

# **UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.**

Incorporación No. 8727-15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

## **ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS ERRORES MÁS FRECUENTES EN PRUEBAS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS. CASO: COMUNIDAD DE SAN LORENZO, MICH.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Miguel Bonaparte Quezada**

Asesor: Ing. Anastacio Blanco Simiano.

Uruapan, Michoacán, a 24 de Marzo del 2011.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Este trabajo de investigación, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte del que escribe, no hubiese sido posible su realización sin la colaboración desinteresada de todas las personas que a continuación citaré y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos de angustia y desesperación.

Primero y antes que nada, gracias a Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a todas y cada una de las personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a mi familia porque, claro está, que si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios de licenciatura no hubiesen sido posibles. A mis padres, por el ánimo, apoyo y alegría que me brindaron siempre, ya que me dieron la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Del mismo modo, agradecer a todos mis profesores, ya que son ellos los responsables de mi formación profesional, y de haber sembrado en mi el hábito del razonamiento y haber compartido sus experiencias laborales.

En fin, son muchas las personas que ayudaron a que escalara peldaño a peldaño por mi camino profesional, no me queda más que decir: ¡GRACIAS!

# ÍNDICE.

## **Introducción.**

Antecedentes. . . . .	. 1
Planteamiento del Problema. . . . .	. 3
Objetivo. . . . .	. 3
Pregunta de investigación.. . . .	. 4
Justificación. . . . .	. 4
Marco de Referencia. . . . .	. 6

## **Capítulo 1.- Suelos.**

1.1. Definición. . . . .	. 8
1.2. Origen. . . . .	. 9
1.3. Propiedades de los suelos. . . . .	. 10
1.4. El suelo como material de construcción. . . . .	. 11
1.5. Tipos de suelo. . . . .	. 11
1.6. Propiedades físicas de los suelos. . . . .	. 13
1.6.1. Estructura de los suelos gruesos. . . . .	. 14
1.6.2. Estructura de los suelos finos. . . . .	. 15

1.6.3. Fases del suelo.	. . . . .	. 18
1.6.4. Propiedades volumétricas y gravimétricas.	. . . . .	. 19
1.6.5. Relaciones entre volúmenes y pesos.	. . . . .	. 20
1.6.6. Pesos específicos o volumétricos.	. . . . .	. 20
1.7. Clasificación.	. . . . .	. 22
1.7.1. Clasificación de campo.	. . . . .	. 22
1.7.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).	. . . . .	. 23

## **Capítulo 2.- Pruebas de Laboratorio.**

2.1. Preparación de las muestras.	. . . . .	. 28
2.2. Granulometría.	. . . . .	. 30
2.3. Densidad.	. . . . .	. 32
2.3.1. Calibración del matraz.	. . . . .	. 33
2.3.2. Procedimiento la realización de la densidad de suelos finos.	. . . . .	. 35
2.4. Límites de consistencia o de Atterberg.	. . . . .	. 36
2.4.1. Determinación del límite líquido.	. . . . .	. 38
2.4.2. Determinación del límite plástico..	. . . . .	. 40
2.4.3. Determinación del límite de contracción.	. . . . .	. 41
2.5. Compactación.	. . . . .	. 42

2.5.1. Prueba Proctor.	. . . . .	. 44
2.5.2. Prueba Porter.	. . . . .	. 45
2.6. Determinación de la permeabilidad.	. . . . .	. 47
2.6.1. Pruebas con permeámetro de carga constante.	. . . . .	. 48
2.7. Consolidación unidimensional.	. . . . .	. 51
2.8. Prueba de compresión “simple”.	. . . . .	. 52
2.9. Prueba de compresión triaxial rápida.	. . . . .	. 54

**Capítulo 3.- Resumen ejecutivo de macro y microlocalización.**

3.1. Generalidades.	. . . . .	. 57
3.2. Objetivo.	. . . . .	. 58
3.3. Resumen ejecutivo.	. . . . .	. 58
3.4. Entorno geográfico..	. . . . .	. 60
3.4.1. Macro y microlocalización..	. . . . .	. 61
3.4.2. Hidrografía. .	. . . . .	. 62
3.4.3. Clima..	. . . . .	. 63
3.4.4. Principales ecosistemas. .	. . . . .	. 63
3.4.5. Actividad económica.	. . . . .	. 63

## **Capítulo 4.- Metodología.**

4.1.	Método empleado.	. . . . .	. 64
4.1.1.	Método matemático.	. . . . .	. 65
4.2.	Enfoque de la investigación.	. . . . .	. 65
4.2.1.	Alcance de la investigación.	. . . . .	. 66
4.3.	Diseño de la investigación.	. . . . .	. 67
4.4.	Instrumentos de recopilación de datos.	. . . . .	. 67
4.5.	Descripción del proceso de investigación.	. . . . .	. 68

## **Capítulo 5.- Análisis e interpretación de resultados.**

5.1.	Extracción de la muestra.	. . . . .	. 71
5.2.	Preparación de la muestra.	. . . . .	. 74
5.3.	Obtención de la granulometría por lavado.	. . . . .	. 76
5.4.	Densidades.	. . . . .	. 77
5.5.	Límites de consistencia.	. . . . .	. 79
5.6.	Consolidación unidimensional.	. . . . .	. 82
5.7.	Prueba de compresión "Simple".	. . . . .	. 85
5.8.	Prueba de compresión triaxial "rápida".	. . . . .	. 86

**Conclusiones.** . . . . . **. 88**

**Bibliografía.** . . . . . **. 89**

**Anexos.**

## **RESUMEN.**

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad determinar cuáles son los principales factores que llevan a cometer errores en las pruebas de laboratorio de un Estudio de Mecánica de Suelos.

Durante el capítulo 1 se da a conocer de manera general los distintos tipos de suelos, vistos desde el punto crítico de la ciencia sobre su origen, comportamiento y función en el área de la construcción, así como sus componentes.

En el capítulo 2 se manifiestan las múltiples pruebas de laboratorio que se le realizan a un suelo, partiendo de la preparación de la muestra misma, y siguiendo con la realización de las pruebas que se ejecutarán, tales como la granulometría, densidad, límites de consistencia, compactación, permeabilidad y consolidación.

Dentro del capítulo 3 se citan características propias del lugar, tales como su localización, además de particularidades naturales con las que cuenta la localidad donde se realizó el presente trabajo de investigación.

En el capítulo 4 se menciona al método empleado para realizar esta investigación, el cual fue el método científico, bajo el enfoque dominante (mixto), alcance y diseño propios, al igual que los tipos de instrumentos utilizados para la recopilación de datos, los cuales darán la pauta para describir el proceso de investigación llevado a cabo.

A través del capítulo 5 se realiza el análisis e interpretación de los cálculos efectuados para la elaboración de esta investigación, haciendo énfasis en los múltiples factores que nos llevan a cometer errores en el desarrollo de un estudio de mecánica de suelos, mediante el uso de diversas herramientas.

Las pruebas realizadas fueron:

- 1.- Extracción de la muestra.
- 2.- Preparación de la muestra.
- 3.- Obtención de la granulometría por lavado.
- 4.- Densidades.
- 5.- Límites de Consistencia
  - Límite líquido.
  - Límite plástico.
  - Límite de contracción.
- 6.- Consolidación unidimensional
- 7.- Prueba de compresión "simple".
- 8.- Prueba de compresión triaxial "rápida"

# INTRODUCCIÓN.

## **Antecedentes.**

El término “suelo”, de acuerdo con Juárez Badillo (2006), varía según los intereses del profesionista que lo esté tratando, es por eso que tanto un Agrónomo como un Geólogo no tendrán la misma interpretación que la de un Ingeniero Civil. Para los fines de este trabajo la palabra suelo representa todo tipo de material terroso, desde un material de relleno hasta arenas cementadas.

Tomando como referencia la tesis profesional de Alfredo Ruiz Abarca realizada en el año 2008 cuyo objetivo fue el dar a conocer cuáles son las características y el comportamiento de las arcillas en diferentes obras civiles, así mismo, la metodología que se debería de utilizar para cada caso en especial, se puede decir que el suelo es el tipo de material más antiguo del cual se ha hecho uso en la construcción y de igual forma uno de los más difíciles de estudiar. Existen una infinita variedad de suelos, esto debido a que sus componentes no son un sólo y puro material, sino que son conformados por la mezcla de varios. A pesar de ello el suelo fue punto de estudio hasta principios del siglo XX.

Por otra parte, de acuerdo con Terzaghi (1943), se puede decir que la Mecánica de Suelos es la aplicación de las leyes de la Hidráulica y de la Mecánica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, provocadas por la disgregación mecánica o descomposición química de las rocas, libremente de que estas posean materia de origen orgánico.

Por último, según lo señalado en la tesis profesional elaborada por Álvaro Terrazas, titulada Pruebas de Laboratorio de Mecánica de Suelos, establece que debido a que las propiedades del suelo pueden ser inconstantes en el tiempo y en el espacio, la única opción que tiene el ingeniero civil de decretar el posible comportamiento del suelo, es mediante la ejecución de pruebas de laboratorio que representen de la manera más real las condiciones a las cual estará sujeto el suelo, por lo que es obvia la necesidad que se tiene de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra de que se trate con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo en estudio, lo que da al proyectista una concepción exacta y razonable de las propiedades físicas del suelo que hayan de ser consideradas en su análisis.

## **Planteamiento del problema.**

En toda obra que se intente construir sobre la superficie terrestre, como lo son una casa-habitación, carreteras, edificios, presas, puentes, etc., se debe de contar con estudios y análisis previos a su construcción, uno de los más importantes de los cuales se debe tener un completo y correcto conocimiento es el Estudio de Mecánica de Suelos.

El presente estudio cuenta con una orientación teórico-práctica, acerca de los distintos errores que se pueden encontrar en el camino de la realización de un Estudio de Mecánica de Suelos, tomando en cuenta que causas originan dichos errores.

A su vez el determinar, ¿Cuáles son los principales factores que llevan a cometer errores en las pruebas de laboratorio de un Estudio de Mecánica de Suelos?

## **Objetivo.**

En el presente estudio se establecen los siguientes objetivos:

### **Objetivo general:**

Identificar y señalar las causas principales que llevan a cometer errores dentro de la elaboración de un Estudio de Mecánica de Suelos.

### **Objetivos particulares:**

Los primordiales objetivos a cubrir en esta investigación son:

1. Definir la Mecánica de Suelos.
2. Señalar el origen y características generales del suelo.
3. Describir los tipos de Pruebas de Laboratorio para un Estudio de Mecánica de Suelos.
4. Analizar las causas que provocan los errores en una prueba de laboratorio.
5. Definir la determinación de la composición granulométrica.
6. Señalar el proceso constructivo de una prueba triaxial.

### **Pregunta de investigación.**

En la presente investigación habrá de darse respuesta a la siguiente pregunta:

¿Cuáles son los principales factores que llevan a cometer errores en las pruebas de laboratorio de un Estudio de Mecánica de Suelos?

## **Justificación.**

En el rubro de la construcción se puede hallar que al momento de intentar ejecutar una obra, se llega a encontrar con diferentes tipos de suelos, estos, a su vez requieren de estudios específicos, uno de ellos es el Estudio de Mecánica de Suelos.

El estudio de Mecánica de Suelos arrojará datos de suma importancia para poder llevar a cabo la construcción de la obra, de tal manera que ese estudio debe contar con una gran certitud, por lo cual no se pueden cometer errores en ella. De tal modo que se debe guardar especial cuidado en las posibles causas que puedan acarrear a ellos.

La presente investigación va dirigida a todos los ingenieros, constructores, estudiantes y personas interesadas en el ámbito de la Mecánica de Suelos. Cuando se pretende realizar pruebas de laboratorio sobre un Estudio de Mecánica de Suelos no se pueden considerar exentos de cometer errores en su ejecución.

## **Marco de referencia.**

La localidad de **San Lorenzo** está situada en el Municipio de Uruapan, en el Estado de Michoacán de Ocampo. Cuenta con un templo dedicado al santo que le da el nombre a la población. Este monumento histórico conserva su fachada del siglo XVI con una cruz atrial del año de 1823.

A un costado del templo se encuentra la capilla del antiguo Hospital, de una sencilla nave con techo a dos aguas. Los lugareños, principalmente las mujeres, elaboran manteles y servilletas bordadas en punto de cruz, así como muñecos de trapo con indumentaria indígena que llevan a sus espaldas jarros, molinos, molcajetes y metates, o representan actividades y oficios y suelen utilizarse para montar “nacimientos” de matiz indígena.

La comunidad de San Lorenzo se localiza a 23 Km del Municipio de Uruapan Mich., se encuentra a una elevación sobre el nivel del mar de aproximadamente de 2100m, se ubica dentro de la denominada “meseta *phurepecha*”.

En esta zona no se encuentran ríos perenes, simplemente se pueden ubicar ríos de carácter efímero, debido al tipo de suelo que prevalece en la comunidad de San Lorenzo.

El clima de la región es templado, aunque su temperatura mínima oscila entre los 8°C, y su temperatura máxima solo alcanza los 16°C.

El ecosistema con el que se cuenta en la comunidad, es predominantemente el bosque. En este bosque prolifera la producción de pinos y encinos.

No se puede decir que San Lorenzo cuente con una actividad económica dominante, ya que se cuenta con una disputa entre dos potentes actividades: Una es la agricultura, ya que en este lugar se cuenta con gran extensión de terreno fértil y apropiado para esta actividad, entre los cultivos destacan los siguientes: maíz, durazno, etc., y la producción de madera, la cual es una de las de mayor auge contenido en el lugar, ya que se cuenta con una gran producción y explotación de pinos y encinos.

# CAPÍTULO 1

## SUELOS.

En el presente capítulo se dan a conocer de manera general los variados tipos de suelos, vistos desde el punto crítico de la ciencia sobre su origen, comportamiento y función en el área de la construcción, así como sus componentes, los cuales orillan a hacer diversos estudios especializados según criterios de clasificación específicos.

### 1.1.- Definición.

De acuerdo con la página web [www.arqhys.com/arquitectura/mecanica-suelos.html](http://www.arqhys.com/arquitectura/mecanica-suelos.html), la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan problemas relacionados a la consolidación de partículas subatómicas y de los sedimentos. La ingeniería civil se desarrolla en este ámbito, donde las construcciones y el comportamiento de las mismas estarán determinadas por el material aplicado y, sobre todo, por el suelo que es utilizado en el relleno.

Referido al latín *solum*, se puede establecer como significado de suelo, todo lo relacionado a tierra o parcela.

“Suelo, es un término del que hacen uso diferentes profesantes. La interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses” (Juárez Badillo, 2006, 34). Es por eso que no todos los profesionistas tendrán el mismo concepto

de esta palabra, debido a que los intereses varían según el objetivo de la investigación o trabajo a desempeñar.

En particular, según lo establecido por G. Arias Rivera (1993), se hará referencia al suelo como el conjunto de partículas producidas por la descomposición de las rocas y vacíos, los cuales en ocasiones pueden o no estar ocupados por agua.

## **1.2.- Origen.**

De acuerdo a G. Arias Rivera (1993), por suelo se puede entender el material formado por partículas minerales que se producen a base de la descomposición de las rocas, y vacíos, los cuales pueden o no estar ocupados por agua. Se distinguen suelo y roca, desde el punto de vista práctico, en que el suelo puede ser disgregados por medios manuales mediante el empleo de agua en algunas ocasiones necesarias, ya que normalmente presentan una cementación nula, mientras que en la roca acontece lo contrario.

Los procesos que dan lugar a la alteración de las rocas son la Desintegración Mecánica y la Descomposición Química, cuyas principales causas son:

Desintegración Mecánica:

- Congelación de agua
- Efectos de los organismos
- Esfuerzos téóricos

- Efectos abrasivos del agua y el viento
- Efectos telúricos
- Efectos de la gravedad

#### Descomposición Química:

La descomposición química ocurre en presencia de agua (principalmente) y otras sustancias naturales, lo que da lugar, en general a suelos finos.

### **1.3.- Propiedades de los suelos.**

De acuerdo con G. Carlos Arias Rivera (1993), las principales propiedades de los suelos que en menor o mayor grado perturban de manera significativa el comportamiento de las obras civiles son:

- a) Compresibilidad.- Relacionada a la deformación que sufre un material al aplicarse una carga o al disminuir su volumen.
- b) Resistencia al corte.- La resistencia de un material puede medirse por el esfuerzo cortante máximo que puede soportar ese material, el esfuerzo límite es aquel que causa la falla en el suelo por fractura o por flujo plástico.
- c) Permeabilidad.- Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para la construcción.

