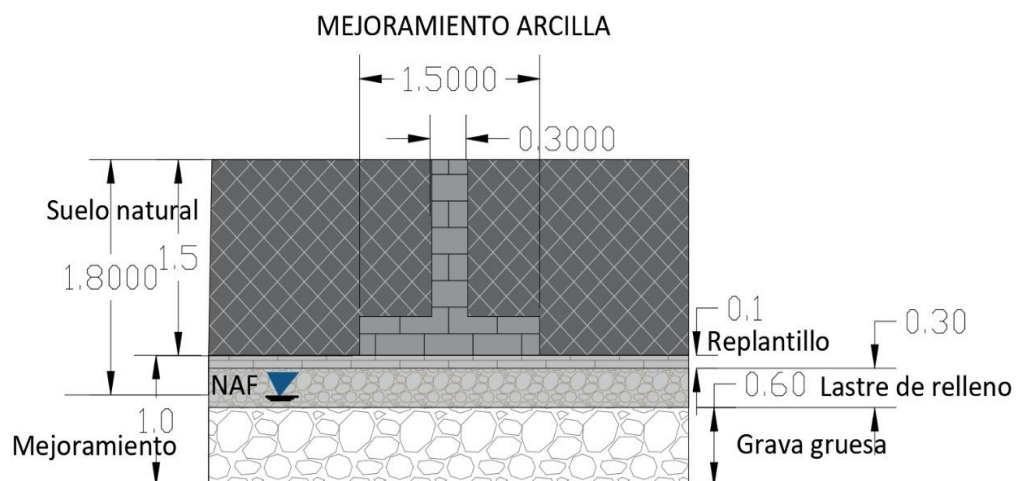
$$q_c = 7.14 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**Capacidad de carga admisible ( $q_a$ ):**

$$q_a = \frac{q_c}{FS}$$

$$q_a = \frac{7.14}{3} \text{ Kg/cm}^2$$

$$q_a = 2.38 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



**Ilustración 25. Detalle del mejoramiento en Arcilla**

**Fuente: El autor**



## **2) Suelo Arenoso**

Profundidad de desplante, Df; (m):	<b>0.6</b>
Peso Volumétrico del suelo; Gm (Ton/m3):	<b>2.5</b>
Cohesión del suelo, c; (Ton/m2):	<b>2</b>
Ángulo de fricción interna del suelo, Fi (grados):	<b>27</b>
Ancho o Radio del cimiento; B ó R (mts):	<b>1,4</b>
Tipo de suelo: 1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	<b>3</b>
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	<b>3,0</b>

- Factores dependientes del ángulo de fricción

Factor de cohesión, Nc =	29.24
Factor de sobrecarga, Nq =	15.90
Factor de piso, Ng =	11.60

- Para todo tipo de cimentación

c'=2/3c=	1.33
N' c= 2/3N' c=	19.49
N' q= 2/3N' q=	10.60
N' g= 2/3N' g=	7.73

**Capacidad de carga última (qc):**

$$qc = c' * N' c + Gm * Df * N' q + 0.5 * Gm * B * N' g$$

$$qc = 55.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$qc = 55.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2}$$

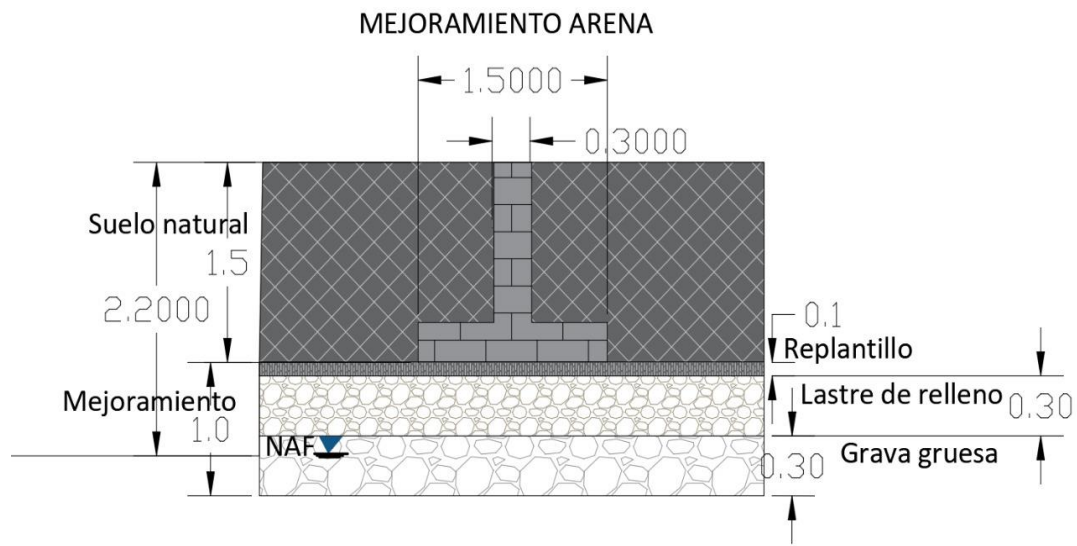
$$qc = 5.54 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**Capacidad de carga admisible (qa):**

$$qa = \frac{qc}{FS}$$

$$qa = \frac{5.54}{3}$$

$$qa = 1.85 \frac{kg}{cm^2}$$



**Ilustración 26. Detalle del mejoramiento en suelo arenoso**

**Fuente: El autor**

### Análisis

Para el suelo arcilloso:

$$qc > qr; 2.38 \frac{Kg}{cm^2} > 1.57 Kg/cm^2$$

La carga admisible es 1.51 veces la carga solicitada por la zapata; por lo tanto, soporta esta reposición de suelos tolera la carga de la edificación.

Para el suelo arenoso:

$$qc > qr; 1.85 \frac{Kg}{cm^2} > 1.57 Kg/cm^2$$

La carga admisible es 1.178 la carga solicitada; por lo cual, el suelo mejorado resista la estructura.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos realizados, se ha podido determinar parámetros que permiten identificar la capacidad del suelo al sometimiento de esfuerzos, con lo cual es posible definir criterios técnicos para el mejoramiento del suelo.
- Los suelos analizados tienen baja capacidad portante; por lo cual, fue necesario un mejoramiento de 0.9 m en el caso de arcilla para responder con 2.38 Kg/cm<sup>2</sup> ante la carga de 1.57 Kg/cm<sup>2</sup>, anterior fue 0.29 Kg/cm<sup>2</sup> suelo natural y en el caso de la arena un mejoramiento de 60 cm con 30 de grava y 30 cm de lastre de relleno para lograr 1.85 Kg/cm<sup>2</sup> frente a 1.57 Kg/cm<sup>2</sup> en contraste con 0.70 Kg/cm<sup>2</sup> de su estado natural.
- El suelo arcilloso y arenoso son de baja capacidad de carga, demandando mejoramiento o reposición de suelos para adicionar capacidad a través de materiales con mejores propiedades mecánicas en el caso de la grava y lastre de relleno en contraste con arcilla/limo que tienen baja cohesión; de modo que este estudio satisface las exigencias del caso práctico.
- En los cálculos y ensayos de mecánica de suelos, se aprecia que al conjugarse teoría y práctica existen variaciones, como la incapacidad de estimar límite líquido/plástico en arena, lo cual dificulta medir su cohesión o la respuesta del suelo ante las condiciones de carga; esto permite consolidar los conocimientos e importancia en el diseño de cimentaciones y garantizar la seguridad e integridad de los ocupantes de los inmuebles.

