



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“MANUAL BÁSICO DIRIGIDO A ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA CIVIL PARA LA ELABORACIÓN DE
PRUEBAS ÍNDICE EN MECÁNICA DE SUELOS
APLICABLES EN LA ZONA III DE LA CIUDAD DE
MÉXICO”**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

GARCIA ORTIZ PAMELA

ASESOR:

M. EN I. MARIO SOSA RODRÍGUEZ

CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE
MÉXICO, 2020





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.

A mis padres, gracias por creer en mí, sin ustedes no sería una universitaria de la UNAM; a mi hermano por tenerme la paciencia en los momentos críticos durante mi carrera y a Daniel, por apoyarme con el ejemplo, que siempre se puede llegar a más gracias por estar motivarme cada día.

A mis profesores, por supuesto, al Ing. Alfonso y al Ing. Oniel por ser mis guías durante toda la carrera, apoyarme y alentarme a ser mejor. Les agradezco porque no tenían que hacerlo, y aún así, estuvieron ahí.

Al Maestro José Antonio, por enseñarme que para ser ingeniero, hay que ser valiente.

Al maestro Martín, por ser un excelente profesor y mostrarme que una clase puede ser más que eso: siempre se puede dar más.

Al Ing. Gabriel, por enseñarme ésta maravillosa área de la ingeniería civil. Gracias por todo el tiempo dedicado.

Por último, a mi asesor de tesis: Maestro Mario, gracias por creer en mí, por el apoyo y todos los consejos dados durante toda mi formación académica.

Dedicado a todos aquellos que deseen aprender más allá de las palabras, a todos los compañeros que quieran darle un significado real a lo que están aprendiendo y quieran ser unos excelentes ingenieros.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	i
EL SUELO: LA BASE DE TODO PROYECTO CIVIL	i
EL SUELO: OBJETO DE ESTUDIO	ii
MECÁNICA DE SUELOS.....	v
ASPECTOS A CONSIDERAR	vi
OBJETIVO GENERAL	vii
Capítulo I: SONDEO MIXTO CON TUBO SHELBY 1	
1.1 ANTECEDENTES	2
1.1.1. EXPLORACIÓN DE SUELOS	2
1.1.2. SONDEO MIXTO [SM].....	3
1.1.3. SUELOS BLANDOS	4
1.1.4. ¿QUÉ ES UN TUBO HUECO O SHELBY?.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.3 EQUIPO Y MATERIALES	6
1.4 PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN, EXTRACCIÓN Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.....	8
1.5 CORRELACIONES.....	12
1.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	13
1.7 PERFIL ESTRATIGRÁFICO	14
1.8 CONCLUSIONES	14
Capítulo II: CONTENIDO DE AGUA 18	
2.1 ANTECEDENTES.....	19
2.1.1. DEFORMACIÓN: PRINCIPAL PROBLEMA EN SUELOS COHESIVO-ARCILLOSOS	20
2.2 OBJETIVOS.....	22
2.3 EQUIPO Y MATERIAL	23

2.4	PROCEDIMIENTO.....	24
2.5	CÁLCULOS	27
2.6	CORRELACIONES.....	28
2.6.1.	EJEMPLO DE CORRELACIONES.....	35
2.7	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	37
2.8	PERFIL ESTRATIGRÁFICO.....	37
2.9	CONCLUSIONES	38

Capítulo III: LÍMITES DE CONSISTENCIA 42

3.1	ANTECEDENTES.....	43
3.1.1.	LÍMITE LIQUIDO	44
3.1.2.	ÍNDICE DE FLUIDEZ	44
3.1.3.	LÍMITE PLÁSTICO	44
3.1.4.	ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	44
3.1.5.	ÍNDICE DE LÍQUIDEZ	44
3.1.6.	CONTRACCIÓN LINEAL	45
3.1.7.	LÍMITE DE CONTRACCIÓN	45
3.1.8.	ÍNDICE DE TENACIDAD	45
3.2	OBJETIVOS	45
3.3	EQUIPO Y MATERIALES.....	46
3.4	PROCEDIMIENTO	47
3.4.1.	PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL LÍMITE LÍQUIDO.....	48
3.4.2.	OBTENCIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO	54
3.4.3.	PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL LÍMITE DE CONTRACCIÓN LINEAL	57
3.5	CÁLCULOS	59
3.6	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	60
3.7	PERFIL ESTRATIGRÁFICO.....	62
3.8	CONCLUSIONES.....	63