#### **1.4.- El suelo como material de construcción.**

De acuerdo con William Lambe (2001), el suelo es el material de construcción con mayor volumen sobre el mundo y en muchas zonas constituye, de hecho, el único material disponible localmente. Desde el periodo neolítico, la tierra se ha utilizado para la construcción de monumentos, tumbas, viviendas, vías de comunicación y estructuras para retención de agua.

Cuando se emplea como material de construcción se debe seleccionar el tipo adecuado de suelo, así como su método de colocación y. luego, controlar su colocación.

#### **1.5.- Tipos de suelo.**

Los suelos se pueden clasificar de la siguiente manera:

##### **a) Suelos Residuales**

Son aquellos que se originan cuando los productos de la meteorización de las rocas no son transportadas como sedimentos si no que se sedimentan en el lugar. Si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre de los productos de descomposición, se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen sobre la velocidad de alteración en la naturaleza de los productos de meteorización están el clima, el tiempo, la naturaleza de la roca original, la vegetación, el drenaje y la actividad bacteriana.

El perfil de un suelo residual puede dividirse en tres zonas

1. La zona superior, en la que existe un elevado grado de meteorización pero también cierto arrastre de materiales

2. La zona intermedia, en cuya parte superior existe una cierta meteorización pero también cierta deposición hacia la parte inferior de la misma.
3. La zona parcialmente meteorizada, que sirve de transición del suelo residual a la roca original no alterada.

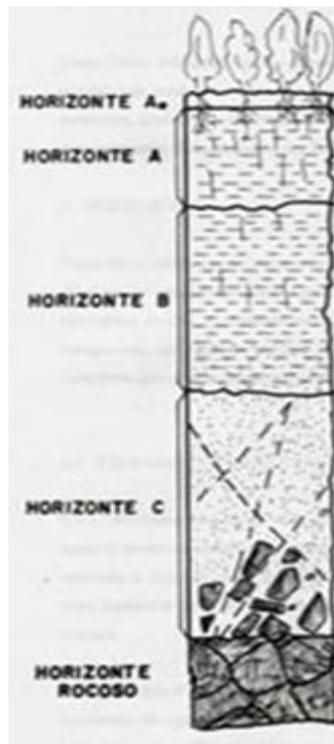


Imagen 1.1.- Suelos Residuales; (www.medellin.gov.co; 2010)

b) Suelos transportados

Los suelos transformados son aquellos formados por productos de alteración de las rocas removidos y depositados en otro sitio diferente al de su origen, siendo los principales agentes de transporte el agua, el viento, los glaciares, la gravedad, etc. De acuerdo a su forma de transporte estos suelos se pueden dividir en:

1. Suelos aluviales: En este el principal agente transportador es el agua.
2. Suelos lacustres: Estos suelen crearse por acarreos de ríos, sedimentándose debido a la pérdida de velocidad en algunos tramos.
3. Suelos eólicos: Son los que han sido transportados y depositados debido a los efectos del viento.
4. Depósitos de pie de monte: Son formados por la interacción directa de la gravedad y se constituyen de gran diversidad de materiales.

#### **1.6.- Propiedades físicas de los suelos.**

De acuerdo a la página web [www.peruecologico.com.pe/lib\\_c18\\_t03.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm), la adecuada relación entre los componentes del suelo determina la capacidad de este, de tal manera que la proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como **propiedades físicas o mecánicas del suelo** (textura, estructura, consistencia, densidad, aireación, temperatura y color).

### 1.6.1.- Estructuras de los suelos gruesos.

Se puede decir que la estructura de un suelo va ligada a su ubicación, arreglo y orientación, entre otros factores, de sus partículas. Según lo establecido, los suelos pueden ser gruesos o a su vez finos, cuyos tamaños oscilan de la siguiente manera:

7.6cm > Suelos gruesos > 0.074mm (malla No. 200) > Suelos finos

NOMBRE	LIMITES DE TAMAÑO	EJEMPLO (VULGAR)
Boleo	305mm (12plg) o mayores	Mayor que una pelota de baloncesto
Canto rodado	76mm (3 plg) a 305mm (12 plg)	Toronja
Grava gruesa	19mm (3/4 plg) a 76mm (3 plg)	Limón o naranja
Grava fina	4.76mm (T. No. 4) a 19mm (3/4 plg)	Chícharo o uva
Arena gruesa	2mm (T. No. 10) a 4.76mm (T. No. 4)	Sal mineral
Arena mediana	0.42mm (T. No. 40) a 2mm (T. No. 10)	Azúcar o sal de mesa
Arena fina *	0.074mm (T. No. 200) a 0.42mm (T. No. 40)	Azúcar en polvo
Finos	Menores que 0.074mm (T. No. 200)	
*Las partículas menores que la arena fina no se pueden distinguir a simple vista a una distancia de 20 cm.		

Tabla 1.1.- Estructura de los suelos gruesos. (G. Carlos Rivera; 1993: 3)

La estructura que comprende a los suelos gruesos se puede considerar como simple, debido a que en esta las partículas se apoyan unas sobre otras de forma continua, debido a su peso propio.

El comportamiento de un suelo grueso está delimitado por una serie de factores importantes, entre los cuales destacan los siguientes:

- a) Condiciones de drenaje.- la presencia del agua en un suelo grueso es desfavorable, debido a que disminuye su resistencia al corte y a su vez incrementa de manera importante su compresibilidad.
- b) Compacidad del suelo.- Sin duda alguna este es el factor más relevante, debido a que un suelo compacto es de mayor utilidad que uno que se encuentre en estado suelto.
- c) Estratigrafía.- Estas son las capas horizontales que conforman el suelo.
- d) Granulometría.- Dentro de esta se puede en general distinguir dos aspectos de suma importancia: su distribución granulométrica y del mismo modo el tamaño de las partículas conformadoras.
- e) Dureza de los granos.
- f) Forma de los granos.-
- g) Rugosidad de las partículas.-

#### **1.6.2.- Estructura de los suelos finos.**

A diferencia de los suelos gruesos, la estructura que comprende a los suelos finos es de una complejidad más alta debido a que dentro de esta influyen de manera directa las fuerzas electromagnéticas propias de partículas de dimensiones iguales y de las fuerzas de origen molecular.

Debido a que las partículas que conforman este tipo de suelo son microscópicas, hacen más complejo su estudio ya que no son apreciadas a simple vista. Las estructuras más comunes de estos suelos son:

- Panaloide.- Ésta estructura se considera típica en granos de pequeño tamaño (0.002 mm de diámetro o algo menores) que se depositan en un medio continuo, normalmente agua y, en ocasiones aire.

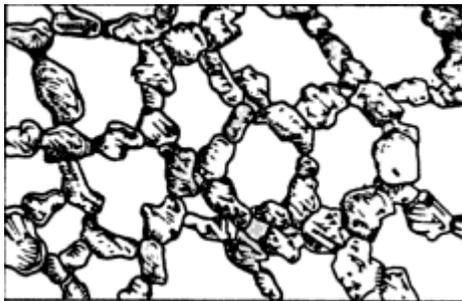


Imagen 1.2.- Estructura Panaloide (Juárez Badillo; 2006: 82)

En estas partículas, la gravitación ejerce un efecto que hace que tiendan a sedimentarse, pero dada su pequeña masa, otras fuerzas naturales pueden hacerse de magnitud comparable; concretamente, si la partícula, antes de llegar al fondo del depósito, toca a otra partícula ya depositada, la fuerza de adherencia desarrollada entre ambas, puede neutralizarse al peso, haciendo que la partícula quede detenida antes de completar su carrera; otra partícula puede ahora añadirsele y el conjunto de ellas podrá llegar a formar una celda, con cantidad importante de vacíos similar a la forma de un panal.

- Floculenta.- cuando en el proceso de sedimentación, dos partículas de diámetros menores de 0.02 mm llegan a tocarse, se adhieren con fuerza y se sedimentan juntas; así, otras partículas pueden unirse al grupo, formando un grumo, con estructura similar a un panal. Los floculos se unen

entre si para formar panales, que se depositan conjuntamente, formando al tocar fondo nuevos panales y dando lugar a una forma extraordinariamente difusa de estructura floculenta.

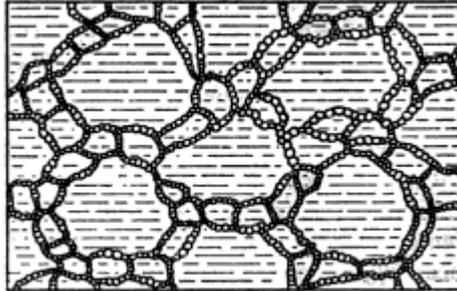


Imagen 1.3.- Estructura Floculenta (Juárez Badillo; 2006: 83)

- Dispersa.- Cualquier perturbación que pueda existir, como deformación por esfuerzo cortante, tiende en general a disminuir los ángulos entre las láminas de material.

Conforme esto sucede actúan entre las partículas presiones osmóticas inversamente proporcionales al espaciamiento de ellas.

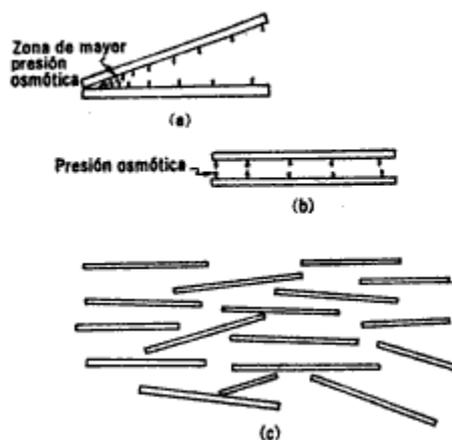


Imagen 1.4.- Estructura dispersa (Juárez Badillo: 2006: 86)

### 1.6.3.- Fases del suelo

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, líquida y la gaseosa. La fase es conformada por partículas de origen mineral provenientes del suelo (incluidas la capa sólida adsorbida); la líquida se constituye por el agua (libre, específicamente), aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de un significado menor; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, aunque en ocasiones esta sea ocupada por algunos gases (vapores, sulfuros etc.).

Las fases gaseosa y líquida se comprenden dentro del volumen de vacíos, y el volumen de los sólidos está comprendido por la fase sólida.

Se dice que un suelo es totalmente saturado cuando todos sus vacíos se encuentran ocupados por el agua. Un suelo en esta circunstancia consta, solamente de dos fases, la sólida y la líquida. La mayoría de estos suelos se encuentran por debajo del nivel de aguas freáticas.

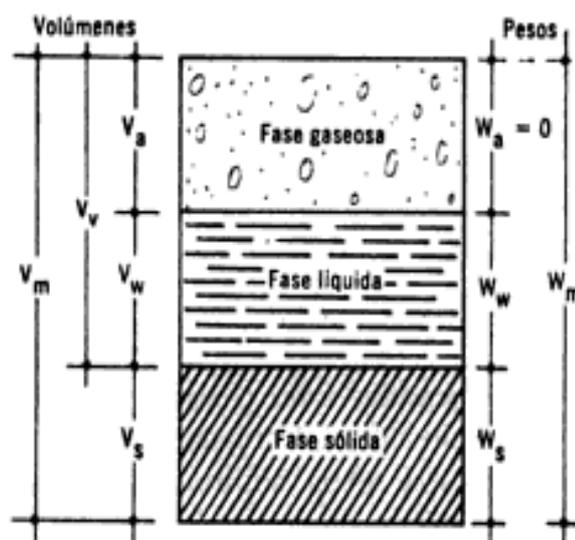


Imagen 1.5.- Fases del Suelo (Juárez Badillo; 2006: 52)

El significado de los símbolos es el siguiente:

$V_m$  = Volumen total de la muestra de suelo (volumen de la masa).

$V_s$  = Volumen de la fase sólida de la muestra (volumen de sólidos).

$V_v$  = Volumen de los vacíos de la muestra de suelo (volumen de vacíos).

$V_w$  = Volumen de la fase líquida contenida en la muestra (volumen de agua).

$V_a$  = Volumen de la fase gaseosa de la muestra (volumen de aire).

$W_m$  = Peso total de la muestra del suelo (peso de la masa)

$W_s$  = Peso de la fase sólida de la muestra de suelo (peso de los sólidos).

$W_w$  = Peso de la fase líquida de la muestra (peso del agua).

$W_a$  = Peso de la fase gaseosa de la muestra, considerado como nulo en lo que compete a la Mecánica de Suelos.

#### **1.6.4.- Propiedades volumétricas y gravimétricas.**

Se puede analizar un suelo a simple vista y de tal modo definirlo como un sistema de partículas cuyos espacios libres pueden estar total o parcialmente llenos de agua, estando así compuesta por tres fases: la sólida, líquida y la gaseosa.

De tal manera que si se cuenta con un suelo formado por la fase sólida y líquida se denomina como saturado, uno que sólo lo constituya la sólida y gaseosa es un suelo seco, y de este modo uno integrado por las tres es un suelo parcialmente saturado.

### **1.6.5.- Relaciones entre volúmenes y pesos.**

Las principales relaciones que hay entre las partículas de los suelos son enlistadas a continuación:

- Relación de vacíos.- Se le denomina de este modo a la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos de un suelo. Se mide de manera adimensional, y teóricamente arroja resultados fluctuando de 0 a  $\infty$ .
- Porosidad.- Es la relación existente entre el volumen de vacíos y el volumen de la masa del suelo, de manera física, la porosidad representa el número de huecos que contiene dicha muestra. Esta es expresada normalmente en porcentaje oscilando sus valores de 0 a 100%.
- Grado de saturación.- Esta es la relación que guarda el volumen del agua contenida en un suelo y su volumen de vacíos. Éste nos permite ver aue tan seco puede llegar a ser un suelo, o denominarlo saturado o parcialmente saturado.
- Contenido de agua.- Resulta de la relación guardada entre el peso del agua y el peso de la fase sólida, de manera que esta nos ayuda a prever el posible comportamiento de un suelo.

### **1.6.6.- Pesos específicos o volumétricos.**

Mientras un suelo esté en contacto o no con el agua, su peso se verá afectado, de esta forma se pueden agrupar en diferentes tipos de pesos:

- **Peso específico húmedo.**- Es el cociente del peso total de la muestra de suelo entre su volumen.

TIPO DE SUELOS		PESO VOLUMÉTRICO (ton/m <sup>3</sup> )	
		MÁXIMO	MÍNIMO
Tepetates	Secos	1.60	0.75
	Saturados	1.95	1.30
Arena de grano en tamaño uniforme	Secos	1.75	1.40
	Saturados	2.10	1.85
Arena bien graduada	Secos	1.90	1.55
	Saturados	2.30	1.95
Arcilla típica del valle de México en cond. Naturales.		1.50	1.20

Tabla 1.2.- Pesos Volumétricos (G. Carlos Rivera; 1993: 6)

- **Peso específico seco.**- Resulta de la división entre el peso de los sólidos y el volumen total de la muestra, es decir solamente se excluye el peso que contiene debido a la presencia del agua en la muestra.

Descripción del suelo	Relación de vacíos		Peso específico (kg /m <sup>2</sup> )	
	Max.	Min.		
Arena subangular uniforme	0.85	0.50	1890 sat.	2100 sat.
Arena subangular de buena graduación	0.70	0.35	1970 sat. 1550 sec.	2230 sat. 1950 sec.
Grava arena limosa de muy buena graduación	0.65	0.25	2000 sat. 1600 sec.	2320 sat. 2110 sec.
Arena y limo micáceos	1.25	0.80	1760 sat. 1200 sec.	1950 sat. 1510 sec.

Tabla 1.3.- Relaciones de vacíos y pesos específicos típicos de estructuras de contacto (G. Carlos Rivera; 1993: 7)

- **Peso específico sumergido.-** Se trata del caso en que un suelo sumergido en agua experimente un empuje hacia arriba igual al peso del volumen del agua desalojada. (según el principio de Arquímedes)
- **Peso específico relativo.-** Es la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua, siendo de esta manera un número de carácter adimensional.

## **1.7.- Clasificación**

En la naturaleza, los suelos rara vez existen separadamente como grava, arena, limo, arcilla o materia orgánica, sino que generalmente se encuentra en forma de mezclas con proporciones variadas.

De acuerdo a lo establecido por Juárez Badillo (2006), se puede decir que debido a la dificultad y a la infinita variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, cualquier intento de sistematización científica, debe de ir precedido por otro de clasificación completa.