## RECOMENDACIONES

- Sugerir reposición o mejoramiento de suelo en ambos casos para aumentar su estabilidad estructural y vida útil del proyecto.
- Es necesario inculcar la ejecución de estudios de suelos para el diseño de cimentaciones, priorizando la estabilidad estructura y reducir el riesgo sísmico para prevenir desastres como el terremoto del 16 de abril del 2016.

- Se aconseja conjugar los conocimientos de mecánica de suelos, cimentaciones y diseño estructural para afianzar y dinamizar el proceso de cálculo, mejorar el entendimiento de los resultados e interpretarlos para tomar decisiones oportunas en proyectos e infraestructura civiles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Cruz Zúñiga y E. Centeno Mora, «La construcción epistemológica en Ingeniería Civil: Visión de la Universidad de Costa Rica,» *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*, vol. 19, nº 1, pp. 1-30, 2019.
- [2] A. Bernal, A. Hernández, M. Mesa, O. Rodriguez, P. Gonzalez y R. Reyes, «Características De Los Suelos Y Sus Factores Limitantes De La Región De Murgas, Provincia La Habana,» *Cultivos Tropicales*, vol. 36, nº 2, pp. 30-40, 2015.
- [3] C. Guerrero y L. Cruz, «Estudio experimental de clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en el suroccidente colombiano con el método SUCS, el AASHTO y un nuevo método de clasificación de suelos,» *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 36, nº 2, pp. 378-397, 2018.
- [4] G. Capote León, N. Rizo Rabelo y G. Bravo López, «La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria,» *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 8, nº 1, pp. 21-28, 2016.
- [5] Á. Paredes García, «Estudio de pertinencia de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo,» *Revista San Gregorio*, nº 14, pp. 6-17, 2016.
- [6] C. Chávez Negrete, J. Espinosa Arreola, J. Alarcón Ibarra y J. Arreygue Rocha, «Colapso por humedecimiento en los terraplenes de la autopista Páztcuaro-Uruapan,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 17, nº 2, pp. 201-210, 2016.
- [7] C. Gonzalez Dominguez, «Monitoreo Forestal,» 14 noviembre 2017. [En línea]. Available: [http://www.monitoreoforestal.gob.mx/intercambioexperiencias\\_suelos/](http://www.monitoreoforestal.gob.mx/intercambioexperiencias_suelos/). [Último acceso: 8 abril 2021].
- [8] A. Hamzh, H. Mohamad y M. F. Bin Yusof, «El efecto de la geometría de la columna de piedra en la capacidad de carga del suelo blando,» *Revista Internacional de Ingeniería Geotécnica*, pp. 1-11, 2019.

- [9] J. Camacho, N. Forero, L. Ramírez y Y. Rubiano, «Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia,» *Colombia Forestal*, vol. 20, nº 1, pp. 5-18, 2017.
- [10] Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, «Clasificación del suelo,» [En línea]. Available: <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/31/31448/suelos.pdf>. [Último acceso: 8 abril 2021].
- [11] J. Hernández, B. Fiegueroa y M. Martínez, «Propiedades físicas del suelo y su relación con la plasticidad en un sistema bajo labranza tradicional y no labranza,» *REvista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 10, nº 22, pp. 53-61, 2019.
- [12] R. Oyola y L. Vaca, «Uso de la teoría de Mohr-Coulomb para explicar el mejoramiento de suelos mediante el proceso de compactación.,» *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 12, nº 1, pp. 1-11, 2018.
- [13] Central Madrid, «Mecánica científica S.A.,» [En línea]. Available: [http://mecacisa.com/wp-content/uploads/productos/pdf/22\\_0154.pdf](http://mecacisa.com/wp-content/uploads/productos/pdf/22_0154.pdf). [Último acceso: 8 abril 2021].
- [14] A. Leoni, «Apunte de coeficiente de balasto,» Facultad de Ingeniería U.N.L.P., La Plata.
- [15] Google INC, «Google Maps,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/maps/search/15+Ava+Sur,+Machala/@-3.2694479,-79.9704659,17.78z>. [Último acceso: Abril 2021].
- [16] P. Cabrera, «Parámetros de suelos,» Laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos, Machala, 2021.
- [17] W. Gaona, «Diseño y construcción vivienda multifamiliar de 3 pisos "Torres Gaona", en El Canton Pasaje Provincia De El Oro,» Gesproc-Gestión de proyectos civiles, Machala, 2021.

## ANEXOS

### ENSAYO DE ESFUERZO TRIAXIAL

**P** : Perímetro de la Muestra  
**Ds** : Diámetro Superior de la Muestra  
**Dc** : Diámetro Central de la Muestra  
**Di** : Diámetro Inferior de la Muestra  
**H** : Altura de la Muestra  
**Wp** : Peso de la Muestra

#### PERFORACIÓN 1

### CUADRO DE DATOS

		MUESTRA # 1	MUESTRA #2	MUESTRA # 3
<b>P</b>	(cm)	30	30	30
<b>Ds</b>	(cm)	3,65	3,63	3,67
<b>Dc</b>	(cm)	3,62	3,61	3,64
<b>Di</b>	(cm)	3,68	3,65	3,67
<b>H</b>	(cm)	9,12	9,32	9,08
<b>Wp</b>	(gr)	230,81	210,21	187,50

*Anexo 1. Datos para el ensayo triaxial del suelo natural*

<b>CALCULO DEL ESFUERZO TOTAL ( <math>\sigma</math> )</b>					
$\sigma = \alpha \cdot Z$				$Z =$	30 cm
$\sigma =$	73,16	gr / cm <sup>2</sup>		$\gamma =$	2,44 gr / cm <sup>3</sup>
<b>CALCULO DE LA PRESION DE POROS ( <math>\mu</math> )</b>					
$\mu = \gamma_w \cdot h$				$h =$	8,31 cm
$\mu =$	8,31	gr / cm <sup>2</sup>		$\gamma_w =$	1 gr / cm <sup>3</sup>
<b>CALCULO DEL ESFUERZO EFECTIVO ( <math>\bar{\sigma}</math> )</b>					
$\bar{\sigma} = \sigma + \mu$					
$\bar{\sigma} = \sigma - \mu$					
$\bar{\sigma} =$	64,85	gr / cm <sup>2</sup>	=	0,064849	Kg / cm <sup>2</sup>
<b>CALCULO DEL ANGULO DE FALLA ( <math>\alpha</math> )</b>					
$X =$	2	cm		$Y =$	3,2 cm
$\text{tg } \alpha =$	$\frac{Y}{X}$				
$\alpha =$	32,00	°			

Anexo 2. Esfuerzo y ángulo de la muestra de arcilla

		<b><math>W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100</math></b>				
	<b>MUESTRA N ° 1</b>					
	<b>RECIPIENTE</b>		<b>N °</b>		<b>REE</b>	
	<b>PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE</b>		$W_1$		230,81 gr.	
	<b>PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE</b>		$W_2$		212,51 gr.	
	<b>PESO DEL RECIPIENTE</b>		$W_3$		0,00 gr.	
	<b>PESO DEL AGUA</b>		$W_w = W_1 - W_2$		18,3 gr.	
	<b>PESO DEL SUELO SECO</b>		$W_s = W_2 - W_3$		212,510 gr.	
	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		<b><math>W(\%) = \frac{W_w}{W_s}</math></b>		<b>8,61%</b>	
	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
		<b><math>W(\%) =</math></b>		<b>8,61%</b>		

Anexo 3. Contenido de humedad suelo natural arcilloso



**CALCULO DE LAS AREAS: SUPERIOR - CENTRAL - INFERIOR**

As : Area Superior

Ac : Area Central

Ai : Area Inferior

As : Area Superior

As

=

10,463

cm<sup>2</sup>

Ac : Area Central

Ac

=

10,292

cm<sup>2</sup>

Ai : Area Inferior

Ai

=

10,636

cm<sup>2</sup>**CALCULO DEL AREA MEDIA :**

Am : Area Media

Am

=

10,378

cm<sup>2</sup>

Hm : Altura Media

Hm

=

3,591

plg

**CALCULO DE LA CARGA :****CARGA** = Constante del Anillo x Lectura del Panel

Ingresar Constante del Anillo :