DENSIDAD DE SÓLIDOS	68
4.1. OBJETIVO	68
4.2. ANTECEDENTES.....	68
4.3. PROCEDIMIENTOS Y ALTERNATIVAS PARA OBTENER LA DENSIDAD DE SÓLIDOS.....	69
4.3.1. DENSIDAD DE SÓLIDOS MEDIANTE FÓRMULA Y TABLAS	69
4.3.2. NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA OBTENER DE LA DENSIDAD DE SÓLIDOS	71
4.3.3. DENSIDAD DE SÓLIDOS SEGÚN LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA.....	73
4.4. CONCLUSIONES	76
CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS.....	79

INTRODUCCIÓN

En ingeniería civil, varios autores coinciden en que se le llama *suelo* a aquel material que se encuentra en la capa superficial de la corteza terrestre y está compuesto por diferentes tamaños de partículas, provenientes de roca disgregada o materia que alguna vez perteneció a un ser vivo.

El suelo en geología y en mecánica de suelos se cataloga de acuerdo al *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos [SUCS]*, que considera el tamaño de las partículas del suelo y su índice de plasticidad, para suelos finos. En *anexos II.2.B-1* se puede consultar una tabla, donde se podrá observar a grandes rasgos, la clasificación del suelo del suelo según el SUCS.

EL SUELO: LA BASE DE TODO PROYECTO CIVIL

Un proyecto civil requiere, invariablemente, de investigaciones previas en el suelo, las cuales recaudarán información, que a su vez, permitirán que la realización de éste se concluya. La calidad y veracidad de ésta información permitirá que sea óptimo, es decir, que el proyecto civil se ejecute en tiempo y forma de manera segura, ya que el suelo es, literalmente, el cimiento de toda obra. Según *George B. Sowers* y *George F. Sowers*, en su libro *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, señalan que el costo total de la investigación, incluyendo los ensayos de laboratorio, varía entre el 0.05 al 0.2% del costo total de la obra, y 0.5 al 1.0% para puentes y presas, por tener una investigación más compleja. También nos indican que una investigación completa¹ se compone de tres etapas:

Reconocimiento del lugar, el cual incluye:

¹ George B. Sowers y George F. Sowers, indicaron qué elementos requiere una investigación completa, sin embargo, en éste documento se retomaron sólo los elementos que, debido a las nuevas tecnologías, aún son necesarios.

- ▶ Estudio geológico, para que por medio de la observación, se definirá qué tipo de suelo o roca se encuentra en el sitio, para así, diagnosticar qué tipo de exploración para la extracción de muestra es la más es la más conveniente.
- ▶ Actividad sísmica potencial, la cual indicará qué tan propenso es el sitio en estudio a tener sismos o terremotos.
- ▶ Inspección del lugar, para precisar la topografía, drenaje, erosión, la vegetación y el uso que se la da a la tierra.
- ▶ Reconocimiento aéreo, que en la actualidad puede realizarse fácilmente con *softwares* de información geográfica e incluso por observación directa a través de drones.
- ▶ Exploración del suelo, que a través de la obtención de muestras por medio de sondeos, se podrá crear un perfil estratigráfico² del suelo en estudio.
- ▶ Interpretación de resultados, que será una recopilación detallada de toda la información recaudada, después de haber realizado todas las pruebas de laboratorio necesarias en las muestras obtenidas a partir del sondeo.