### **1.7.1.- Clasificación de campo**

Una muestra característica del suelo se clasifica primeramente como suelo grueso o suelo fino, estimando si el 50% en peso de las partículas pueden o no verse aisladamente a simple vista (granos gruesos). Los suelos que contienen más del 50% de partículas gruesas son suelos gruesos; los suelos que contienen

más del 50% de partículas menores de lo que el ojo puede distar, son suelos finos. Esto sólo es aplicable para partículas menores de 76.2mm (3”).

Si el suelo es predominante grueso, se identifica como grava o arena si el 50% o más de sus granos son mayores o menores que la malla No. 4 (4.69mm) (aproximadamente 1/4”).

Si es una grava, debe a continuación identificarse como “limpia” (si su contenido de finos es poco o nulo ), o “sucias” (si contiene apreciable cantidad de finos). Para las gravas limpias, la clasificación final se hace estimando su graduación; las gravas bien graduadas, pertenecen al grupo GW; las gravas uniformes y gravas con deficiencias en algunos tamaños de granos pertenecen al grupo GP. Las gravas sucias son de dos tipos: aquellas con finos no plásticos (limosas), GM, y aquellas con finos plásticos (arcillosas), GC. La determinación de si los finos son limosos o arcillosos, se hace por medio de las tres pruebas manuales indicadas para los suelos finos.

Si es una arena, los mismos pasos y criterio que se usaron en las gravas se repiten, de modo de llegar a determinar si el suelo es una arena limpia mal graduada SP, arena con granos finos limosos SM, o arena con granos finos arcillosos SC.

### **1.7.2.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).**

De acuerdo con Juárez Badillo (2006), este sistema tiene como principal función el diferenciar a los suelos gruesos de los suelos finos, tamizándolos a

través de la malla No. 200 (0.074mm), señalando que las partículas menores a la malla son suelos finos y los gruesos son mayores a esta.

La clasificación de los suelos se establece de la siguiente manera:

a) Suelos gruesos.

Gravas; Gravel; "G"

Arenas; Sand; "S"

Las arenas y las gravas se separan a través de la malla No. 4 (4.76mm), de manera que si menos del 50% del peso no pasa la malla, el suelo es considerado una arena o de lo contrario se hablaría de una grava.

De igual forma, las arenas y gravas se clasifican en 4 sub-categorías más de suelo, los cuales se nombran a continuación:

- Material limpio y bien graduado de finos; WellGraded; "W". De la subdivisión anterior se forman en mezcla con las gravas y las arenas los grupos GW y SW. La presencia de finos que pueden contener estos grupos, no deben originar cambios apreciados en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni inferir con su capacidad de drenaje. Esto es logrado cuando el contenido de partículas finas no rebasa el 5% en peso del suelo.
- Material limpio y mal graduado de finos; PoorlyGraded; "P". De esta se producen los grupos GP y SP. Debido a que estos suelos gruesos son mal graduados, se dice que, existe un tamaño de partículas uniforme que son

predominantes en este tipo de suelo y se localizan con facilidad en las playas y en las orillas de los ríos.

- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos; Mo y Mjala; “M”. A partir de esta se cran los grupos GM y SM. La cantidad de finos localizados alteran su resistencia esfuerzo-deformación, así como la capacidad de drenaje de este. Para su practicidad se ha confirmado que un suelo se debe clasificar en este grupo si su cantidad de finos es mayor al 12% del peso total y con su plasticidad oscila de media a nula.
- Material con una apreciable cantidad de finos plásticos; Clay; “C”. El grupo GC y SC son muy parecidos a los mencionados con anterioridad, con la diferencia de que la plasticidad que presentan se encuentra entre la media y alta.

La clasificación S.U.C.S. considera algunas variantes en los grupos anteriores, suelos que no se localizan con facilidad en algún grupo en especial y se encuentran en un estado de límite entre dos grupos, a estos se le asignan símbolos dobles de dos grupos distintos.

#### b) Suelos finos

Los finos son todos aquellos que pasan después del cribado sobre la malla No. 200 (0.074mm) y se representan de la manera siguiente:

Limos inorgánicos; Mo y Mjala; “M”

Arcillas inorgánicas; Clay; “C”

Limos y arcillas orgánicas; Organic; “O”

Estos a su vez son clasificados en dos grupos más, partiendo del límite líquido correspondiente.

- (L) Los suelos con un límite líquido inferior al 50%, de tal manera que se tiene compresibilidad baja o media, se le agrega este símbolo formando así los grupos ML, CL y OL.
- (H) Los suelos finos que contienen un límite líquido superior al 50%, tienen una compresibilidad de media a alta, a estos se les agrega el símbolo para de esta manera formar los grupos MH, CH y OH.

Según lo establecido por Juárez Badillo (2006), existen suelos fibrosos que son altamente orgánicos, estos a su vez son muy compresibles. Este tipo de suelos forman un grupo especial e independiente asignándoseles el símbolo "Pt" (del ingléspeat; turba).

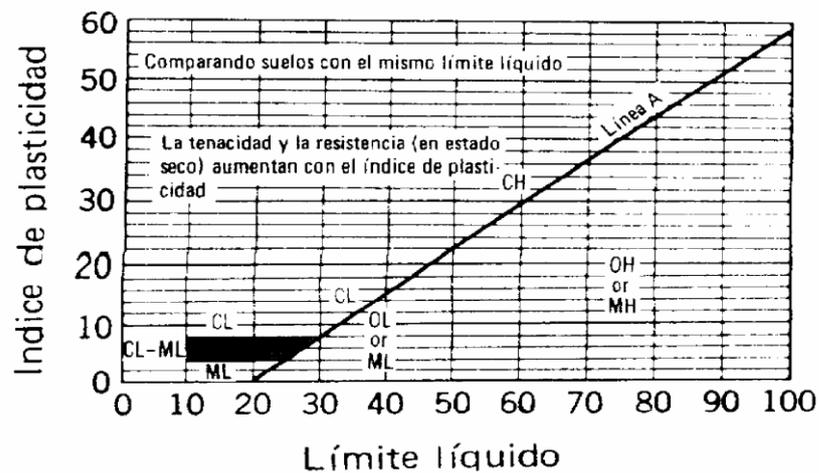


Imagen 1.6.- Carta de Plasticidad (Juárez Badillo; 2006: Anexo III-A)

Relacionado a la carta de plasticidad de este sistema de clasificación, se pueden localizar todos los grupos anteriormente mencionados de la manera siguiente:

Grupo CL:  $LL < 50\%$  y  $Lp > 7\%$

Grupo CH:  $LL > 50\%$

Grupo ML:  $LL < 50\%$  y  $Lp < 4\%$

Grupo MH:  $LL > 50\%$

Grupo OL:  $LL < 50\%$  y  $Lp < 4\%$

En el próximo capítulo se darán a conocer las múltiples pruebas de laboratorio que se le realizan a un suelo, así como el cálculo de cada una de ellas y su desarrollo. Además de difundir que el buen uso del laboratorio de suelos es el pilar de todo ingeniero civil debido a que por este se tendrá la capacidad de llevar un control de calidad rumbo a la obra civil.

## **CAPÍTULO 2**

### **PRUEBAS DE LABORATORIO.**

En este capítulo se dan a conocer las múltiples pruebas de laboratorio que se le realizan a un suelo, partiendo de la preparación de la muestra misma, y siguiendo con la realización de las pruebas que se ejecutarán, tales como la granulometría, densidad, límites de consistencia (límite líquido, plástico y de contracción), compactación, permeabilidad y consolidación. Además de destacar que el buen uso del laboratorio de suelos es el pilar de todo ingeniero civil debido a que mediante este se tendrá la capacidad de llevar un control de calidad en una obra civil.

#### **2.1.- Preparación de las muestras.**

Se entiende por muestra a una porción representativa del terreno, de acuerdo con el instructivo para el ensaye de suelos, el material que se obtiene de un muestreo se encuentra conformado en general por grava y algunos grumos de tierra. Las pruebas que serán descritas más adelante, tales como densidad, límites de consistencia, compactación, compresión triaxial, etc., se hacen con la porción de la muestra que pasa por la malla No.40. el material que queda retenido en él se desecha para la mayoría de las pruebas.

Al preparar la muestra para su ensaye, es necesario deshacer todos los grumos por medio de un pisón de madera de modo que no se rompan las

partículas o fragmentos de roca. A su vez debe evitarse la pérdida de material fino, al trabajarla debe por tanto operarse con sumo cuidado para de este modo evitar posibles fallas futuras debidas a un mal manejo del material.

Para la realización de una prueba de laboratorio de un suelo, primeramente hay que contar con el siguiente equipo, así como cumplir con el procedimiento que se indica más adelante.

1. Equipo necesario para la preparación de la muestra del suelo:

- Charola de fierro o madera revestida con lámina, de 1.20 x 0.80 x 0.20m.
- Pisón para romper los grumos.
- Juego de mallas de los siguientes tamaños: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y del No. 4.
- Bascula de 120 kg. Y balanzas de torsión de 0.1 g. de aproximación.

2. Procedimiento para preparar el suelo:

- Se obtiene el peso total de la muestra húmeda tal como llega del campo.
- Se vacía la muestra sobre la charola y se prepara la grava con la mano o con la ayuda de una malla.
- Se desmoronan los grumos de tierra con el pisón.
- Por la malla No. 4 se pasa el material desmoronado, clasificándolo en dos grupos.

- Se guarda la muestra de material que ha pasado por la malla No. 4 en un cajón debidamente identificado, para ser usado en pruebas posteriores; y, cuando sea necesario, guardarse también la grava.
- Se pone en una cápsula una muestra de material que ha pasado por la malla No. 4 para determinar su humedad o contenido de agua inicial.
- Se pesa en la balanza de torsión el material en estado húmedo, anotando el número de la cápsula; se introduce en un horno de secado a temperatura constante (105°C); después de 12 o más horas de permanencia en él, se deja enfriar la cápsula y tierra en un desecador y finalmente se pesa.

## **2.2.- Granulometría.**

Según lo establecido en la tesis profesional elaborada por Álvaro Terrazas, titulada Pruebas de Laboratorio de Mecánica de Suelos, se establece que la granulometría fue el primer intento para la clasificación de los suelos por tamaños, pues se pensaba que la capacidad mecánica del suelo se encontraba delimitada por el tamaño de sus partículas y su distribución granulométrica, pero debido a esta clasificación se rompe la estructura del suelo y, por lo tanto, se pierden varias de sus características, sin embargo, es uno de los métodos más utilizados en la actualidad debido a que no se ha encontrado uno que lo pueda remplazar.

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños todos los granos que lo componen. A partir de la distribución de los granos en un suelo, es posible formarse una idea aproximada de otras propiedades que contiene el mismo.

MATERIAL	CARACTERISITICAS	TAMAÑO (cm)
PIEDRA	-----	Mayor de 70
GRAVA	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
ARENA	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
POLVO	Grueso	0.05 a 0.1
	Fino	0.02 a 0.05
LIMO	Grueso	0.006 a 0.02
	Fino	0.002 a 0.006
ARCILLA	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
ULTRA-ARCILLA	-----	0.00002 a 0.0002

Tabla 2.1.- Granulometría (fuente: propia)

Según su composición, la granulometría puede determinarse por medio de un par de métodos diferentes o bien combinando ambos. Los tipos de granulometría se dividen en:

- Granulometría para suelos gruesos.

Del material que se extrae del campo, se cuartea y se toman de 5 a 10 kilos de la muestra del suelo. Se hace pasar la muestra a través de las mallas para suelos

gruesos colocadas en orden decreciente. Se pesa el material retenido en cada malla y se anota en la hoja de registro.

- Granulometría para suelos finos.

Del material que pasa la malla No. 40, se toman unos 500gr. de la muestra. La muestra del suelo se coloca en el juego de mallas para suelos finos. Una vez colocada la muestra en el juego de mallas, se hace vibrar el conjunto durante un tiempo de 10 min, mediante un agitador mecánico denominado como (Ro-Tap). Se pesa toda la fracción retenida en cada malla y se anota en la hoja de registro.

- Granulometría por lavado

De la fracción del material que pasa por la malla No. 4; en el caso de los suelos finos o granulares con finos, se toma una muestra representativa aproximadamente de 300 gr. se pone a secar en el horno a una temperatura aproximada de 105°C, hasta tener un peso constante, se anota este peso, y el material se coloca en un vaso de aluminio, se le agrega agua hasta quedar totalmente cubierto y se deja saturar por un tiempo aproximado de 24 horas.

Pasado el tiempo de saturación se procede a su lavado agitando con una varilla de 3/8" en forma de "8" en un tiempo de 15 seg., se deja reposar durante 30 seg., y se decanta el agua y suelo a través de la malla No. 200. Se repite esta operación hasta que el agua tenga una tonalidad casi clara, se recupera el suelo retenido en la malla y se coloca en el vaso dejándolo sedimentar eliminando el agua excedente, se pone a secar hasta llegar al peso constante.

### 2.3.- Densidad.

Se conoce como densidad de un suelo a la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que expulsan. El valor de la densidad (que está dado por números abstractos), además de servir para clasificar, interviene en la mayoría de los cálculos efectuados en un estudio de mecánica de suelos.

Para su determinación se hace uso de matraces calibrados a diferentes temperaturas. La densidad de los suelos puede variar comúnmente entre los siguientes valores:

Cenizas volcánicas	2.20 a 2.50
Suelos orgánicos	2.50 a 2.65
Arenas y gravas	2.65 a 2.67
Limos inorgánicos y guijarros arcillosos	2.67 a 2.72
Arcillas poco plásticas y medianamente plásticas	2.72 a 2.78
Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas	2.78 a 2.84
Arcillas expansivas	2.84 a 2.88

Tabla 2.2, Densidad de los suelos (Instructivo para ensaye de suelos; 1967).

#### 2.3.1.- Calibración del matraz.

El peso del agua que puede soportar un matraz varía según la temperatura en que ésta se encuentre; esto se debe, en primera instancia, a que los cambios

de temperatura son los que provocan variaciones en el volumen del recipiente, y en segunda, debido a esto se llega a modificar la densidad del agua.

Es conveniente realizar, para cada matraz de manera independiente, una gráfica de calibración, o sea, una curva que tenga como eje de ordenadas, los pesos de los matraces hasta la marca de aforo, y en las abscisas, las temperaturas registradas correspondientes. De este modo, se puede conocer de manera inmediata y segura el dato requerido para el ensayo.

- Procedimiento para la calibración de un matraz:
  1. Con una solución capaz de disolver grasas (se utiliza amoníaco normalmente), se limpia el matraz. En ocasiones, dependiendo de la cantidad de grasa contenida es necesario dejar el matraz lleno con esta solución durante algunas horas. Enseguida se enjuaga el matraz en repetidas ocasiones y se deja que se escurra colocado boca abajo.
  2. Se satura el matraz con agua destilada hasta la marca de aforo, y se le coloca en baño maría, hasta que hierva aproximadamente entre 5 y 10 minutos con la finalidad de eliminarle el aire que contenga.
  3. Se retira el matraz del baño maría y se le mide la temperatura al 0.1 grado metiendo el termómetro hasta el centro del matraz. Si la temperatura es muy alta, deben promediarse las lecturas del termómetro en tres puntos de la masa contenida de agua.
  4. Utilizando una pipeta, se hace que coincida de manera perfecta la parte inferior del menisco (es la superficie libre del líquido contenido en la pipeta) con la marca; posteriormente se limpia por el exterior el matraz y se pesa al 0.1g en la balanza de torsión.

5. Se deja que se enfríe el matraz, hasta que la temperatura del agua baje aproximadamente unos 5°; y se toma la lectura (se afora), se toma la temperatura al 0.1° y se vuelve a pesar. Esta operación se repite en aproximadas 6 u 8 ocasiones dejando enfriar cada vez más el matraz.
6. Con los datos obtenidos, se realiza una gráfica (denominada como gráfica de calibración), en papel milimétrico, en la cual, el eje de las ordenadas estará dado por los pesos de los matraces hasta la marca de aforo, y en el de las abscisas, las temperaturas registradas.