0,140423

Kg/10<sup>-4</sup> plg

Anexo 4. Datos del ensayo de esfuerzos triaxial arcilla

<b>CARGA</b>		<b>CONSTANTE</b>			<b>LECTURA</b>		
<b>Carga # 1</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>3,22</b>	x 10-4 plg =	<b>0,4522</b>
<b>Carga # 2</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>3,95</b>	x 10-4 plg =	<b>0,5547</b>
<b>Carga # 3</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>4,55</b>	x 10-4 plg =	<b>0,6389</b>
<b>Carga # 4</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>5,23</b>	x 10-4 plg =	<b>0,7344</b>
<b>Carga # 5</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>6,10</b>	x 10-4 plg =	<b>0,8566</b>
<b>Carga # 6</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>6,40</b>	x 10-4 plg =	<b>0,8987</b>
<b>Carga # 7</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>7,60</b>	x 10-4 plg =	<b>1,0672</b>
<b>Carga # 8</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>8,40</b>	x 10-4 plg =	<b>1,1796</b>
<b>Carga # 9</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>8,90</b>	x 10-4 plg =	<b>1,2498</b>
<b>Carga # 10</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>10,00</b>	x 10-4 plg =	<b>1,4042</b>
<b>Carga # 11</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>13,20</b>	x 10-4 plg =	<b>1,8536</b>
<b>Carga # 12</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>16,2</b>	x 10-4 plg =	<b>2,2749</b>
<b>Carga # 13</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>18,70</b>	x 10-4 plg =	<b>2,6259</b>
<b>Carga # 14</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>22,1</b>	x 10-4 plg =	<b>3,1033</b>
<b>Carga # 15</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>23,56</b>	x 10-4 plg =	<b>3,3084</b>
<b>Carga # 16</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>25,8</b>	x 10-4 plg =	<b>3,6229</b>
<b>Carga # 17</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>25,8</b>	x 10-4 plg =	<b>3,6229</b>
<b>Carga # 18</b>	=	0,140423	Kg/10-4 plg	x	<b>25,90</b>	x 10-4 plg =	<b>3,6370</b>


Anexo 5. Carga, constante y lectura del esfuerzo

	$\epsilon =$	Deformación / Hm							
$\epsilon_1 =$	10	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>2,785</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_2 =$	20	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>5,570</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_3 =$	30	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>8,355</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_4 =$	40	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>11,140</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_5 =$	50	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>13,925</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_6 =$	60	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>16,711</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_7 =$	70	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>19,496</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_8 =$	80	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>22,281</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_9 =$	90	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>25,066</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_{10} =$	100	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>27,851</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_{11} =$	150	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>41,776</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_{12} =$	200	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>55,702</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_{13} =$	300	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>83,553</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_{13} =$	400	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>111,404</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_{13} =$	500	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>139,254</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_{13} =$	540	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>150,395</b>	x 10 <sup>-3</sup>	
$\epsilon_{13} =$	550	x 10-3	plg	/	3,591	plg =	<b>153,180</b>	x 10 <sup>-3</sup>	

Anexo 6. Deformación unitaria

	<b>Ac = Am / 1 - ε</b>						
<b>Ac<sub>1</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	2,785	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,407</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>2</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	5,570	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,436</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>3</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	8,355	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,465</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>4</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	11,140	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,495</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>5</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	13,925	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,525</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>6</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	16,711	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,554</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>7</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	19,496	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,584</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>8</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	22,281	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,615</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>9</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	25,066	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,645</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>10</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	27,851	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,675</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>11</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	41,776	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,831</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>12</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	55,702	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>10,990</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>13</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	83,553	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>11,324</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>14</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	111,404	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>11,679</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>15</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	139,254	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>12,057</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>16</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	150,395	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>12,215</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>
<b>Ac<sub>17</sub> =</b>	10,378	/ 1	-	153,180	x 10 <sup>-3</sup> =	<b>12,255</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

Anexo 7. Área corregida de la muestra de suelo

		= Carga / Area Corregida									
<b>ESFUERZO 1 =</b>	0,4522	kg	/	10,407	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,0434</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 2 =</b>	0,5547	kg	/	10,436	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,0531</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 3 =</b>	0,6389	kg	/	10,465	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,0611</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 4 =</b>	0,7344	kg	/	10,495	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,0700</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 5 =</b>	0,8566	kg	/	10,525	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,0814</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 6 =</b>	0,8987	kg	/	10,554	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,0851</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 7 =</b>	1,0672	kg	/	10,584	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,1008</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 8 =</b>	1,1796	kg	/	10,615	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,1111</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 9 =</b>	1,2498	kg	/	10,645	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,1174</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 10 =</b>	1,4042	kg	/	10,675	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,1315</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 11 =</b>	1,8536	kg	/	10,831	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,1711</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 12 =</b>	2,2749	kg	/	10,990	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,2070</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 13 =</b>	2,6259	kg	/	11,324	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,2319</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 14 =</b>	3,1033	kg	/	11,679	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,2657</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 15 =</b>	3,3084	kg	/	12,057	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,2744</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 16 =</b>	3,6229	kg	/	12,215	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,2966</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>ESFUERZO 17 =</b>	3,6229	kg	/	12,255	cm <sup>2</sup>	=		<b>0,2956</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>		

Anexo 8. Cálculo del esfuerzo

CALCULO DEL ESFUERZO NORMAL				( G <sub>1</sub> ) :					
		$\sigma_1 =$		G <sub>d</sub> + G <sub>3</sub>					
$\sigma_1$	y	$\sigma_3 =$	Esfuerzos Principales						
$\sigma_d =$			Esfuerzo Deformador						
$\sigma_1 =$		0,2956	x 10 <sup>-3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	+	0,5	kg/cm <sup>2</sup>		
$\sigma_1 =$		0,5003	kg/cm <sup>2</sup>						
CALCULO DE LA ABSCISA AL CENTRO DEL CIRCULO DE MORH ( x ) :									
x =		$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$		=	$\frac{0,5003 \text{ kg/cm}^2 + 0,5 \text{ kg/cm}^2}{2}$				
x =		0,500 kg/cm <sup>2</sup>							
CALCULO DEL RADIO DEL CIRCULO DE MORH ( R ) :									
R =		$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$		=	$\frac{0,5003 \text{ kg/cm}^2 - 0,5 \text{ kg/cm}^2}{2}$				
R =		0,00015 kg/cm <sup>2</sup>							

Anexo 9. Esfuerzo normal, radio y abscisa del círculo de Morh


TIEMPO (mm)	LECTURA $1 \times 10^{-4}$ plg	CARGA Kg	DEFORMC plg $\times 10^{-3}$	DEFORMC UNITARIA $\times 10^{-3}$	AREA CORREG $\text{cm}^2$	ESFUERZO $\text{Kg/cm}^2$	CONTENIDO DE HUMEDAD	
							MUESTRA	1
	3,2	0,452	10	2,785	10,407	0,043	CAPSULA N °	REE
	4,0	0,555	20	5,570	10,436	0,053	PESO CAPS. + S. HUM.	230,81
	4,6	0,639	30	8,355	10,465	0,061	PESO CAPS. + S. SEC.	212,51
	5,2	0,734	40	11,140	10,495	0,070	PESO DEL AGUA	18,3
	6,1	0,857	50	13,925	10,525	0,081	PESO DE LA CAPSULA	0,00
	6,4	0,899	60	16,711	10,554	0,085	PESO DEL S. SECO	212,51
	7,6	1,067	70	19,496	10,584	0,101	HUMEDAD %	8,61%
	8,4	1,180	80	22,281	10,615	0,111		
	8,9	1,250	90	25,066	10,645	0,117		
	10,0	1,404	100	27,851	10,675	0,132		
	13,2	1,854	150	41,776	10,831	0,171		
	16,2	2,275	200	55,702	10,990	0,207		
	18,7	2,626	250	83,553	11,324	0,232		
	22,1	3,103	300	111,404	11,679	0,266		
	23,6	3,308	400	139,254	12,057	0,274		
	25,80	3,623	500	150,395	12,215	0,297		
	25,80	3,623	540	153,180	12,255	0,296		