### **2.3.2.- Procedimiento para la realización de la densidad de suelos finos.**

A continuación se enlistan los pasos a seguir para la realización de la prueba:

1. Del material que pasa por la malla No. 4, se toman aproximadamente 200g procurando que esta sea representativa; se colocan dentro de una cápsula de porcelana. El material debe triturarse dentro de un mortero hasta que sea de una finura que permita pasar totalmente la malla No. 40, dejando secar en el horno a temperatura constante de 110°C aprox. Durante un tiempo de 18 horas como mínimo. Transcurrido dicho tiempo, se retira la cápsula del horno, se deja enfriar dentro de un desecador, para que no absorba agua, y se toma una cantidad aproximada de 60g.
2. En un matraz limpio, se pesa contenido de agua destilada, el peso obtenido al 0.1° se anota en el cuaderno de laboratorio.
3. El material seco se vacía en el matraz con agua; esta operación suele ser más fácil si se utiliza un embudo de vidrio. Se vuelve a pesar, anotando su

- peso en el registro de cálculos. Después de haberse pesado el matraz se desprende el material que quedó adherido al interior del cuello de éste.
4. Se pone el matraz en baño María a fin de quitarle el aire contenido en el material.
  5. Se saca el matraz del baño María. Se lava la parte exterior para eliminar las grasas y posteriormente se deja enfriar; en el momento que adquiera la temperatura ambiente, se le agrega agua destilada hasta llenarlo cerca de la marca de aforo, se deja que la temperatura sea uniforme y se mide al  $0.1^{\circ}\text{C}$ , introduciendo el termómetro hasta el centro del contenido.
  6. Después de medir la temperatura, se agrega agua destilada mediante una pipeta, en cantidad tal que la parte inferior del menisco coincida con la línea de aforo.
  7. Es necesario eliminar el agua que quede adherida al interior del cuello del matraz, arriba de la marca, para lo cual se absorbe con un papel.
  8. Posteriormente del secado y aforado, se pesa el matraz al  $0.1^{\circ}\text{g}$ .

#### **2.4.- Límites de consistencia o de Atterberg.**

Según el instructivo para el ensaye de suelos, las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, dependen en gran parte de la humedad. El agua forma una pequeña película alrededor de los granos, pero su espesor puede ser determinante de comportamientos diferentes del material. Cuando el contenido de agua es notoriamente elevado, se dice que se tiene una presión muy concentrada, con resistencia al esfuerzo cortante nula; al ir perdiendo humedad, va incrementando esa resistencia hasta alcanzar el denominado estado plástico, en el que el

material posee una gran maleabilidad, y conforme esta pérdida de agua continúa, el suelo llega a resistir esfuerzos de tensión y compresión adquiriendo así características de un sólido.

De acuerdo con la página de internet [www.ucn.cl](http://www.ucn.cl) (2010), se considera a la plasticidad como la propiedad que poseen algunos suelos de deformarse sin agrietarse, ni producir rebote elástico.

Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua. De ahí que se puedan determinar sus estados de consistencia al variar si se conoce las fronteras entre ellas. Los estados de consistencia de una masa de suelo plástico en función del cambio de humedad son: sólidos, semisólido, líquido y plástico. Estos cambios existen cuando la humedad en las masas de suelo varía. Para definir las fronteras en esos estados se han realizado muchas investigaciones, siendo las más conocidas las de Terzaghi y Atterberg.

De acuerdo a la tesis profesional elaborada por Álvaro Terrazas, titulada como Pruebas de Laboratorio de Mecánica de Suelos, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, establece que la plasticidad es una propiedad que se puede determinar por la consistencia; la cual se utiliza para conocer la plasticidad de los suelos, cuya estructura es modificada por algún proceso constructivo; y a su vez también sirve para clasificarlo.

Atterberg estudió la plasticidad a través del rango de humedad en el cual se manifiesta la plasticidad. Es decir, el rango de humedad que va desde que el suelo comienza a ponerse plástico hasta que se hace viscoso estableciendo los siguientes límites: líquido, plástico y de contracción:

a) Límite líquido, (Límite superior de plasticidad) es decir el contenido de humedad al cual el suelo fluirá muy poco al aplicarle una fuerza. También se

define como el contenido de humedad en el que el suelo pasa de plástico a viscoso.

b) Límite Plástico, (Límite inferior de plasticidad) es decir el contenido de humedad al cual el suelo puede ser escasamente arrollado en forma de fideo. (aprox. 3 mm de espesor). También se define como el contenido de humedad en el que el suelo pasa de friable a plástico.

Y a su vez un número de plasticidad, o sea la diferencia entre el límite superior y el límite inferior. El número de plasticidad se toma como un índice de plasticidad. La determinación de los índices superior e inferior de plasticidad se hace por diferentes métodos basándose en los estados antes dichos.

c) Límite de contracción. Al igual que los límites anteriores es un valor que caracteriza la consistencia de un suelo. Este límite es el contenido de humedad mediante el cual un suelo pasa de consistencia seca a húmeda.

#### **2.4.1.- Determinación del límite líquido.**

Para la determinación eficiente del límite líquido en una muestra de suelo determinada se debe contar con el siguiente equipo:

1. Copa de Casagrande y ranurador.
2. Equipo para el límite de contracción.
  - + Cápsula Petri
  - + Placas de vidrio con puntas
  - + Dotación de mercurio

+ Charola de evaporación grande

+ Moldes de lámina galvanizada del No. 2

3. Placa de vidrio grande para el límite plástico.
4. Agua destilada.
5. Balanzas de 0.01 gr. y 0.1 gr. de aproximación.
6. Horno secador.
7. Franela.
8. Vidrios de reloj.
9. Charolas de evaporación.
10. Espátula.
11. Calibrador de vernier.
12. Cápsulas de porcelana.

Así pues, teniendo ya el material necesario se procede a la determinación de dicho límite bajo el siguiente procedimiento (antes de proceder a la determinación del límite líquido del terreno, es necesario conocer el proceso de calibración de la copa de Casagrande):

1. El material de muestra se tiene que secar a temperatura ambiente y posteriormente ser disgregado.
2. Teniendo el material debidamente seco, se pasa por la malla No. 40 y se toman en una cápsula de porcelana aproximadamente unos 300gr. de éste.
3. Ya que ha sido colocado el material en la cápsula de porcelana se le agrega agua destilada y se mezcla hasta formar una pasta homogénea. La muestra se deja que repose durante un día aproximadamente (24 horas) para que llegue a ser homogénea con la humedad del suelo.

4. Se da inicio a los tanteos en la copa de Casagrande dándole al suelo diferentes humedades. Se deben llevar a cabo 5 tanteos y obtener de este modo la humedad de cada uno de ellos.
5. Se pone la pasta en la copa de Casagrande, llenándola a la mitad y pesándola para obtener un espesor máximo de 1.0 cm. Se ranura al centro con un ranurador de dimensiones de 11mm. en la parte superior y 2mm en la parte inferior, éste debe tener sus bordes redondeados para de este modo evitar deformaciones en el acomodo del suelo. Se debe ranurar la pasta según el eje de simetría del aparato, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la copa.
6. Una vez llena la copa y ranurada la muestra, el golpeo se hace girando la manivela a la velocidad de 2 rev/seg, (en el caso de poseer un aparato de utilización manual) y contar el número de golpes necesarios para que la ranura cierre  $\frac{1}{2}$ " aprox., la ranura debe cerrar por el flujo del suelo y no por deslizamiento de la pasta respecto a la copa.
7. En una cápsula de vidrio de reloj se extrae una muestra representativa de 10gr. aproximadamente del centro de la copa, cerca de donde cerró la ranura para obtener la humedad, se pesa la cápsula con el material húmedo al centésimo de gramo (0,01 gr.). Se deja secar en el horno en un tiempo aproximado de 24 horas a 110°C.

#### **2.4.2.- Determinación del límite plástico.**

Para la realización de esta prueba no se requiere de algún equipo en específico, simplemente basta con seguir el siguiente procedimiento basado en la preparación manual:

1. Se toman aproximadamente 15 gr. de suelo húmedo y posteriormente se amasan.
2. Mediante la palma de la mano se les da forma de “rollitos”, de un diámetro aproximado de 3mm apoyándose en una superficie lisa (preferentemente una placa de vidrio).
3. Se repite este procedimiento hasta que el “rollito” comience a desmoronarse mientras se intenta formarlo.
4. Se colocan dentro de una cápsula de vidrio de reloj y se pesan, posteriormente se meten al horno durante 24 horas aproximadamente a una temperatura aproximada de 110°C.
5. Se saca del horno y se pesan nuevamente para así determinar el contenido de humedad.

### 2.4.3.- Determinación del límite de contracción.

El límite de contracción puede determinarse gráficamente por medio de una prueba de laboratorio o también de manera analítica a base de la siguiente fórmula:

$$L_c = w_c = w_i - \frac{(V_i - V_f)}{W_s} * 100$$

En donde:

$L_c$  = Límite de contracción en %

$w_c$  = Porcentaje de humedad del suelo antes de contraerse

$V_i$  = Volumen inicial de la pastilla de reloj

$V_f$  = Volumen final de la pastilla (suelo seco)

$W_s$  = Peso de sólidos

Esta prueba normalmente se realiza con el material sobrante del ensaye del límite líquido, con la única variante en que la humedad del material es ligeramente mayor en un 10% aproximadamente. Para la determinación de esta prueba se llevan a cabo los siguientes pasos:

1. El material es colocado en una cápsula Petri, la cual debe pesarse y cubrirse con una capa delgada de aceite; el material debe colocarse en tres capas, procurando a cada una darle un par de golpes para que se asiente el material y expulse el aire que contiene la muestra, la cápsula se llena al ras y se pesa.

2. Se seca la muestra del suelo húmedo a temperatura ambiente hasta que alcance una tonalidad de oscura a clara, para posteriormente colocarla en el horno durante unas 42 horas a 110°C.
3. Se saca del horno y se pesa, para de esta manera obtener el peso seco de la muestra.
4. Se coloca en una cápsula de porcelana un recipiente de vidrio y se le vierte mercurio hasta derramarlo y se enrasa. Para enrasar se coloca el vidrio de 3 puntas sobre la superficie del mercurio y se presiona hacia abajo forzando al excedente a salir del recipiente y así expulsar el aire atrapado. El mercurio que se derrama se recoge en la cápsula para evitar pérdidas (hay que tomar precaución al manejar el mercurio debido a que es un elemento tóxico).
5. La pastilla del suelo seco se coloca invertida sobre la superficie del mercurio. En el recipiente de vidrio lleno de mercurio y se sumerge lentamente con movimientos de rotación por medio del vidrio de 3 puntas hasta expulsar el aire atrapado.
6. El mercurio desalojado por la pastilla se pesa y con este dato dividido entre el peso específico del mercurio, se calcula el volumen de la pastilla (el peso específico del mercurio es de 13.56 gr./cm<sup>3</sup>).

## **2.5.- Compactación.**

De acuerdo con la página de internet [www.ucn.cl](http://www.ucn.cl) (2010) la compactación de suelos es el proceso por el cual las partículas de suelo son obligadas a mantener un mayor contacto las unas con las otras, mediante una reducción del

índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades mecánicas.

La importancia de la compactación de suelos radica en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas provechosas, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordes de defensas, muelles, pavimentos, etc.

Los métodos empleados para la compactación de suelos dependen del tipo de materiales con que se trabaje en cada caso; en los materiales puramente friccionantes (arena), los métodos vibratorios son los más eficientes, en tanto que en suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta el más ventajoso. En la práctica, estas características se reflejan en el equipo disponible para el trabajo, tales como: plataformas vibratorias, rodillos lisos, neumáticos o patas de cabra.

Las pruebas de compactación en el laboratorio sirven para encontrar las relaciones entre el peso volumétrico seco y el contenido de agua, cuando a una muestra de suelo se le aplica cierta energía especificada con magnitud y forma de aplicación. Por lo que se determina como contenido de agua óptimo al correspondiente al peso máximo.

De acuerdo con la forma en que se aplica la energía de compactación, las pruebas se clasifican como estática (prueba Porter), dinámica (prueba Proctor) y por amasado.

### **2.5.1.- Prueba Proctor.**

La prueba Proctor se utiliza para suelos arcillosos, limos y mezclas de limos con arenas y de arcillas con arenas. Estas mezclas deben contener material menor que la malla No. 4.

Para la ejecución de esta prueba es necesario contar con el siguiente equipo:

1. Molde Proctor y martillo de 2.5 kg de peso.
2. Balanza con capacidad mínima de 300 gr. y precisión mínima de 0.5 gr.
3. Balanza con capacidad mínima de 10 kg y precisión mínima de 5 gr.
4. Varios: Regla metálica para enrasar, malla No.4 mortero, y mano de mortero, cápsula de porcelana para determinar la humedad, charola, probeta graduada y horno.

Para llevar a cabo una eficiente ejecución de la prueba Proctor se tienen que seguir los siguientes pasos:

1. Del material que se trae del campo, se toman aproximadamente 10kg y se criban con la malla No. 4.
2. Se divide en 5 muestras de 2kg aproximados cada una de ellas.
3. Se toma una primer muestra esparciéndole agua en cantidad tal que la humedad este entre un menos 10%, revolviendo perfectamente el material, tratando que el agua se distribuya de manera uniforme.

4. Se vacía en el molde Proctor, previamente armado, colocándola en 3 capas compactadas con 25 golpes en cada capa, de tal manera que las superficie del material quede aproximadamente 1cm arriba del molde.
5. Se quita el collarín y se enrasa el molde pesándolo.
6. De la parte central de la muestra se extraen de manera aproximada 200 gr. se colocan en una cápsula de porcelana y se pone en un horno a secar a una temperatura de 110°C durante un tiempo aproximado de 24 horas.
7. En forma análoga se realizan los siguientes 4 ensayos agregando a cada uno de ellos agua, de tal manera que la humedad se aumente oscilando entre 2 y 5% dependiendo del tipo de material.
8. En base a los datos obtenidos se realiza una curva denominada de compactación, la cual se obtiene graficando el peso volumétrico seco contra el contenido de agua de compactación.

#### **2.5.2.- Prueba Porter.**

La prueba Porter se utiliza en caso de tener suelos granulares, arenas y gravas que se retienen en la malla No. 4 más de un 10%. Esta prueba requiere para su buena ejecución los siguientes instrumentos:

1. Molde Porter y varilla con punta de bala
2. Balanza con capacidad mínima de 10 kg
3. Balanza con capacidad mínima de 300 gr.
4. Varios: Cápsula de porcelana, charola, probeta graduada y horno.
5. Máquina para aplicación de la carga.

Para lo correcta ejecución de este ensaye es necesario llevar a cabo el siguiente procedimiento:

1. Del material que es extraído del campo, se cuartea, se criba por la malla No. 1", y se toman 5kg aproximadamente.
2. Se le agrega agua de tal manera que el material tenga aproximadamente su humedad óptima. Esta humedad se logra removiendo el agua agregada a la muestra para homogeneizarla, hasta que obtenga una consistencia que al oprimirla con la mano no deje partículas adheridas y no la humedezca.
3. Se pesan 4kg de material húmedo y se colocan en el molde Porter, en capas compactadas cada una de ellas con 25 golpes con una varilla de punta de bala.
4. Se le aplica una carga a la muestra, que haga que la presión aplicada llegue a 140.6 kg/cm<sup>2</sup>. En un lapso aproximado de 3min, se debe llegar a la carga máxima y esta debe ser constante durante un minuto.
5. En el lapso de tiempo en el que la carga se mantiene constante se debe observar si fluye una gota de agua por la parte inferior del molde, en caso de que no aparezca, se quita de manera inmediata el molde y se observa en la placa de carga si la superficie esta húmeda. En cualquiera de los 2 casos se puede dar por terminada la prueba y si no lo es así se colocará más agua hasta que suceda lo anteriormente dicho. Si se cumple se dice que se encuentra el material en su peso volumétrico seco máximo (PVSM).
6. Si se obtuvo el PVSM, se saca el molde de la prensa hidráulica y se mide en 4 puntos opuestos diametralmente con un vernier, lo que el material bajó al comprimirse en el molde.

7. Se extrae del centro de la muestra una cantidad aproximada de 300gr y se colocan en el horno para su secado y así poder obtener la humedad óptima de compactación.

## 2.6.- Determinación de la permeabilidad.

Según el instructivo para el ensaye de suelos, se dice que en el año de 1856, H. Darcy estableció la ley que rige el flujo del agua a través de los suelos, expresándola de la manera siguiente:

$$Q = k * i * A$$

En donde:

$Q$ = Gasto que se pasa a través de la muestra

$k$ = Coeficiente de permeabilidad.

$i$ = Gradiente hidráulico

$A$ = Área de la sección transversal de la muestra

\*Esta expresión solo es válida si el escurrimiento es laminar.

El coeficiente de permeabilidad  $k$  depende del tamaño y forma de los granos que componen el suelo, de la relación de vacíos, del grado de saturación, del contenido de materia orgánica y de la temperatura y solubilidad de sus elementos. Siendo este coeficiente distinto para cada tipo de suelo, es necesario determinarlo experimentalmente, mediante pruebas de permeabilidad, en cada caso particular.

La permeabilidad de un suelo se puede determinar directamente del terreno, mediante algunas pruebas, o bien, en el laboratorio, utilizando muestras representativas de este. Las pruebas de laboratorio se ejecutan utilizando

aparatos especiales llamados permeámetros que pueden ser de carga constante, de capilaridad horizontal, de carga variable y permeámetro consolidómetro.

### **2.6.1.- Pruebas con permeámetro de carga constante.**

Este permeámetro se utiliza normalmente para suelos con una relativa permeabilidad; como lo pueden ser las gravas, arenas y mezclas de arena con gravas. Los coeficientes de permeabilidad para estos suelos oscilan entre  $10^2$  a  $10^{-3} \text{ cm/seg}$ .

El procedimiento consiste en manera general, en someter la muestra del suelo a un escurrimiento de agua bajo una carga constante. Es necesario conocer el área de la sección transversal de la muestra, su longitud, la carga a la que se le someterá además de la temperatura del agua.

Para llevar a cabo esta prueba se requiere del siguiente equipo:

1. Permeámetro de Lucita (diámetro interior, 10cm; longitud 20cm para arenas; 20cm de diámetro interior, 1m de longitud para gravas o mezclas de grava y arena).
2. Dispositivo de abastecimiento
3. Termómetro
4. Cronómetro
5. Pisón metálico de 4cm de diámetro y 300 gr de peso
6. Malla No. 100
7. Balanza de 2kg de capacidad y 0.1g de sensibilidad

Para la adecuada realización de esta práctica es necesario llevar a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se mide el diámetro promedio del permeámetro y se determina su área transversal.
2. Se coloca la malla en el extremo inferior del permeámetro y se pesa este conjunto.
3. El material seco se coloca en capas, apisonándolas con un número variable de golpes, a fin de que la muestra quede uniformemente compactada. Por medio de ensayos preliminares de compactación, se tratará de hallar el espesor de las capas, así como la intensidad y el número de golpes requeridos para que el espécimen tenga la misma relación de vacíos que se obtiene en su correspondiente prueba de densidad relativa.
4. Se pesa el permeámetro con la muestra compactada; este peso menos el de la tara representa el peso de la muestra seca.
5. Se satura la probeta por capilaridad, sumergiéndola lentamente en un recipiente con agua destilada y procurando que el nivel de la línea de saturación quede arriba del nivel del agua del recipiente, con objeto de que la saturación se efectúe exclusivamente por capilaridad y la expulsión del aire de la muestra sea más efectiva.  
  
Al terminar de saturar la muestra, se permite que el agua del recipiente quede arriba del nivel superior de la muestra e inmediatamente se coloca el permeámetro en posición de prueba, agregándole agua hasta derramar, conectándola con el sistema de abastecimiento.
6. Se deja escurrir el agua durante 15 min para establecer el régimen y una vez logrado, se mide.

7. Una vez establecido el régimen, se cierra la llave llenando de agua la bureta por la vena más larga, y se abre la llave hasta llegar a una marca conocida.
8. De manera simultánea se abre la llave y se pone en marcha el cronómetro; al sobrepasar el nivel del agua de la bureta por otra marca conocida, se detiene el cronómetro.
9. Para calcular el coeficiente de permeabilidad, se aplica la siguiente fórmula:

$$k = \frac{V * L}{A * h * t}$$

Donde:

K= coeficiente de permeabilidad

V= el volumen medio de agua.

L= longitud de la muestra

A= área de la sección transversal del espécimen

h= carga bajo la cual se produce la filtración

t= el tiempo en que se efectuó la prueba (segundos)

## **2.7.- Consolidación unidimensional.**

De acuerdo con el Instructivo para ensaye de suelos (1970), los materiales que se emplean en la ingeniería, al aplicárseles fuerzas exteriores, presentan deformaciones de acuerdo con una determinada relación esfuerzo-deformación.

El objetivo de esta prueba es determinar el decremento de volumen y la velocidad con que este decremento se produce, en un espécimen de suelo confinado lateralmente en un anillo con una deformación nula y sujeto a una carga axial.

Para su correcta ejecución se debe contar con el equipo siguiente:

- Marco de consolidación.
- Anillo de consolidación.
- Placas circulares.
- Piedras porosas.
- Micrómetro.
- Equipo para labrar la muestra ( cuchillos, cúter, etc)
- Cronómetro.
- Cápsulas.
- Horno.
- Balanzas.

Para la adecuada realización de esta práctica es preciso llevar a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se trabaja el anillo de la muestra inalterada, Esto se logra mediante el uso de un aparato cortador adecuado, (cuchillos y/o cúter), así como se prepara material para la realización de la prueba de densidad de sólidos (Ss), dato requerido para esta prueba.
2. Se labran cilindros de la muestra inalterada con dimensiones de 3.6 cm de diámetro y 9 cm de altura (u otras dimensiones de tal manera que la relación altura sobre diámetro sea aproximadamente igual a 2.5).
3. Labrada la probeta, se pesa y toma las dimensiones especificadas en el formato de la prueba, anotados los datos.
4. Con gran cuidado, a fin de evitar movimientos del anillo y las piedras porosas en la cazuela, se coloca ésta sobre la plataforma del banco de consolidación y se centra cuidadosamente la piedra porosa superior bajo el banco de carga.
5. Se balancea la palanca de carga, hasta que el marco quede en contacto con el balín transmisor alojado en la muestra de la placa de carga, previamente colocada sobre la piedra porosa superior. Compruebe la horizontalidad de la pieza superior del marco de carga.
6. Se coloca el micrómetro, atornillado al puente que lo sostiene y poniéndolo en contacto con el marco de carga póngase el micrómetro en cero.
7. Se programa una secuela de cargas. Tomando en cuenta la rapidez con la que se vaya a construir la estructura que soportará dicho suelo y la presión aproximada que se tendrá en el suelo en estudio.

## 2.8.- Prueba de Compresión “Simple”.

El objetivo de esta prueba es el de determinar las características de esfuerzo deformación, así como la capacidad de carga de un suelo al aplicar una carga axial a una muestra representativa.

Para llevar a cabo esta prueba se requiere del siguiente equipo:

- Marco para prueba de compresión simple.
- Cuchillos y navajas para labrado de espécimen.
- Torno para labrado de espécimen.
- Charolas
- Balanza.
- Vernier.
- Horno a una temperatura constante de aproximadamente 110°C.

Para la adecuada realización de este ensayo es preciso llevar a cabo el sucesivo procedimiento:

1. Se labran cilindros de la muestra inalterada con dimensiones de 3.6 cm de diámetro y 9 cm de altura (u otras dimensiones de tal manera que la relación altura sobre diámetro sea aproximadamente igual a 2.5).
2. Labrada la probeta, se pesa y toma las dimensiones especificadas en el formato de la prueba, anotados los datos, se procede al armado de la cámara de compresión simple para colocarla en el marco de compresión.

3. Se coloca el micrómetro en el soporte de la cámara apoyada sobre el marco y se ajusta su carátula en cero.
4. Se procede a aplicar la carga con una velocidad de ruptura a la cual se va a someter el espécimen durante el ensayo a razón de  $1 \text{ mm}/\text{min}$ , esta velocidad de carga se aplicará colocando carga al espécimen en cada minuto de la prueba, el incremento de carga que se aplicará será correspondiente al considerado por el laboratorista y del suelo que se está ensayando.
5. Se van tomando lecturas simultáneamente de la báscula del marco y del micrómetro, dicha lectura se toma cada minuto, 10 segundos antes del cambio de carga. Esto para definir la curva deformación unitaria - esfuerzo.
6. Las lecturas, se deben de suspender cuando con el incremento de la carga aplicada, el micrómetro no presente una estabilización en su avance o cuando la muestra presente una falla visible, o bien, cuando la deformación corresponda a un 20% con respecto a la lectura inicial (materiales plásticos).
7. Con todas las lecturas obtenidas de la báscula del marco y del micrómetro, se procede a realizar el cálculo correspondiente.

## 2.9.- Prueba de Compresión Triaxial Rápida.

El objetivo de esta prueba es el de determinar las características de esfuerzo deformación y resistencia de los suelos sujetos a esfuerzos cortantes.

Equipo necesario para ejecución de la prueba:

- Marco para pruebas triaxiales.
- Cuchillos y navajas para labrado de espécimen.
- Torno para labrado de espécimen.
- Charolas
- Balanza.
- Vernier.
- Horno a una temperatura constante de 110°C.

Para la ordenada realización de esta práctica es necesario llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Se labran cilindros de la muestra inalterada con dimensiones de 3.6 cm de diámetro y 9 cm de altura (u otras dimensiones de tal manera que la relación altura sobre diámetro sea aproximadamente igual a 2.5).
2. Labrada la probeta, se pesa y toma las dimensiones especificadas en el formato de la prueba, anotados los datos, se procede a colocar una membrana plástico a la probeta, esto con la finalidad de aislar la probeta del agua que se coloca en la cámara posteriormente, se procede al armado de la cámara de compresión triaxial para colocarla en su mesa de soporte.

3. Se introduce el agua dentro de la cámara, se coloca en el marco de compresión y se aplica la presión lateral (presión de confinamiento), con la cual se va a ensayar la muestra. En nuestro caso dicha presión se aplica por medio de aire comprimido.
4. Se coloca el micrómetro en el soporte de la cámara apoyada sobre el marco y se ajusta su carátula en cero.
5. Se procede a aplicar la carga con una velocidad de ruptura a la cual se va a someter el espécimen durante el ensayo a razón de  $1 \text{ mm}/\text{min}$ , esta velocidad de carga la aplicaremos colocando carga al espécimen en cada minuto de la prueba, el incremento de carga que se aplicará será correspondiente al considerado por el laboratorista y del suelo que se está ensayando.
6. Se van tomando lecturas simultáneamente de la báscula del marco y del micrómetro, dicha lectura se toma cada minuto 10 seg. Antes del cambio de carga. Esto para definir la curva deformación unitaria - esfuerzo.
7. Las lecturas se deben de suspender cuando con el incremento de la carga aplicado, el micrómetro no presente una estabilización en su avance o cuando la muestra presente una falla visible, o bien cuando la deformación corresponda a un 20% con respecto a la lectura inicial.
8. Con todas las lecturas obtenidas de la báscula del marco y del micrómetro, se procede a hacer el cálculo.

## CAPÍTULO 3

### RESUMEN EJECUTIVO DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN.

En este capítulo se citarán características propias del lugar, tales como su localización, (macro y micro localización), además de particularidades naturales con las que cuenta la localidad donde se realizó el presente trabajo de investigación, así como demás datos generales.

#### 3.1.- Generalidades.

La localidad de **San Lorenzo** está situada en el Municipio de Uruapan, en el Estado de Michoacán de Ocampo. Tiene 3639 habitantes. San Lorenzo cuenta con un templo dedicado al santo que le da el nombre a la población. Este monumento histórico conserva su fachada del siglo XVI con una cruz atrial del año de 1823.

A un costado del templo se encuentra la capilla del antiguo Hospital, de una sencilla nave con techo a dos aguas. Los lugareños, principalmente las mujeres, elaboran manteles y servilletas bordadas en punto de cruz, así como muñecos de trapo con indumentaria indígena que llevan a sus espaldas jarros, molinos, molcajetes y metates, o representan actividades y oficios y suelen utilizarse para montar “nacimientos” de matiz indígena.



Fotografía 3.1.- San Lorenzo, (Google *earth*; 2010).

### **3.2.- Objetivo.**

Encontrar cuáles son las causas principales que llevan a cometer errores dentro de la elaboración de un estudio de mecánica de suelos realizado en la localidad de San Lorenzo.

### **3.3.- Resumen ejecutivo.**

El estudio de mecánica de suelos, se realizó en un predio perteneciente al C. Antonio Nico Clemente, habitante de la comunidad de San Lorenzo, en un predio ubicado en dicha comunidad.

Este estudio presentó algunas irregularidades en su procedimiento, debido a varias causas, entre ellas el mal uso del equipo utilizado en su ejecución y la

falta de precaución en su forma de realizarla. Por lo cual estas son principales causas alterantes de los resultados.

El análisis reveló algunos fallos que se vieron involucrados en los resultados arrojados por el estudio, de tal manera que estos pueden causar problemas en una estructura ya sea en la economía propia o en la seguridad misma.

Para la elaboración fue necesaria la intervención de información teórica, así como recopilación de información laboral a través de visitas a diversos especialistas en el tema, para completar la investigación documental con el fin de tener una detallada y extensa gama de búsqueda.

Se acudió al lugar del muestreo haciendo uso de una retroexcavadora perteneciente a la comunidad de San Lorenzo, para la realización de la excavación. Para el desarrollo de operaciones matemáticas, que fueron utilizadas en el cálculo de cada una de las pruebas de laboratorios correspondientes, se crearon hojas de cálculo en Microsoft Office Excel, se utilizó del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Don Vasco para la realización práctica de estas pruebas.



### 3.4.1.- Macro y Microlocalización.

Macrolocalización.



Fotografía 3.1.- Macrolocalización (tomada mediante *Google earth*; 2010).

Microlocalización.



Fotografía 3.3.- Microlocalización (Google earth; 2010)

### 3.4.2.- Hidrografía

En esta zona no se encuentran ríos perenes, simplemente se pueden ubicar ríos de carácter efímero, debido al tipo de suelo que prevalece en la comunidad de San Lorenzo.

### **3.4.3.- Clima.**

El clima de la región es templado, aunque su temperatura mínima oscila entre los 8°C, y su temperatura máxima solo alcanza los 16°C.

### **3.4.4.- Principales ecosistemas.**

El ecosistema con el que se cuenta en la comunidad, es predominantemente el bosque. En este bosque prolifera la producción de pinos y encinos.

### **3.4.5.- Actividad económica.**

No se puede decir que San Lorenzo cuente con una actividad económica dominante, ya que se cuenta con una disputa entre dos potentes actividades. Una es la agricultura, ya que en este lugar se cuenta con gran extensión de terreno fértil y apropiado para esta actividad, entre los cultivos destacan los siguientes: maíz, durazno, etc., y la producción de madera, la cual es una de las de mayor auge contenido en el lugar, ya que se cuenta con una gran producción y explotación de pinos y encinos.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA.**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en base a un estudio de mecánica de suelos, realizado en un predio ubicado en la comunidad de San Lorenzo, perteneciente al municipio de Uruapan, Michoacán.

De este modo, durante este capítulo, se dará mención al método que se empleó para realizar esta investigación, así como su enfoque, alcance y diseño propios, al igual que los tipos de instrumentos utilizados para la recopilación de datos, los cuales darán la pauta para describir el proceso de investigación llevado a cabo.

#### **4.1.- Método empleado.**

El método que se empleó en el presente trabajo de investigación es el método científico, ya que se parte de un resultado tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos.

Así pues, se puede decir que el método científico no es otra cosa que la persistente aplicación de la lógica para de esta manera poner a prueba todas las impresiones, opiniones o sospechas, examinando así las mejores evidencias disponibles en favor y en contra de ellas.

Al igual que el método científico, también se ve participe el método analítico, ya que según lo establecido por Jurado (2005), este método es capaz de distinguir los elementos de un fenómeno y permite su revisión ordinaria de cada uno de ellos por separado, para posteriormente con el uso de la experimentación, establecer las denominadas leyes universales.

#### **4.1.1.- Método matemático.**

De acuerdo con lo establecido por Mendieta (2005), que manifiesta que en cualquiera investigación que utilice números, ya sean diversidad de comprobaciones, relaciones constantes o variedad de hipótesis, y estas se tomen en cuenta para la afirmación o de lo contrario la negación de alguna actividad, se está dando uso del método matemático.

#### **4.2.- Enfoque de la investigación.**

En base a lo establecido por Hernández Sampieri y Cols. (2004), se dice que se utiliza el método del enfoque dominante, ya que se desarrolla bajo la perspectiva del enfoque cuantitativo pero a su vez se mantiene un componente del enfoque cualitativo.

El enfoque cuantitativo ofrece el generalizar los resultados de una manera amplia, además de otorgar el control, desde un punto de vista de conteo y magnitudes de los fenómenos.

Por otro lado el enfoque cualitativo profundiza en los datos, su dispersión, interpretación, contextualización del entorno, los detalles y experiencias únicas. Por lo tanto al utilizar ambos enfoques se potencializa el desarrollo del conocimiento, la construcción de las teorías y la resolución del problemas presente.

#### **4.2.1.- Alcance de la investigación.**

Para esta investigación en particular se determinó utilizar estudios de carácter descriptivo. Este tipo de alcance es idóneo para fundamentar las investigaciones relacionadas entre sí, las cuales suministran información necesaria para producir estudios explicativos y de esta manera proporcionar un sentido de razón.