Area Corregida =  $\frac{A_m}{1 - \text{Deform. Unit.}}$

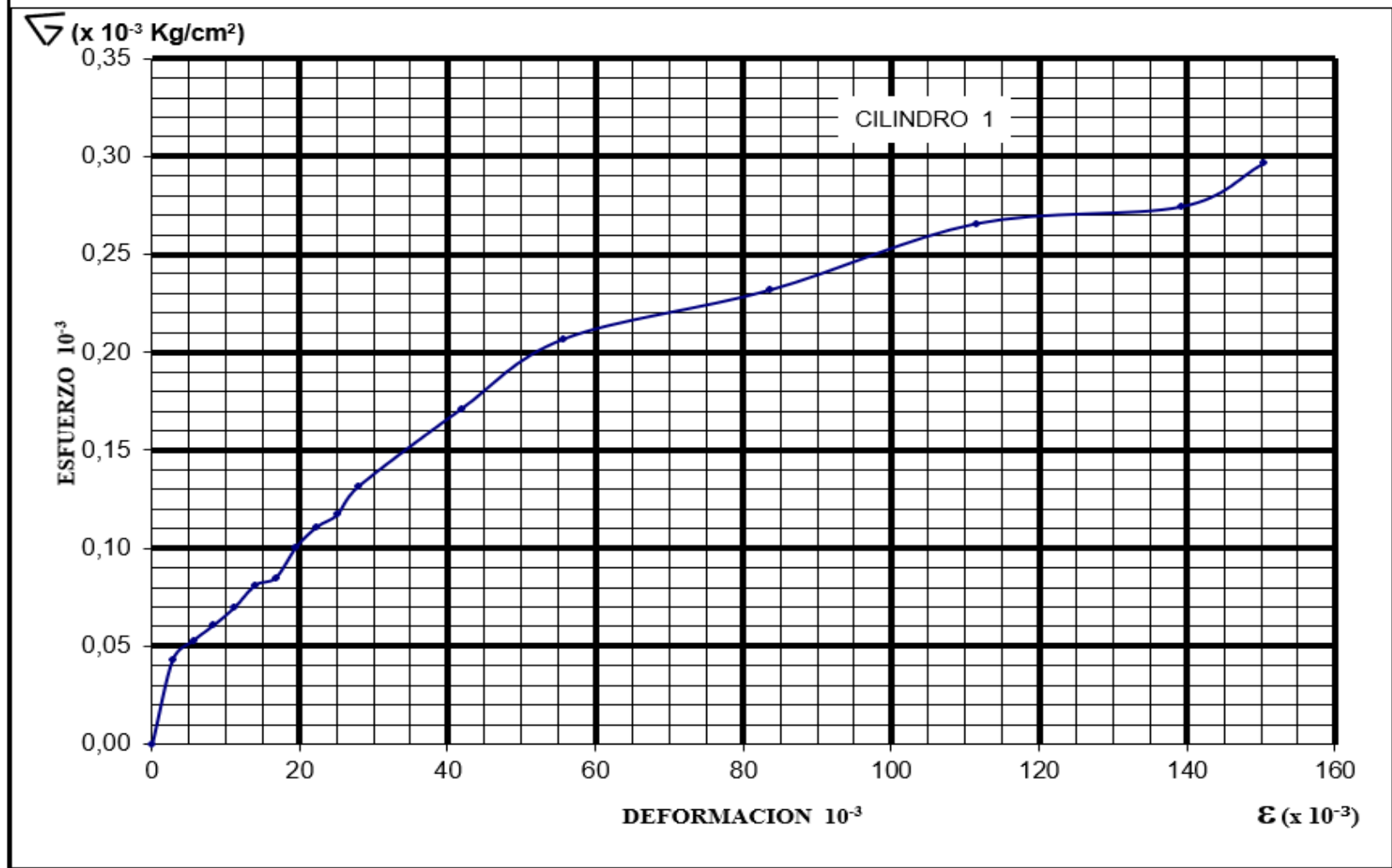
Deform. Unitaria =  $\frac{\text{Deformación}}{H_m}$

CARGA = Lectura Dial x Cte. Anillo

OBSERVACIONES :



Anexo 10. Cálculo de la resistencia al corte del suelo natural arcilla



Anexo 11. Gráfica esfuerzo vs deformación



# PROYECTO: TITULACIÓN DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA

UBICACIÓN: AVENIDA PAJONAL

SONDEO N°1

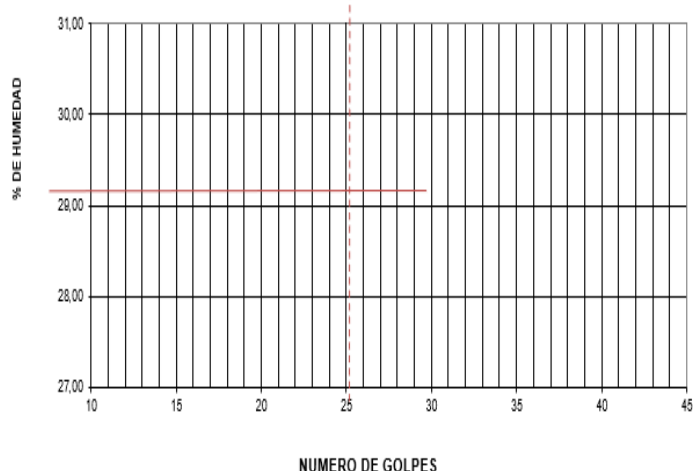
SOLICITA: UTMACH

MUESTRA No. 1

PROFUNDIDAD 1 mts

FECHA: ABRIL DEL 2021

ENSAYOS DE CONSISTENCIA			LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO			HUM. NAT.	
PESO No.			1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
Recipiente No.											RX7	R42
Peso de muestra húmeda + recip. (gms)											18,93	19,53
Peso de muestra seca + recip. (gms)											16,55	17,20
Peso del recipiente (gms)											9,72	10,56
Peso del agua (gms)											2,38	2,33
Peso Seco (gms)											6,83	6,64
Contenido de humedad (%)											34,85	35,09
Número de golpes											34,97	



## NORMAS

### LIMITE LIQUIDO:

ASIMD - 423 AASHTO T - 89

### LIMITE PLASTICO:

ASTM D-424 AASHTO T-90

HUMEDAD: ASIM D-2216

### GRANULOMETRIA:

ASTM D-422 AASHTO T-88

GRANULOMETRIA						0		
		PORCENTAJE						
TAMIZ No	Milímetros	Peso Retenido	Retenido Acumulado	Retenido	Pasante			
4	4,75							
8	2,36							
10		12,30	12,30	9,87	90,13			
16	1,18							
30	0,6							
40	425micron.	36,36	48,66	39,03	60,97			
60	250micron.							
100	150micron.							
200	75micron.	56,00	104,66	83,96	16,04			
FONDO		20,00	124,66	100,00	0,00			
PESO ANTES DEL LAVADO								
Descripción del material:		ARENA NP (NO PLASTICA)						
		consistencia media.						
Observaciones:		Ensayo granulométrico por lavado				Responsable Técnico:		
Realizado por:						Patricio Salvador Vinuesa Vega		