De acuerdo a Hernández Sampieri y Cols. (2004), los estudios que se realizan con un alcance descriptivo, pueden recoger información de forma independiente o a su vez conjunta sobre las variables o conceptos a los que se refieren.

#### **4.3.- Diseño de la investigación.**

El diseño de la presente investigación está hecha a base del diseño transeccional positivo, y partiendo de lo establecido por Hernández Sampieri y Cols. (2004), se dice que tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan sus variables o bien categorizar o ubicar una visión de un fenómeno o situación específica. Su procedimiento consiste en medir una situación o concepto, y proporcionar su descripción, y a su vez esta investigación es de carácter experimental ya que requirió de diferentes pruebas realizadas tanto como en el sitio, como en el laboratorio, llegando así a resultados propios.

#### **4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.**

Para la realización de esta investigación, fue necesario principalmente hacer uso de pruebas de laboratorio (granulometría, densidades, límites, compresión y consolidación), para recopilación de datos y análisis de ellos, así como una exploración de campo para la extracción de las muestras a revisar.

Cuando se realizó el sondeo, se dio uso de una retro excavadora, la cual fue rentada para su manejo, de igual forma se dio uso de herramientas básicas para la excavación de suelos.

Por otra parte, mientras se realizaban las pruebas de laboratorio de suelos, se utilizaron programas de cómputo, tales como Excel, y Word.

#### **4.5.- Descripción del proceso de investigación.**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en base de un estudio de mecánica de suelos, realizado en un predio perteneciente al C. Antonio Nico Clemente, en la comunidad de Sn Lorenzo.

Este estudio fue revisado y presentó algunas irregularidades en su procedimiento, debido a diversas causas, entre ellas el mal uso del equipo por parte del laboratorista y la falta de precaución en su forma de realizarla. Por lo que posteriormente estas son principales causas alterantes de los resultados.

El análisis de estos errores, revelaron algunos fallos que se vieron involucrados en los resultados arrojados por el estudio, de tal manera que estos pueden causar problemas en una estructura ya sea en el ámbito económico o en la seguridad de ella principalmente.

Para la realización fue necesaria la intervención de información teórica, así como recopilación de información laboral a través de visitas a diversos especialistas en el tema, para complementar la investigación documental con el fin de tener una detallada y amplia gama de búsqueda.

Se acudió al lugar del muestreo haciendo uso de una retroexcavadora perteneciente a la comunidad de San Lorenzo, para la realización de la

excavación. Para el desarrollo de operaciones matemáticas, que fueron utilizadas en el cálculo de cada una de las pruebas de laboratorios correspondientes, se crearon hojas de cálculo en Microsoft Office Excel, se utilizó del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Don Vasco para la realización práctica de estas pruebas.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

En el presente capítulo se realizará el análisis e interpretación de los cálculos efectuados para la elaboración de esta investigación, haciendo énfasis en los diversos factores que nos llevan a cometer errores en el desarrollo de un estudio de mecánica de suelos, mediante el uso de diversas herramientas, así como de un Laboratorio de Suelos, perteneciente a la Universidad Don Vasco, en la ciudad de Uruapan, Michoacán.

De acuerdo con lo establecido en el Instructivo para el ensaye de suelos, se siguió el siguiente orden para la ejecución del estudio de mecánica de suelos:

- 1.- Extracción de la muestra.
- 2.- Preparación de la muestra.
- 3.- Obtención de la granulometría por lavado.
- 4.- Densidades.
- 5.- Límites de Consistencia
  - Límite líquido.
  - Límite plástico.
  - Límite de contracción.

6.- Consolidación unidimensional

7.- Prueba de compresión “simple”.

8.- Prueba de compresión triaxial “rápida”

### 5.1.- Extracción de la muestra.

Para la extracción de la muestra, se realiza una excavación aproximada de 12 a 16  $m^3$ , la cual se ejecuta mediante un equipo apropiado para la actividad a realizar.



Fotografía 5.1.- Excavación del sondeo.

Fuente: propia.

Posteriormente se realiza una extracción de material de las paredes de la excavación, de cada uno de los estratos identificados, colocándose en algunos costales, o bien, en bolsas de plástico.



Fotografía 5.2.- Extracción de muestra alterada.

Fuente: propia.



Fotografía 5.3.- Extracción de muestra alterada.

Fuente: propia.

Del estrato más profundo, se obtiene una muestra inalterada, labrada de manera cuidadosa para obtener dimensiones adecuadas y suficientes para poder realizar el estudio.



Fotografía 5.4.- Obtención de la muestra inalterada.

Fuente: propia.

A continuación, la muestra se somete a un recubrimiento, el cual ayudará al terreno a mantener sus características y sus capacidades, dicho recubrimiento puede ser elaborado a base de manta de cielo y una mezcla de parafina y cera, o por otra parte puede estar hecho con un polímero de contacto.



Fotografía 5.5.- “Manta de cielo”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.6.- “Polímero de contacto”.

Fuente: propia.

Al llegar al laboratorio, las muestras “alteradas” deben colocarse por estratos, en recipientes, cada una con una etiqueta o algún otro dispositivo que sirva como distintivo.



Fotografía 5.7.- “Separación por estratos”.

Fuente: propia.

Para la extracción de la muestra deben evitarse los siguientes errores, que son los más frecuentes en esta etapa:

1. Durante el labrado de la muestra inalterada debe tenerse cuidado de no romperla, ya que esto ocasionaría una obtención mínima de material, que posteriormente repercutirá en la elaboración de las pruebas debido a la escases de terreno.

2. Al extraer las muestras alteradas, deben almacenarse por separado, evitando que alguno de los estratos se mezclen entre sí, ya que si sucede esto, no habrá una exactitud en los resultados de cada capa.

## 5.2.- Preparación de la muestra.

Al efectuar esta operación se deberán tomar en cuenta las precauciones siguientes, con el fin de evitar cometer errores que arrojen resultados erróneos:

1. La preparación de la muestra debe realizarse el mismo día en que se efectúa el sondeo, debido a que las muestras se encuentran contenidas en bolsas de plástico y adquieren humedad, difiriendo así de sus propiedades contenidas en el sitio.
2. Al someter el material a secado, deberán evitarse las altas temperaturas ya que si llegan a alcanzarse, el material pierde sus características ocasionando una alteración en sus propiedades.



Fotografía 5.8.- "Preparación de las muestras".

Fuente: propia.



Fotografía 5.9.- “Secado del material”.

Fuente: propia.

### **5.3.- Obtención de la granulometría por lavado.**

Las causas más frecuentes de error al llevar a cabo la granulometría por lavado fueron las siguientes:

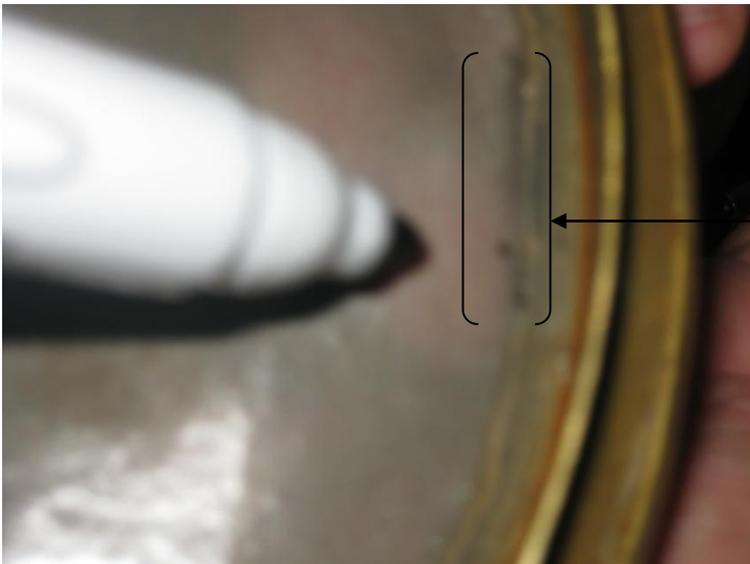
1. El origen de pérdidas de partículas de material por una mala manipulación de la muestra durante el pesado de este.
2. La mala calibración de la báscula, originando información falsa que repercutirá en el resultado final.
3. La mala colocación de los tamices, posicionados de forma desordenada, proporcionando de esta manera una cantidad errónea de peso en cada uno de ellos.
4. El utilizar tamices en mal estado, como son las rupturas en la malla.



Partículas de material.

Fotografía 5.10.- “Mala manipulación en el pesado”.

Fuente: propia.



Malla rota.

Fotografía 5.11.- “Tamiz en mal estado”.

Fuente: propia.

#### 5.4.- Densidades.

En la ejecución de esta prueba se pueden cometer los siguientes errores, los cuales se deben prevenir para un resultado favorable:

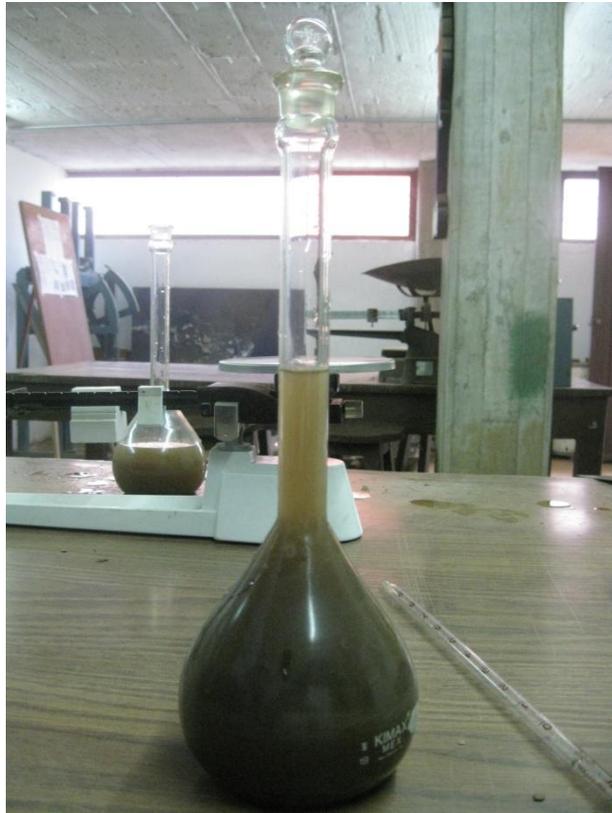
1. Remoción incompleta de las burbujas de aire contenidas en el agua de cada uno de los matraces colocados en “baño maría”.



Fotografía 5.12.- “Remoción incompleta de las burbujas de aire”.

Fuente: propia.

2. Falta de cuidado en llenar hasta la línea de aforo de cada matraz.



Fotografía 5.13.- “Llenado del matraz hasta la línea de aforo”.

Fuente: propia.

3. Pérdida del material durante la prueba, ya sea el que se retiene en el embudo o en el matraz mismo.



Fotografía 5.14.- “Material retenido en las paredes del matraz”.

Fuente: propia.

### 5.5.- Límites de consistencia.

Las causas que se dan más frecuentemente, las cuales nos conducen a cometer errores son:

- Para límite líquido.
  1. Debido a que se trabajó con un material de un alto contenido de arenas, que la ranura se cerró debido al deslizamiento del suelo sobre la copa y no debido al flujo incitado por los golpes.
  2. No revisar la copa de Casagrande, en tanto a la altura de la caída de la copa, y su calibración.
  3. Que los golpes efectuados por la copa no se efectuó bajo una velocidad constante y aproximada de 2 Rev/seg.
  4. Que la copa y el ranurador se encuentren en mal estado y sucios.



Fotografía 5.15.- “Mantener el equipo limpio”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.16.- “Mezcla homogénea de la humedad del material”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.17.- “Colocación del material”.

Fuente: propia.

- Para límite plástico.
  1. No precisar el proceso del pesado del material, dejando irregularidades en el pesado.
  2. Agregar material seco para reducir el contenido de agua de la muestra, ya que lo correcto es manipularla con los dedos para que esta pierda humedad.
  3. Que el “rollito” se rompa antes de alcanzar su diámetro de 3mm.



Fotografía 5.18.- “Elavoracion de los *rollitos*”.

Fuente: propia.

- Para el límite de contracción.
  1. Engrasar de forma errónea el recipiente, provocando la ruptura de este ya en el secado.
  2. Medir de manera incorrecta la longitud final de la barra, dando así un dato erróneo para el cálculo de su contracción.



Fotografía 5.19.- “Engrasado de la cápsula”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.20.- “Ruptura de la muestra”.

Fuente: propia.

### **5.6.- Consolidación unidimensional.**

Los errores más frecuentes que se cometen al ejecutar esta prueba son:

1. Que la probeta presente algunas alteraciones físicas, las cuales produzcan alguna alteración al colocarle el terreno.
2. El anillo de consolidación no sea perfectamente llenado con la muestra.
3. Que el material pierda humedad durante la preparación de la probeta.
4. Tomar lecturas erróneas del micrómetro, o de los tiempos.
5. Utilizar piedras porosas de muy poca permeabilidad y la ausencia de papel fieltro.



Fotografía 5.21.- “Probeta y piedras porosas”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.22.- “Colocación de la muestra en el anillo de consolidación”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.23.- “Evasión de la perdida de humedad de la muestra”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.24.- “Imprecisión de la lectura del micrómetro”.

Fuente: propia.

### 5.7.- Prueba de compresión “simple”.

Los errores ocurridos con más frecuencia en este tipo de ensayos son los siguientes:

1. A partir de un dimensionamiento erróneo, llegar a una inadecuada relación de esbeltez de la probeta.



Fotografía 5.25.- “Dimensionamiento de la probeta”.

Fuente: propia.

2. Cometer error en el pesado de la probeta.



Fotografía 5.26.- “Pesado de la probeta”.

Fuente: propia.

### **5.8.- Prueba de compresión triaxial “rápida”.**

De acuerdo a lo observado, los errores más frecuentes en las pruebas triaxiales son los que a continuación se enlistan:

- 1.- Falta de exactitud en las mediciones de las probetas.
- 2.- Mal pesado de las muestras.

3.- Variación de la velocidad de la carga.

4.- Inadecuada colocación de la membrana de látex.



Fotografía 5.27.- “Dimensionamiento de las probetas”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.28.- “Velocidad de carga”.

Fuente: propia.



Fotografía 5.29.- “Colocación de la membrana de látex”.

Fuente: propia.

Por lo tanto, se puede ver que la causa principal que arroja a cometer errores en la ejecución de pruebas de laboratorio, es generalmente el mal uso del material, herramienta y equipo que se emplean en la realización de dichas pruebas. De tal forma que se debe tener uso de plena conciencia mientras se estén llevando a cabo, ya que la variación de sus resultados puede arrojarnos datos que nos lleven a la realización de obras de un costo mayor o de lo contrario una obra careciente de seguridad.

## CONCLUSIONES.

De este modo, después de todo el trabajo que se presentó a través de los capítulos antepuestos, se da respuesta a todos y cada uno de los objetivos particulares así como al general.

Por mecánica de suelos, se entendió como la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan problemas relacionados a la consolidación de partículas subatómicas y de los sedimentos.

Así pues, se señalaron tanto el origen y características generales del suelo, y se entendió por éste, al conjunto de partículas causadas por la descomposición de las rocas y vacíos, los cuales en ocasiones pueden o no estar ocupados por agua.

Por otra parte, se comentaron los distintos métodos y pruebas que se realizan en un estudio de mecánica de suelos, desde el equipo y material que se requiere para su elaboración, hasta su propio procedimiento, tales como:

- Granulometría.
- Densidad.
- Límites de consistencia o de Atterberg.
- Compactación.
- Determinación de la permeabilidad.

- Consolidación unidimensional.
- Prueba de compresión triaxial rápida.

En un principio se planteó un objetivo, el cual fue: “Señalar las causas principales que llevan a cometer errores dentro de la elaboración de un Estudio de Mecánica de Suelos”.

Luego de revisar de manera práctica y analítica, el estudio de mecánica de suelos efectuado, se respondió a la pregunta de investigación, la cual fue: “¿Cuáles son los principales factores que llevan a cometer errores en las pruebas de laboratorio de un Estudio de Mecánica de Suelos?”, estableciendo que los principales errores se dan debido al descuido en el manejo del equipo y de las herramientas a usar, debido a que es una actividad que requiere una mayoritaria participación humana, por lo tanto, se debe hacer bajo una fuerte responsabilidad, ya que de éste depende que llegue a ser segura y económica la construcción que se pretenda realizar.