## RESUMEN:

LIMITE LIQUIDO 0,00 %

LIMITE PLASTICO 0,00 %

INDICE PLASTICO 0,00 %

HUMEDAD NATURAL 34,97 %

CLASIFICACION SUSCS SP

% DE LOS GRAVA 100%

AGREGADOS EN LA ARENA 74,09%

MUESTRA FINOS 16,04%

100%

## Anexo 12. Resultados de los ensayos del suelo natural arenoso a 1m

PROFUNDIDAD										2 mts.	
FECHA: ABRIL DEL 2021											
ENSAYOS DE CONSISTENCIA		LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO			HUM. NAT.	
PESO No.		1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
Recipiente No.										R20Y	R50
Peso de muestra húmeda + recip. (gms)										20,25	16,14
Peso de muestra seca + recip. (gms)										17,21	14,24
Peso del recipiente (gms)										9,76	9,74
Peso del agua (gms)										3,04	1,90
Peso Seco (gms)										7,45	4,50
Contenido de humedad ( % )										40,81	42,22
Número de golpes										41,51	

NUMERO DE GOLPES

**NORMAS**

**LIMITE LIQUIDO:**

ASIMD - 423      AASHTO T - 89

**LIMITE PLASTICO:**

ASTM D-424      AASHTO T-90

**HUMEDAD:ASIM D-2216**

**GRANULOMETRIA:**

ASTM D-422      AASHTO T-88

GRANULOMETRIA								
		PORCENTAJE						
TAMIZ No	Milímetros	Peso Retenido	Retenido Acumulado	Retenido	Pasante			
4	4,75					<b>RESUMEN:</b> LIMITE LIQUIDO      0,00 % LIMITE PLASTICO      0,00 % INDICE PLASTICO      0,00 % HUMEDAD NATURAL      41,51 % CLASIFICACION SUSCS      SP		
8	2,36							
10		0,10	0,10	0,08	99,92			
16	1,18							
30	0,6							
40	425micron.	30,00	30,10	24,15	75,85	% DE LOS AGREGADOS EN LA MUESTRA		
60	250micron.					GRAVA      0,1% ARENA      86,7% FINOS      13,3% 100,0%		
100	150micron.							
200	75micron.	100,00	130,10	86,73	13,27			
FONDO		62,00	192,10	100,00	0,00			
PESO ANTES DEL LAVADO								

Descripción del material:	ARENA NP (NO PLASTICA)	
	consistencia media, mediana humedad.	
Observaciones:	Ensayo granulométrico por lavado	
Realizado por:	Responsable Técnico: Patricio Salvador Vinuesa Vega	

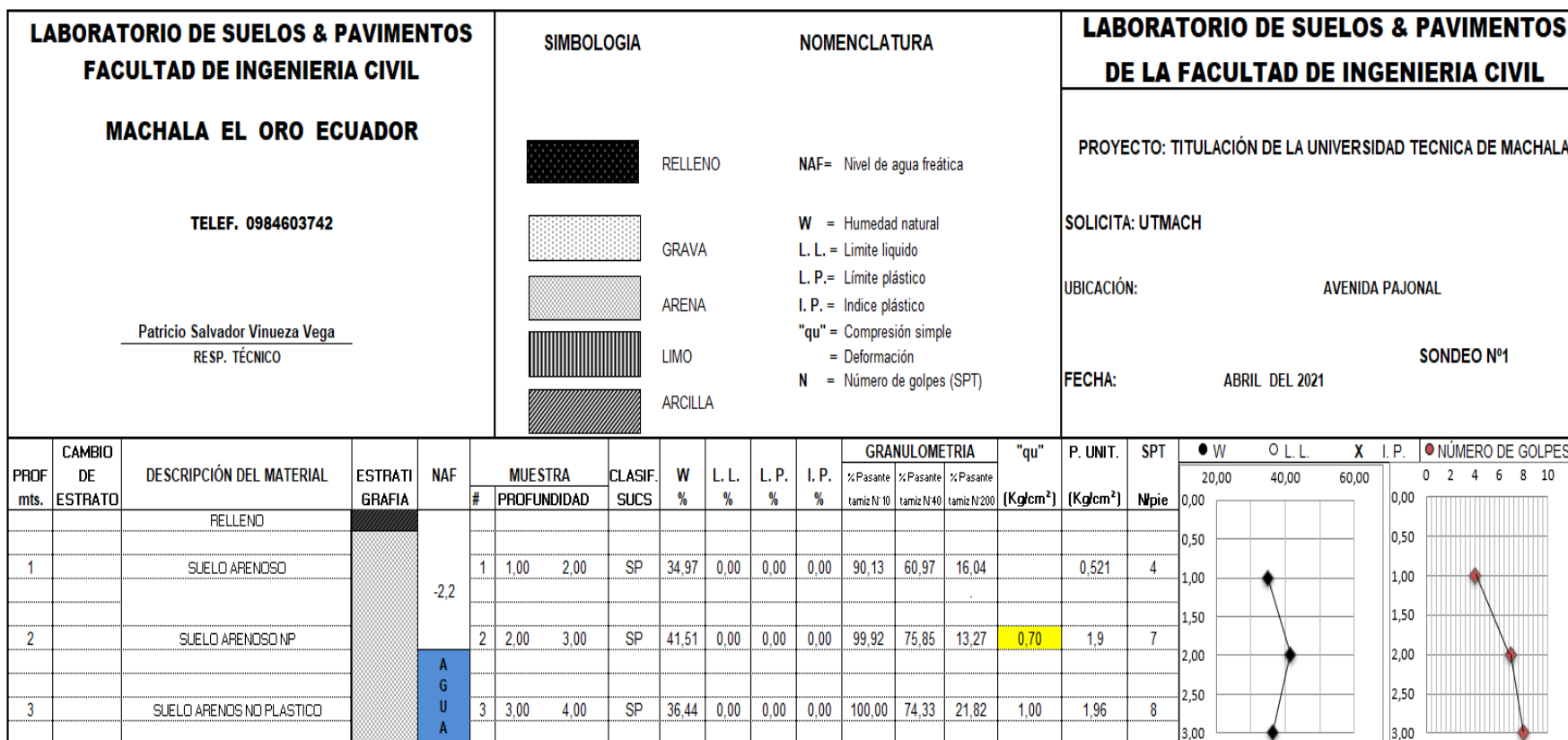
Anexo 13. Resultados de los ensayos del suelo arenoso a 2 m

						PROFUNDIDAD			3 mts.		
						FECHA: ABRIL DEL 2021					
ENSAYOS DE CONSISTENCIA		LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO			HUM. NAT.	
PESO No.		1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
Recipiente No.										R51X	R20
Peso de muestra húmeda + recip. (gms)										15,30	13,72
Peso de muestra seca + recip. (gms)										13,83	12,61
Peso del recipiente (gms)										9,63	9,68
Peso del agua (gms)										1,47	1,11
Peso Seco (gms)										4,20	2,93
Contenido de humedad ( % )										35,00	37,88
Número de golpes										36,44	

</

GRANULOMETRIA								
		PORCENTAJE						
TAMIZ No	Milímetros	Peso Retenido	Retenido Acumulado	Retenido	Pasante	RESUMEN:		
4	4,75					LIMITE LIQUIDO	0,00 %	
8	2,36					LIMITE PLASTICO	0,00 %	
10		0,00	0,00	0,00	100,00	INDICE PLASTICO	0,00 %	
16	1,18					HUMEDAD NATURAL	36,44 %	
30	0,6					CLASIFICACION SUSCS	SP	
40	425micron.	32,00	32,00	25,67	74,33	% DE LOS	GRAVA	0%
60	250micron.					AGREGADOS EN LA	ARENA	78,18%
100	150micron.					MUESTRA	FINOS	21,82%
200	75micron.	140,00	172,00	78,18	21,82			100%
FONDO		50,00	222,00	100,00	0,00			
PESO ANTES DEL LAVADO								
Descripción del material:		ARENA NP (NO PLASTICA)						
		mediano contenido de humedad						
Observaciones:		Granulometria por Lavado				Responsable Técnico:		
Realizado por:						Patricio Salvador Vinuesa Vega		

Anexo 14. Resultados de los ensayos del suelo arenoso a 3m



Anexo 15. Estratigráfica del suelo natural arenoso

UBICACIÓN: AV. PALMERAS Y CIRCUNVALACION SUR

SONDEO N°1

SOLICITA: UTMACH

MUESTRA No.