## BIBLIOGRAFÍA.

Arias Rivera, G. Carlos. (1993).

Cuaderno de Trabajo de Comportamiento de Suelos.

Ed. U.N.A.M. México.

Hernández Sampieri, Roberto (2004).

Metodología de la investigación.

Ed. Mc. Graw Hill, México.

Juárez Badillo, Eulalio. (2006).

Mecánica de Suelos, Tomo I.

Ed. Limusa, México.

Jurado Rojas, Yolanda. (2005)

Técnicas de Investigación documental

Ed. Thompson, México

Karl Terzaghi. (1943).

Theoretical Soil Mechanics

Ed. Wiley

T. William Lambe y Robert V. Whitman. (2001).

Mecánica de Suelos

Ed. Limusa, México.

## **OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.**

Apuntes de Mecánica de Suelos. (2010)

[www.arqhys.com/arquitectura/mecanica-suelos.html](http://www.arqhys.com/arquitectura/mecanica-suelos.html)

[www.peruecologico.com.pe/lib\\_c18\\_t03.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm)

Plasticidad. (2010)

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica4.htm>

Atterberg. (2010)

<http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf>

Compactación. (2010)

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/generalM6.htm>

# ANEXOS

## ANEXO I-A

	<b>U.D.V.</b> UNIVERSIDAD DON VASCO A.C. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL. LABORATORIO DE MATERIALES SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS.		
<b>DENSIDAD DE SÓLIDOS O PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS</b>			
ANEXO I-A			
TIPO DE OBRA:	TESS	FECHA:	28/10/10
LOCALIZACIÓN:	SAN LORENZO. MPO. DE URUAPAN MICH.	HUMEDAD NATURAL:	
NUMERO EN SAYE:	ESTRATO 2 SONDEO No.	OPERADOR:	
PROFUNDIDAD:		CALCULO:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:			
*			
NUMERO DE PRUEBA	1	2	
Número de Matraz.	4	1	DENSIDAD DE SÓLIDOS <b>Es</b>
Peso Matraz + Agua + Suelo (Gr)	706.30	701.50	
Temperatura marca de Aforo (°C)	22.5	23	
Peso Matraz + Agua Calibración (Gr)	672.21	669.29	
Cápsula de Evaporación Número.			
Peso Cápsula + suelo seco (Gr)			
Peso Cápsula (Gr)			
Peso del Suelo seco (Gr)	50.00	50.00	
Densidad de Sólidos	3.14	2.81	
<b>W<sub>tsw</sub></b>	Peso del Matraz + Agua + Suelo a Temperatura de prueba.		
<b>W<sub>w</sub></b>	Peso del Matraz + Agua a Temperatura de prueba de la curva de calibración del matraz.		
<b>W<sub>s</sub></b>	Peso del Suelo Seco, después de realizada la prueba.		
<b>Es</b>	Peso Específico Relativo de los Sólidos ó Densidad de Sólidos.		
$Es = \frac{W_s}{W_s + W_w - W_{tsw}}$	FORMULA GENERAL		
OBSERVACIONES:			

ANEXO I-B

	<b>U.D.V.</b> UNIVERSIDAD DON VASCO A.C. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.		
<b>DENSIDAD DE SÓLIDOS O PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS</b>			
<b>ANEXO I-B</b>			
TIPO DE OBRA:	TESS	FECHA:	23/10/10
LOCALIZACIÓN:	SAN LORENZO, MPO. DE URUAPAN MICH.	HUMEDAD NATURAL:	
NÚMERO EN SAYE:	ESTRATO 3    SONDEO No.	OPERADOR:	
PROFUNDIDAD:		CALCULO:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:			
NÚMERO DE PRUEBA	1	2	
Número de Matraz.	5	5	DENSIDAD DE SÓLIDOS $E_s$
Peso Matraz + Agua + Suelo (Gr)	699,50	696,00	
Temperatura marca de Aforo (°C)	22,2	22,2	
Peso Matraz + Agua Calibración (Gr)	664,48	664,48	
Cápsula de Evaporación Número.			
Peso Cápsula + suelo seco (Gr)			
Peso Cápsula (Gr)			
Peso del Suelo seco (Gr)	50,00	50,00	
Densidad de Sólidos	3,34	2,71	
<p><math>W_{fs}</math>    Peso del Matraz + Agua + Suelo a Temperatura de prueba.</p> <p><math>W_{fw}</math>    Peso del Matraz + Agua a Temperatura de prueba de la curva de calibración del matraz.</p> <p><math>W_s</math>    Peso del Suelo Seco, después de realizada la prueba.</p> <p><math>E_s</math>    Peso Específico Relativo de los Sólidos ó Densidad de Sólidos.</p> <p style="text-align: center;"> <math display="block">E_s = \frac{W_s}{W_s + W_{fw} - W_{fs}} \quad \text{FORMULA GENERAL}</math> </p>			
OBSERVACIONES:			

ANEXO I-C

	<b>U.D.V.</b> UNIVERSIDAD DON VASCO A.C. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.		
<b>DENSIDAD DE SÓLIDOS O PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS</b>			
<b>ANEXO I-C</b>			
TIPO DE OBRA:	TESS	FECHA:	28/10/10
LOCALIZACIÓN:	SAN LORENZO MICH. MUNICIPIO DE UELJAPAN	HUMEDAD NATURAL:	
NÚMERO EN SAYE:	ESTRATO 4 SONDEO No.	OPERADOR:	
PROFUNDIDAD:		CALCULO:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:			
NÚMERO DE PRUEBA	1	2	
Número de Matraz.	5	4	
Peso Matraz + Agua + Suelo (Gr)	669,90	706,90	
Temperatura marca de Aforo (°C)	22,5	23	DENSIDAD DE SÓLIDOS $S_s$
Peso Matraz + Agua Calibración (Gr)	664,47	672,21	
Cápsula de Evaporación Número.			
Peso Cápsula + suelo seco (Gr)			
Peso Cápsula (Gr)			
Peso del Suelo seco (Gr)	50,00	50,00	
Densidad de Sólidos	1,12	3,27	
$W_{fsw}$	Peso del Matraz + Agua + Suelo a Temperatura de prueba.		
$W_{fw}$	Peso del Matraz + Agua a Temperatura de prueba de la curva de calibración del matraz.		
$W_s$	Peso del Suelo Seco, después de realizada la prueba.		
$S_s$	Peso Específico Relativo de los Sólidos ó Densidad de Sólidos.		
$S_s = \frac{W_s}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}}$	FORMULA GENERAL		
OBSERVACIONES:			

ANEXO 2-A



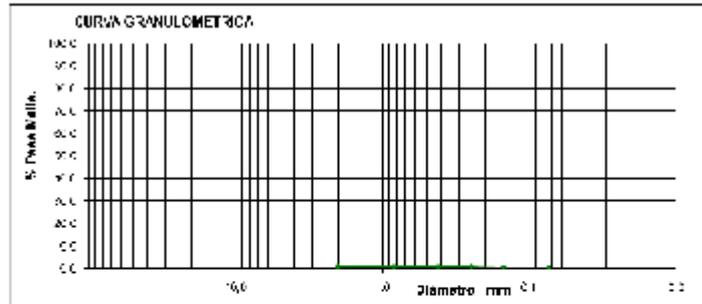
**U.D.V.** UNIVERSIDAD DON VASCO A.O.  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MATERIALES SECCION MECANICA DE SUELOS  
 ANEXO 2-A



**GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO**

OBRA: TESIS	DESPERDIO O FRET 2'	FECHA: 25/10/2010
LOCALIZACION: SAN LORENZO MICH, MPIO URUJARAN	PESO HUMEDO (g/m)	
ENSAYE No. 1	SOLIDO No.	98/ NAT.
MUESTRA No. ESTRATO 2 PROF.	PESO NETO DE NAT. (g)	OPERADOR:
DESCRIPCION MATER: CARBON OSCURO	VOLUMEN MOLDE (m <sup>3</sup> )	CALCULO:
TIPO DE GRANULOMETRIA: POR LAVADO	PESO VOLUMETRICO (Ton/m <sup>3</sup> )	No. Br.:

GRANULOMETRIA BRUESA HASTA MALLA No. 4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	plu/gaca	Parcial (g/m)	Parcial	Parcial	Malla mm.	No.	Parcial (g/m)	Parcial	Parcial
76.2	3"				2	10	0.4	0.30%	99.70%
50.8	2"				0.84	20	2.1	1.49%	98.21%
38.1	1 1/2"				0.42	40	8.2	5.82%	92.39%
25.4	1"				0.25	60	14.4	10.19%	82.19%
12.7	1/2"				0.146	100	17.8	12.82%	69.87%
6.35	3/8"				0.074	200	9.0	6.50%	56.18%
4.75	No. 4					Pasa 200	75.1	55.18%	
	Pasa No. 4					SUMA	140.8	100.00%	
	SUMA								



CLASIFICACION GRANULOMETRICA: \_\_\_\_\_

ANEXO 2-B



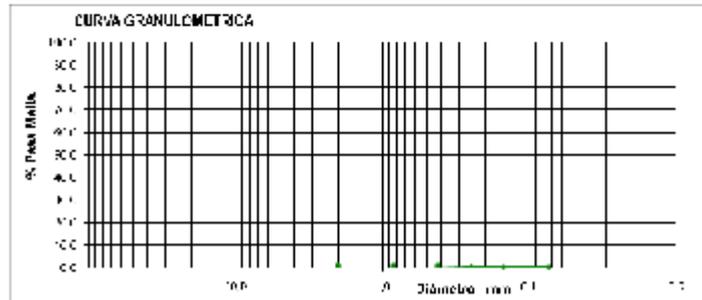
**U.D.V.** UNIVERSIDAD DON VASCO A.O.  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MATERIALES SECCION MECANICA DE SUELOS  
 ABRIL 2010



**GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑO S DEL SUELO**

OBRA: TESIS	DESPERDIO 96RET 2'	FECHA: 25/10/2010
LOCALIZACION: SAN LORENZO MICH, MPIO URUJAPAN	PESO HUMEDO (g/m)	
ENSAYO No. 1	SONIDO No.	99W NAT.
MUESTRA No. ESTRATO 3 PROF.	PESO NETO DE NAT. 1g'	OPERADOR:
DESCRIPCION MATER.	VOLUMEN MOLDE 1m <sup>3</sup>	CALCULO:
TPO DE GRANULOMETRIA: POR LAVADO	PESO VOLUMETRICO Ton/m <sup>3</sup>	M. S.:

GRANULOMETRIA GRUESA HASTA MALLA No. 4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	pulgadas	Parcial (kg)	Parcial	Parcial	Malla mm.	No.	Parcial (gms)	Parcial	Parcial
75.2	3"				2	10	0.2	0.18%	99.82%
50.8	2"				0.54	20	2.2	1.43%	98.57%
25.4	1"				0.42	40	10.4	6.49%	93.51%
9.55	3/4"				0.25	60	17.9	11.21%	88.79%
4.75	1/2"				0.149	100	26.9	16.94%	83.06%
2.0	3/8"				0.074	200	40.2	26.00%	74.00%
0.85	No. 4					Pasa 200	98.2	63.07%	36.93%
	Pasa No. 4					SUMA	159.7	100.00%	
	SUMA								



ANEXO 2-C



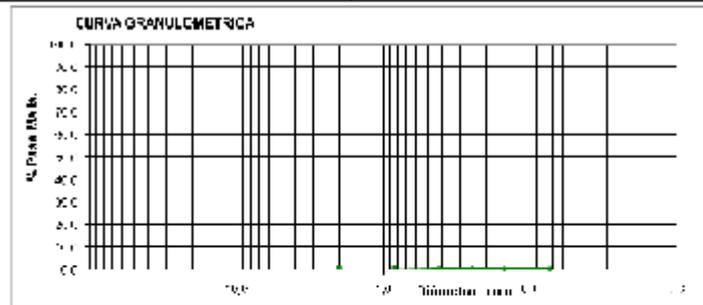
**U.D.V.** UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MATERIALES SECCION MECANICA DE SUELOS  
 ANEXO 2-C



**GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑO S DEL SUELO**

OBRA: TESIS	DESPERDIO 56RET 2'	FECHA: 25/10/2010
LOCALIZACION: SAN LORENZO MICH, MPIO URUAPAN	PESO HUMEDO (g/m)	
ENSAYE No. SONDOS No.	PESO SECO (g/m)	SW NAT.
MUESTRA No. ESTRATO 4 PROP.	PESO NETO DE NAT. '1g'	OPERADOR:
DESCRIPCION MATER.	VOLUMEN MOLDE '1m3'	CALCULO:
TIPO DE GRANULOMETRIA: POR LAVADO	PESO VOLUMETRICO 'Ton/m3'	Mo. B.:

GRANULOMETRIA BRU SSA HASTA MALLA No. 4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	pulgadas	Parcial (g/m)	Parcial	Parcial	Malla mm.	No.	Parcial (g/m)	Parcial	Parcial
75.2	3"				2	10	0.1	0.10%	99.90%
60.8	2"				0.84	20	0.7	0.55%	99.45%
38.1	1.125"				0.42	40	2.7	2.15%	97.85%
25.4	1"				0.25	60	4.5	3.50%	96.50%
19.05	3/4"				0.146	100	7.5	5.21%	94.79%
12.7	1/2"				0.074	200	15.7	10.87%	89.13%
9.52	3/8"								
4.75	No. 4					Pasa 200	25.3	18.35%	
	Pasa No. 4					SUMA	128.2	100.00%	
	SUMA								



CLASIFICACION GRANULOMETRICA:

ANEXO 3-A



**U.D.V.** UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MATERIALES SECCION MECANICA DE SUELOS  
 ANEXO 3-A



**LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG**

TPO DE OBRA:	TESS	FECHA:	
LOCALIZACION:	BV LORRIZO	MUESTRA No.:	UND
BUSQUEY PROF.:	2	SONDEO NO.:	
DESCRIPCION MATERIAL:		OPERADOR:	
		CALCULO:	

**LIMITE LIQUIDO**

Prueba No.	No. de Golpes	Capula No.	Peso Capula + Suelo Humedo (g)	Peso Capula + Suelo Seco (g)	Peso de Agua (g)	Peso Capula (g)	Peso Suelo Seco (g)	Contenido de Agua W (%)
1	14	32	27.40	21.85	5.55	7.75	14.12	39.21%
2	21	20	20.15	16.72	3.43	7.62	8.88	35.98%
3	34	3	22.57	18.45	4.12	7.75	10.72	38.43%
4	40	21	22.40	18.83	3.57	8.70	9.88	37.91%
5								

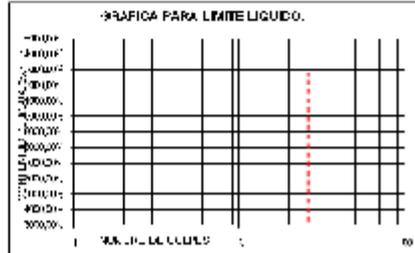
**LIMITE PLASTICO**

Prueba No.	Capula No.	Peso Capula + Suelo Humedo (g)	Peso Capula + Suelo Seco (g)	Peso de Agua (g)	Peso Capula (g)	Peso Suelo Seco (g)	Contenido de Agua W (%)
1	28	7.24	7.59	0.35	6.52	1.07	32.71%
2	15	8.85	8.38	0.47	7.47	0.91	29.81%

**LIMITE DE CONTRACCION**

Capula No.	Tip. de Prueba	Peso Capula + Suelo Humedo (g)	Peso Capula + Suelo Seco (g)	Peso de Agua (g)	Peso Capula (g)	Peso Suelo Seco (g)	Contenido de Agua W (%)
	Lineal						
	Longitudinal (cm)	10	Long. Final (cm)	9.87	Contracción Lineal (%)		3.3%
	Volumétrica						
	Volumétrica (cm <sup>3</sup> )		Volumen Final (cm <sup>3</sup> )		Contracción Volumétrica (%)		
	Peso (Vol. Mercurio (g/cm <sup>3</sup> ))		Peso (Mercurio desahogado (g))				

HUMEDAD NATURAL W (%) = \_\_\_\_\_  
 LIMITE LIQUIDO LL (%) = \_\_\_\_\_  
 LIMITE PLASTICO LP (%) = \_\_\_\_\_  
 INDICE PLASTICO IP (%) = \_\_\_\_\_  
 CONSISTENCIA RELATIVA = \_\_\_\_\_  
 INDICE FLUIDEZ F<sub>v</sub> (%) = \_\_\_\_\_  
 INDICE TENACIDAD T<sub>v</sub> = \_\_\_\_\_  
 CLASIFICACION SUCS = \_\_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_





ANEXO 3-C



U.D.V.

UNIVERSIDAD DON VASCO A.O.  
ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL.  
LABORATORIO DE MATERIALES SECCION MECANICA DE SUELOS.  
ANEXO 3-C



LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

TIPO DE OBRA:	TESS	FECHA:	
LOCALIZACION:	SI LORIBIZO	MUESTRA No.:	UNO
BISAYE Y PROF.:	4	SONDEO NO.:	
DESCRIPCION MATERIAL:		OPERADOR:	
		CALCULO:	

LIMITE LIQUIDO

Proble No.	No de Capas	Capula No.	Peso Capula + Suelo Humedo (g)	Peso Capula + Suelo Seco (g)	Peso del Agua (g)	Peso Capula (g)	Peso Suelo Seco (g)	Contenido de Agua W (%)
1	21	90	2475	2385	90	1390	690	56,12%
2	22	100	2520	2405	115	1430	875	61,18%
3	30	110	2770	2530	240	1470	900	61,18%
4								
5								

LIMITE PLASTICO

Proble No.	Capula No.	Peso Capula + Suelo Humedo (g)	Peso Capula + Suelo Seco (g)	Peso del Agua (g)	Peso Capula (g)	Peso Suelo Seco (g)	Contenido de Agua W (%)
1	7	2245	2275	0,71	21,30	1,26	58,80%
2	5	2290	2245	0,45	21,32	1,07	49,68%

LIMITE DE CONTRACCION

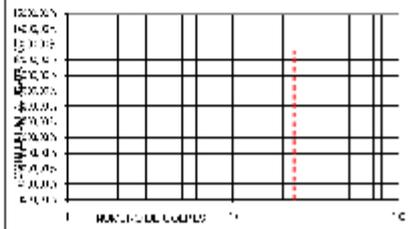
Capula No.	Tip de Prueba	Peso Capula + Suelo Humedo (g)	Peso Capula + Suelo Seco (g)	Peso del Agua (g)	Peso Capula (g)	Peso Suelo Seco (g)	Contenido de Agua W (%)
	Lineal						
	Longitudinal (cm)	10	Long. Final (cm)	9,87	Contracción Lineal (%)		3,3%
	Volumétrica						
	Vol. Inicial (cm <sup>3</sup> )		Vol. Final (cm <sup>3</sup> )		Contracción Volumétrica (%)		
	Peso Vol. Mercurio (g/cm <sup>3</sup> )		Peso Mercurio desahogado (g)				

HUMEDAD NATURAL W (%) = \_\_\_\_\_  
 LIMITE LIQUIDO LL (%) = \_\_\_\_\_  
 LIMITE PLASTICO LP (%) = \_\_\_\_\_  
 INDICE PLASTICO P (%) = \_\_\_\_\_  
 CONSISTENCIA RELATIVA = \_\_\_\_\_  
 INDICE FLUIDEZ Fv (%) = \_\_\_\_\_  
 INDICE TENACIDAD Tv = \_\_\_\_\_

CLASIFICACION SUES = \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

GRAFICA PARA LIMITE LIQUIDO.



# ANEXO 4-A

MIGUEL BONAPARTE QUEZADA    URLIAPAN MICH.    ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
UNIVERSIDAD DON VASCO

## COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA.

Confinamiento  $\sigma_3$  (kg/cm<sup>2</sup>)    **0,50**

TIPO DE OBRA: TESIS	FECHA: 11/11/2010
LOCALIZACIÓN: SAN LORENZO, MPO. DE URLIAPAN MICH.	PROFUND.: 2,8
ENSAYE No.: 1    SONDEO No.: UNO    MUESTRA No.: UNO	OPERADOR: MIGUEL
PROVENIENCIA DE LA MUESTRA: MATERIAL FINO LIMO ARENOSO	CALCULO: MIGUEL

### MEDIDAS DE LA MUESTRA

Diam Sup. (cm)	3,80	Área Sup. (cm <sup>2</sup> )	10,179	Peso W (gr)	26,00	Peso Hum. (gr)	-
Diam Cent. (cm)	3,50	Área Cent. (cm <sup>2</sup> )	9,621	Volumen (cm <sup>3</sup> )	87,02	Peso Seco (gr)	-
Diam Infer. (cm)	3,45	Área Infer. (cm <sup>2</sup> )	9,345	Gm (ton/m <sup>3</sup> )	1,126	Hum. Prueba	Natural
Al. Meda. (cm)	9,00	Área Media (cm <sup>2</sup> )	9,67	Constante del Micrómetro (mm)	0,0100	Velocidad Aplicación carga	1,0 mm/min
			$A_s + 4A_c + A_i =$	9,67			

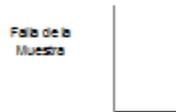
Lectura Mic. de Carga (kg)	Carga Acumulada (kg)	Lectura Mic. Dy (mm)	Deformación Total (mm)	Deformación Unitaria %	1 - Deformación Unitaria (mm)	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
10,00	2,14	20,00	0,2000	0,2222	0,9978	9,69	0,2209
12,00	2,57	40,00	0,4000	0,4444	0,9956	9,71	0,2645
13,00	2,78	60,00	0,6000	0,6667	0,9933	9,73	0,2859
14,00	3,00	80,00	0,8000	0,8889	0,9911	9,76	0,3072
14,00	3,00	100,00	1,0000	1,1111	0,9889	9,78	0,3065

Falla de la Muestra

Cohesión Mat.  $c = S/2$  (kg/c)    0,1536

Área corregida = Área media / 1 - Def. Unitaria

ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA



Falla de la Muestra

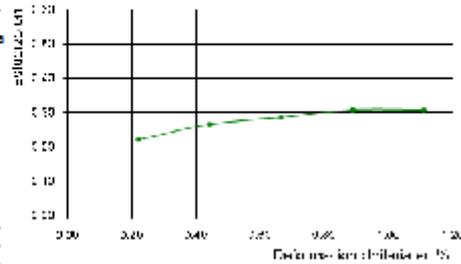
OBSERVACIONES:

---



---

### CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



ANEXO 4-A

ANEXO 4-B

COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA. Confinamiento  $\sigma_3$  (kg/cm<sup>2</sup>) = 1,00

TIPO DE OBRA: TESIS  
LOCALIZACIÓN: SAN LORRENZO, MPO. DE URUAPAN MICH.  
ENSAYS No. 2 SONIDO No. UNO MUESTRA No. OCS OPERADOR: MIGUEL  
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: MATERIAL FINO LIMO ARENOSO CALCULO: MIGUEL

MEDIDAS DE LA MUESTRA

Diam Sup. (cm)	3.50	Área Sup. (cm <sup>2</sup> )	3.821	Peso Wt (gr)	24.00	Peso Hum. (gr)	-
Diam Cent. (cm)	3.45	Área Cent. (cm <sup>2</sup> )	3.745	Volúmen (cm <sup>3</sup> )	25.18	Peso Seco (gr)	-
Diam Infer. (cm)	3.37	Área Infer. (cm <sup>2</sup> )	3.610	Gm. (cm <sup>3</sup> )	1.104	Hum. Prueba	Natural
Al. Med. (cm)	9.95	Área Media (cm <sup>2</sup> )	3.730	Constante de Micrómetro (mm)	0.010	Velocidad Aplicación carga	1.0 mm/min

Lectura No. de Carga (kg)	Carga Formulada (kg)	Lectura MicDy (mm)	Deformación Total (mm)	Deformación Unitaria %	1 - Deformación Unitaria (mm)	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
10.00	2.14	20.00	0.2000	0.2232	0.9978	9.53	0.2247
12.00	2.57	40.00	0.4000	0.4464	0.9955	9.55	0.2691
14.00	3.00	60.00	0.6000	0.6696	0.9933	9.57	0.3132
16.00	3.43	80.00	0.8000	0.8929	0.9911	9.59	0.3572
17.00	3.64	100.00	1.0000	1.1161	0.9888	9.61	0.3786
18.00	3.85	120.00	1.2000	1.3393	0.9866	9.63	0.4000
18.00	3.85	140.00	1.4000	1.5625	0.9844	9.65	0.3991
18.00	3.85	160.00	1.6000	1.7857	0.9821	9.68	0.3982
19.00	4.07	180.00	1.8000	2.0089	0.9799	9.70	0.4194
19.00	4.07	200.00	2.0000	2.2321	0.9777	9.72	0.4184
20.00	4.28	220.00	2.2000	2.4554	0.9754	9.74	0.4394
20.00	4.28	240.00	2.4000	2.6786	0.9732	9.77	0.4384
20.00	4.28	260.00	2.6000	2.9018	0.9710	9.79	0.4374
21.00	4.50	280.00	2.8000	3.1250	0.9688	9.81	0.4582
21.00	4.50	300.00	3.0000	3.3482	0.9665	9.83	0.4572

Falla de la Muestra

Cohesión Mat.  $c = S/2$  (kg) 0.2187

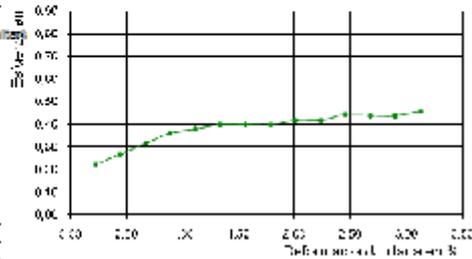
Área corregida = Área media / 1-Def. Unitaria

ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA



OBSERVACIONES:

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



# ANEXO 4-C

## COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA

Confinamiento  $\sigma_3$  (kg/cm<sup>2</sup>) **1,50**

TIPO DE OBRERA: TESIS  
FECHA: 11/11/2010  
LOCALIZACIÓN: SAN LORRENZO, MPO. DE URUAPAN MICH. PROFUNDO: 2,8  
ENSAYE No.: 3 SONDRO No.: UNO MUESTRA No.: TRES OPERADOR: MIGUEL  
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: MATERIAL FINO LIMO ARENOSO CALCULO: MIGUEL

### MEDIDAS DE LA MUESTRA

Diam Sup. (cm) 3,50 Área Sup. (cm<sup>2</sup>) 9,621 Peso Wt (gr) 25,00 Peso Hum. (gr) -  
Diam Cent. (cm) 3,60 Área Cent. (cm<sup>2</sup>) 10,179 Volúmen (cm<sup>3</sup>) 22,94 Peso Seco (gr) -  
Diam Infer. (cm) 3,50 Área Infer. (cm<sup>2</sup>) 9,621  $\rho_m$  (ton/m<sup>3</sup>) 1,056 Hum. Prueba Natural -  
Al. Med. (cm) 9,00  $A_v = 4A_c + A_l =$  9,99 Constante del Micrómetro = 0,0100  
Área Media (cm<sup>2</sup>) 8 Velocidad Aplicación carga = 1,0 mm/min

Lectura Mic. de Carga (kg)	Carga Acumulada (kg)	Lectura Mic. $\sigma_3$ (mm)	Deformación Total (mm)	Deformación Unitaria %	1 - Deformación Unitaria (mm)	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
3,00	0,64	20,00	0,2000	0,2222	0,9978	10,02	0,0641
4,00	0,86	40,00	0,4000	0,4444	0,9956	10,04	0,0853
8,00	1,71	60,00	0,6000	0,6667	0,9933	10,06	0,1702
10,00	2,14	80,00	0,8000	0,8889	0,9911	10,08	0,2123
14,00	3,00	100,00	1,0000	1,1111	0,9889	10,11	0,2966
16,00	3,43	120,00	1,2000	1,3333	0,9867	10,13	0,3382
17,00	3,64	140,00	1,4000	1,5556	0,9844	10,15	0,3585
18,00	3,85	160,00	1,6000	1,7778	0,9822	10,17	0,3787
26,00	5,57	180,00	1,8000	2,0000	0,9800	10,20	0,5458
28,00	5,99	200,00	2,0000	2,2222	0,9778	10,22	0,5865
29,00	6,21	220,00	2,2000	2,4444	0,9756	10,24	0,6061
32,00	6,85	240,00	2,4000	2,6667	0,9733	10,27	0,6672
34,00	7,28	260,00	2,6000	2,8889	0,9711	10,29	0,7073
36,00	7,71	280,00	2,8000	3,1111	0,9689	10,31	0,7472
39,00	8,35	300,00	3,0000	3,3333	0,9667	10,34	0,8076

Falla de la Muestra

### CURVA PRESIÓN - DEFORMACIÓN

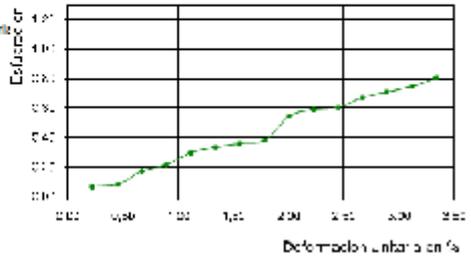
Cohesión Mat.  $c = S/2$  (kg/c) 0,3736

Área corregida = Área media / 1 - Def. Unitaria %

ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA

Falla de la Muestra

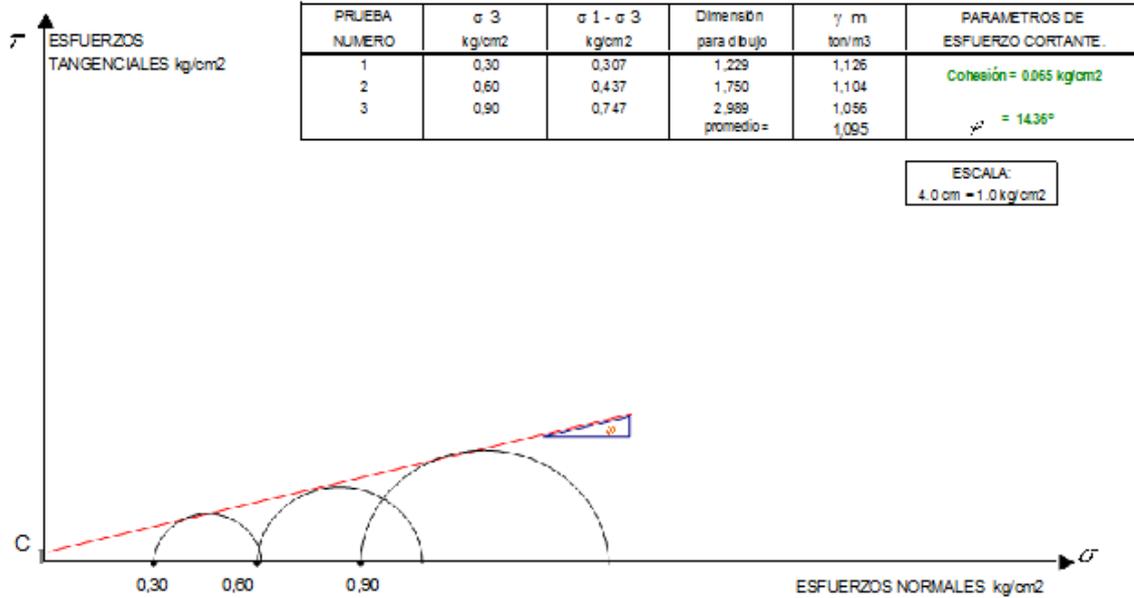
OBSERVACIONES:



# ANEXO 4-D

## CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL RÁPIDA

TIPO DE OBRA	TESIS	FECHA:	11/11/2010
LOCALIZACION	SAN LORENZO. MPO. DE URUAPAN MCH.	PROFUND:	-
ENSAYE No.	1	SONDEO No.	UNO
		MUESTRA No.	1-2-3
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MATERIAL ESTRATO TRES	OPERADOR:	MIGUEL
		CALCULO:	MIGUEL



ANEXO 4-D

## ANEXO 4-E

Capacidad de carga según Terzaghi.			
Datos requeridos		factores:	
C (ton/m <sup>2</sup> ) =	0,650	Nc =	10,58
Df (m) =	1,30	Nq =	3,71
B (m) =	1,00	Nγ =	0,99
γ (ton/m <sup>3</sup> ) =	1,095	Cálculo basado en resultados de Prueba Triaxial	
φ Grados =	14,36		
φ Radian =	0,251		
Capacidad de carga obtenida:			
qu =	12,70	Ton/m <sup>2</sup>	
qadm = qu/3 =	4,23	Ton/m <sup>2</sup>	Admisible
Cimentaciones cuadradas o zapatas aisladas			
qu =	14,66	Ton/m <sup>2</sup>	
qadm = qu/3 =	4,88	Ton/m <sup>2</sup>	Admisible

ANEXO 4-E