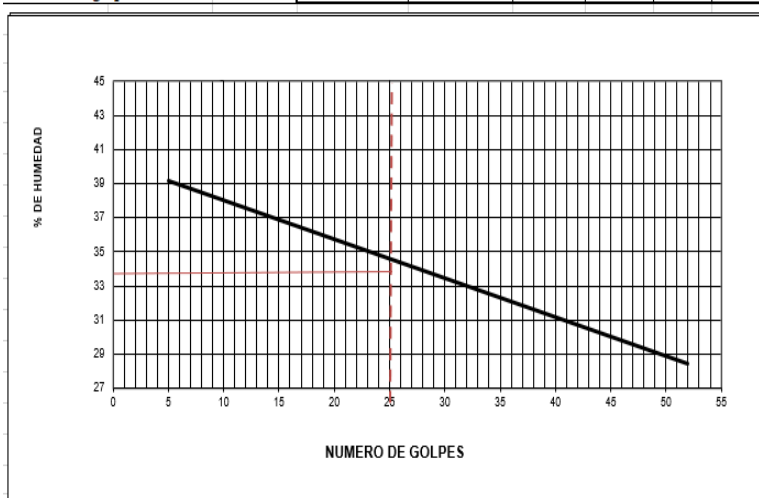
1

PROFUNDIDAD

1 mts

FECHA: ABRIL DEL 2021

ENSAYOS DE CONSISTENCIA			LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO			HUM. NAT.	
PESO No.			1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
Recipiente No.			R187	R73	R575	R42	R59X	R22	R35	A42	R575	R42
Peso de muestra húmeda + recip. (gms)			19,19	18,53	17,45	18,13	15,95	11,19	11,37	11,68	17,45	18,13
Peso de muestra seca + recip. (gms)			17,15	16,64	15,59	16,06	14,09	10,97	11,10	11,34	15,59	16,06
Peso del recipiente (gms)			9,81	10,38	9,94	10,51	9,57	9,64	9,60	9,66	9,94	10,51
Peso del agua (gms)			2,04	1,89	1,86	2,07	1,86	0,22	0,27	0,34	1,86	2,07
Peso Seco (gms)			7,34	6,26	5,65	5,55	4,52	1,33	1,50	1,68	5,65	5,55
Contenido de humedad (%)			27,79	30,19	32,92	37,30	41,15	16,54	18,00	20,24	32,92	37,30
Número de golpes			52	51	19	14	5	18,26			35,11	



#### NORMAS

LIMITE LIQUIDO:

ASIMD - 423 AASHTO T - 89

LIMITE PLASTICO:

ASTM D-424 AASHTO T-90

HUMEDAD: ASIM D-2216

GRANULOMETRIA:

ASTM D-422 AASHTO T-88

GRANULOMETRIA					
		PORCENTAJE			
TAMIZ No	Milímetros	Peso Retenido	Retenido Acumulado	Retenido	Pasante
4	4,75				
8	2,36				
10		53,30	53,30	46,58	53,42
16	1,18				
30	0,6				
40	425micron.	23,60	76,90	67,21	32,79
60	250micron.				
100	150micron.				
200	75micron.	17,52	94,42	82,52	17,48
FONDO		20,00	114,42	100,00	0,00
PESO ANTES DEL LAVADO					

#### RESUMEN:

LIMITE LIQUIDO 34,60 %

LIMITE PLASTICO 18,26 %

INDICE PLASTICO 16,34 %

HUMEDAD NATURAL 35,11 %

CLASIFICACION SUSCS CL

% DE LOS GRAVA 47%

AGREGADOS EN LA ARENA 35,94%

MUESTRA FINOS 17,48%

100%

Descripción del material: ARCILLA INORGANICA ARENOSA  
consistencia media.

Observaciones: Ensayo granulométrico por lavado

Realizado por:

Responsable Técnico:

Patricio Salvador Vinuesa Vega

### Anexo 16. Resultados de los ensayos a suelo natural arcilla a 1m

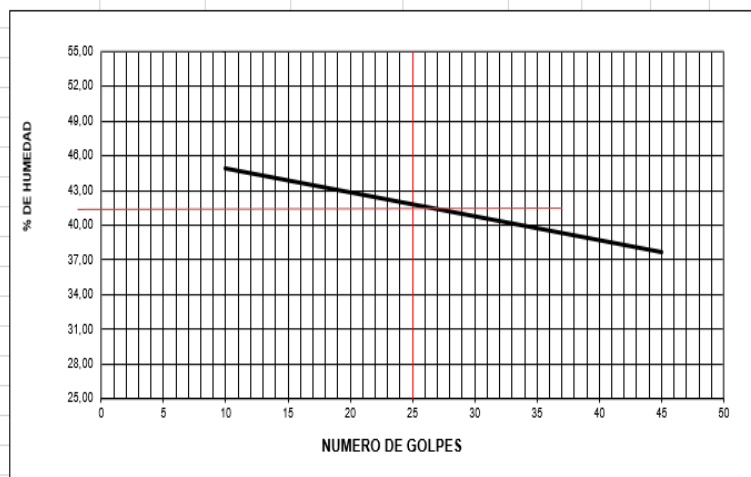
UBICACIÓN: AV. PALMERAS Y CIRCUNVALACION SUR

SOLICITA: UTMACH

MUESTRA No. 2  
 PROFUNDIDAD 2 mts.

FECHA: ABRIL DEL 2021

ENSAYOS DE CONSISTENCIA	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO			HUM. NAT.	
PESO No.	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
Recipiente No.	R71	R25	A42	RX7	R20	RX7	R20	R71	A42	R20
Peso de muestra húmeda + recip. (gms)	18,38	17,40	14,89	13,92	13,79	11,20	11,33	12,25	14,89	13,79
Peso de muestra seca + recip. (gms)	15,95	15,19	13,33	12,59	12,51	10,92	10,98	11,67	13,33	12,51
Peso del recipiente (gms)	9,60	9,62	9,66	9,66	9,65	9,66	9,65	9,60	9,66	9,65
Peso del agua (gms)	2,43	2,21	1,56	1,33	1,28	0,28	0,35	0,58	1,56	1,28
Peso Seco (gms)	6,35	5,57	3,67	2,93	2,86	1,26	1,33	2,07	3,67	2,86
Contenido de humedad (%)	38,27	39,68	42,51	45,39	44,76	22,22	26,32	28,02	42,51	44,76
Número de golpes	45	30	19	13	10	25,52			43,63	



NORMAS

LIMITE LIQUIDO:

ASIMD - 423 AASHTO T - 89

LIMITE PLASTICO:

ASTM D-424 AASHTO T-90

HUMEDAD: ASIM D-2216

GRANULOMETRIA:

ASTM D-422 AASHTO T-88

GRANULOMETRIA					
TAMIZ No	Milímetros	Peso Retenido	PORCENTAJE		
			Retenido Acumulado	Retenido	Pasante
4	4,75				
8	2,36				
10	2,00	9,60	9,60	8,39	91,61
16	1,18				
30	0,6				
40	425micron.	15,20	24,80	21,67	78,33
60	250micron.				
100	150micron.				
200	75micron.	10,30	35,10	36,91	63,09
FONDO		60,00	95,10	100,00	0,00
PESO ANTES DEL LAVADO					

RESUMEN:

LIMITE LIQUIDO 42,30 %

LIMITE PLASTICO 25,52 %

INDICE PLASTICO 16,78 %

HUMEDAD NATURAL 43,63 %

CLASIFICACION SUSCS CL

% DE LOS	GRAVA	8,4%
----------	-------	------

AGREGADOS EN LA	ARENA	28,5%
-----------------	-------	-------

MUESTRA	FINOS	63,1%
---------	-------	-------

		100,0%
--	--	--------

Descripción del material: ARCILLA LIMO ARENOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD  
 consistencia media, mediana humedad.

Observaciones: Ensayo granulométrico por lavado

Realizado por:

Responsable Técnico:  
 Patricio Salvador Vinuesa Vega

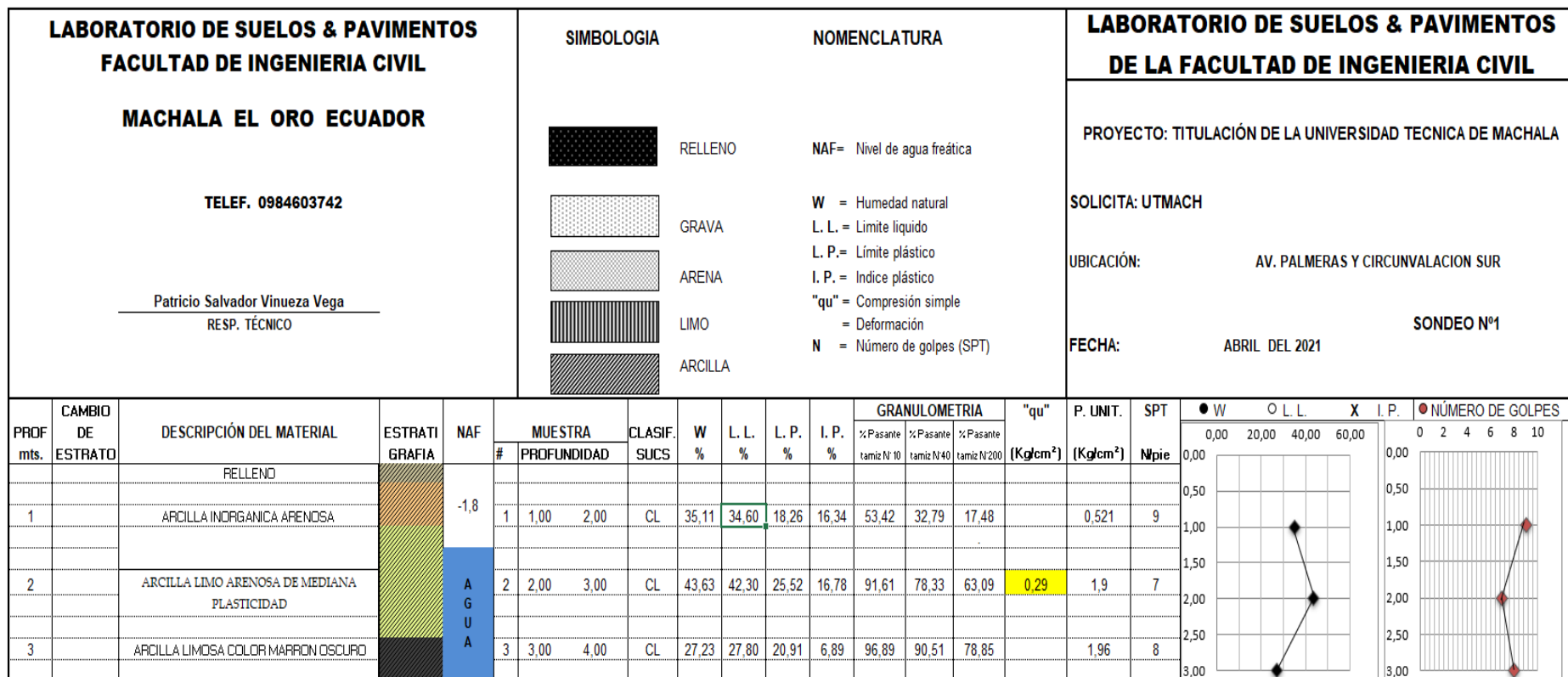
## Anexo 17. Resultados de los ensayos a suelo natural arcilla a 2m

UBICACIÓN: AV. PALMERAS Y CIRCUNVALACION SUR												
SOLICITA: UTMACH							MUESTRA No.		3			
							PROFUNDIDAD		3 mts.			
							FECHA: ABRIL DEL 2021					
ENSAYOS DE CONSISTENCIA			LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO			HUM. NAT.	
PESO No.			1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
Recipiente No.			K14	R22	R20Y	R35	R50	R50	R25	K14	R20Y	R22
Peso de muestra húmeda + recip. (gms)			18,94	19,87	17,05	15,3	17,25	11,3	12,36	12,55	17,05	19,87
Peso de muestra seca + recip. (gms)			17,03	17,72	15,44	14,02	15,5	10,98	11,94	12,04	15,44	17,72
Peso del recipiente (gms)			9,66	9,64	9,66	9,6	9,6	9,6	9,62	9,66	9,66	9,64
Peso del agua (gms)			1,91	2,15	1,61	1,28	1,75	0,32	0,42	0,51	1,61	2,15
Peso Seco (gms)			7,37	8,08	5,78	4,42	5,90	1,38	2,32	2,38	5,78	8,08
Contenido de humedad ( % )			25,92	26,61	27,85	28,96	29,66	23,19	18,10	21,43	27,85	26,61
Número de golpes			43	30	22	14	12	20,91			27,23	

</

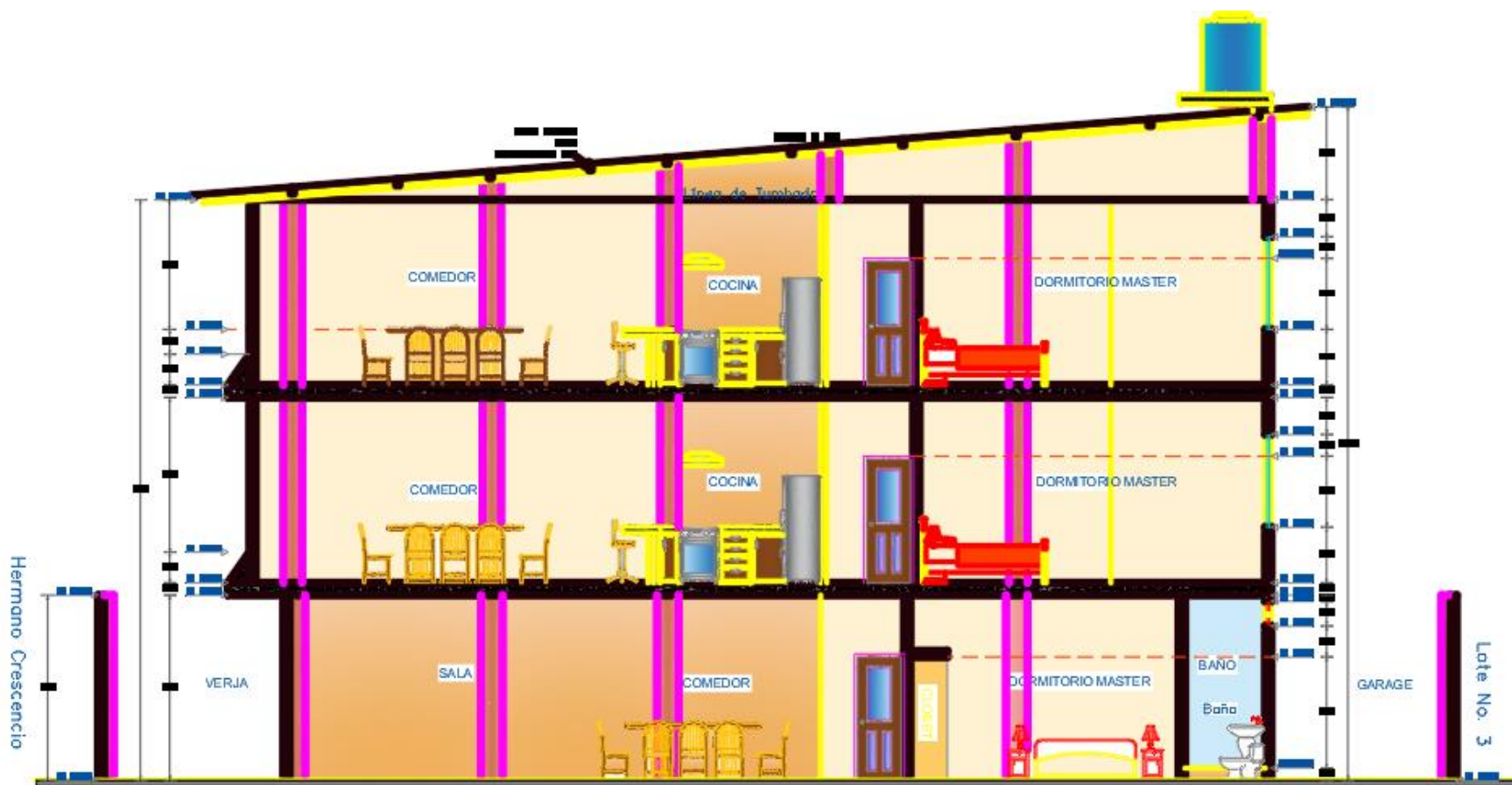
GRANULOMETRIA								
			PORCENTAJE					
TAMIZ No	Milímetros	Peso Retenido	Retenido Acumulado	Retenido	Pasante			
4	4,75							
8	2,36							
10	2,00	3,56	3,56	3,11	96,89			
16	1,18							
30	0,6							
40	425micron.	7,30	10,86	9,49	90,51			
60	250micron.							
100	150micron.							
200	75micron.	10,60	21,46	21,15	78,85			
FONDO		80,00	101,46	100,00	0,00			
PESO ANTES DEL LAVADO								
Descripción del material:						ARCILLA LIMOSA COLOR MARRON OSCURO		
						mediano contenido de humedad		
Observaciones:						Granulometria por Lavado		
Realizado por:						Responsable Técnico: Patricio Salvador Vinuesa Vega		

Anexo 18. Resultados de los ensayos a suelo natural arcilla a 3m

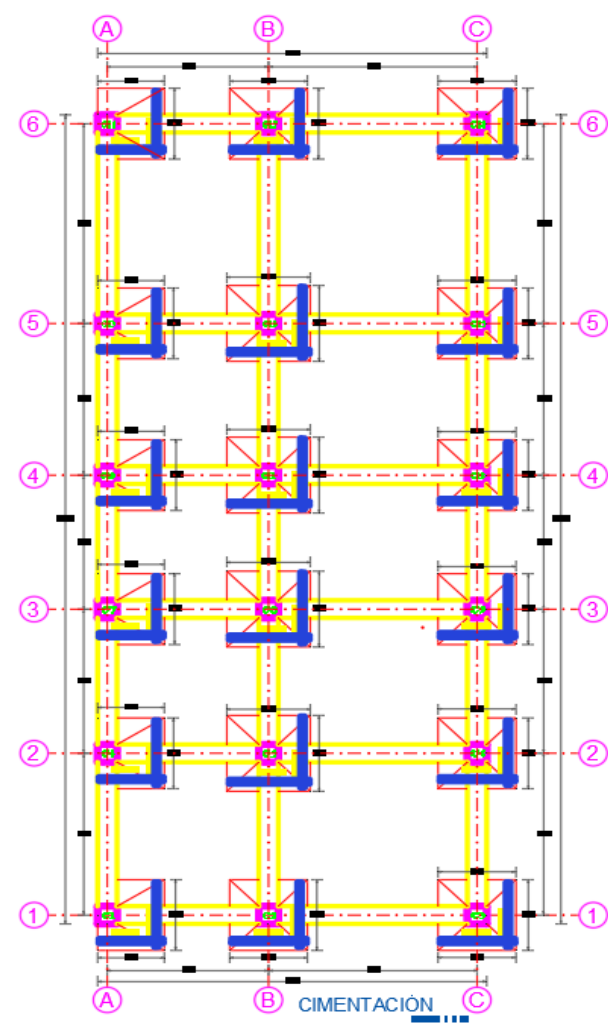
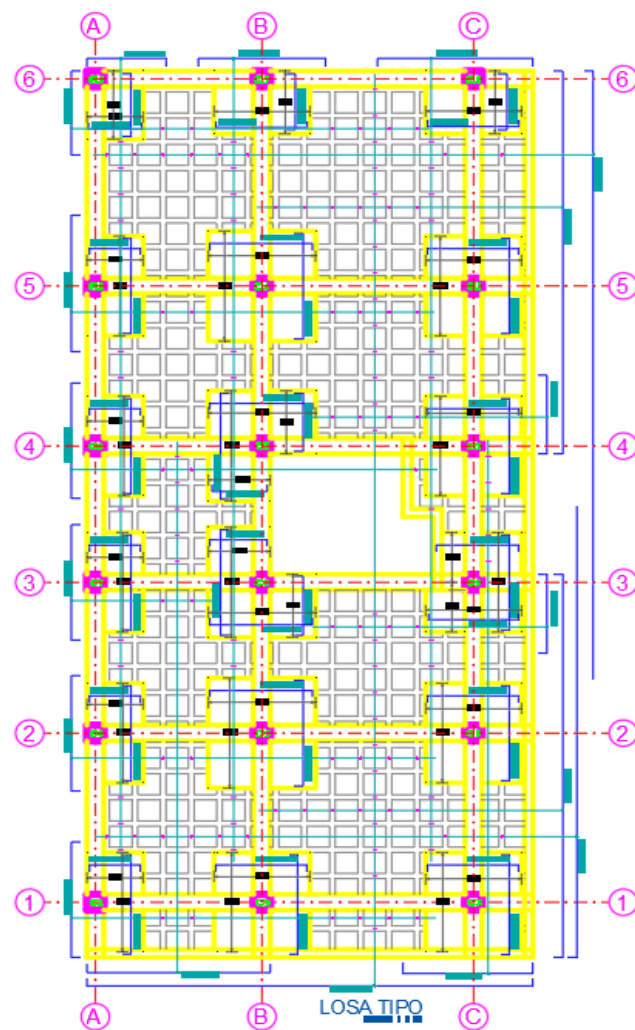


Anexo 19. Estratigrafía de suelo natural arcilloso





Anexo 20. Fachada transversal del edificio empleado en el cálculo de la carga solicitada



Anexo 21. Detalle de losa y cimentación de la edificación usada en el cálculo de la carga solicitante