EL SUELO: OBJETO DE ESTUDIO

En México, el suelo se divide en tres zonas:

▶ ZONA I O ZONA DE LOMAS

Esta zona está compuesta, en cierta cantidad, por basalto, que aunque es un material, aparentemente³ estable, para diseñar en ésta zona se debe remontar

² “Es el que se realiza a partir de datos de perforaciones, de datos de prospección geofísica (datos indirectos), o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que *muestran las rocas* que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede reconstruir la *estratigrafía del subsuelo*, acorde con la profundidad que demanda el proyecto”. (Pasotti Pierina, Desconocido (Pasotti) p. 5) *Ver Anexo D Perfiles Estratigráficos, I.I.D-1: “Composición de un perfil”*.

³ El **basalto**, es una roca de origen ígnea-extrusiva, por lo tanto el magma pudo formar oquedades cuando este se fue enfriando rápidamente, debido a la presencia de oxígeno en el exterior y a la baja presión.

a la historia del suelo de la Ciudad de México, ya que en éste sitio hubo gran cantidad de minas, para la explotación de materiales, de las cuales, aunque se tiene un registro, no es exacto, por lo tanto, se deben realizar exploraciones del suelo para determinar si existen minas en el subsuelo, evitando futuros socavones provocando colapsos de la estructura, por ello serán imprescindibles, aunque esto signifique un incremento en el costo de la obra.

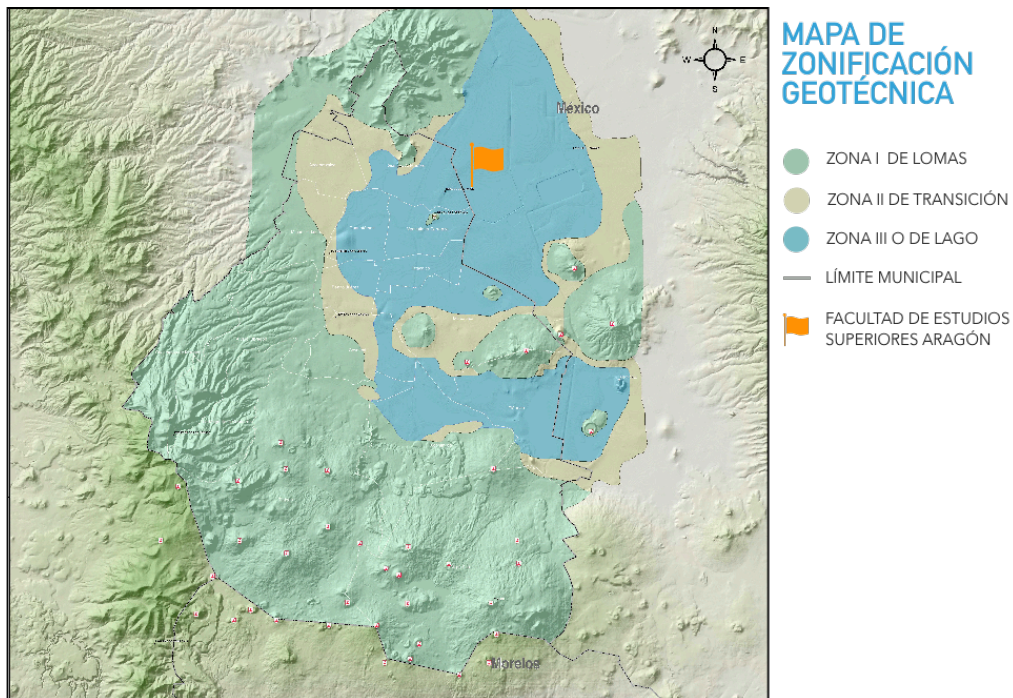


Figura 1 "Zonificación geotécnica". Protección Civil (2017). Fuente: data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/mapas

También se sabe que la zona de lomas fue un tiradero de basura, la cual no fue eliminada por completo, por el contrario, solo se cubrió, quedándose como relleno. Éste relleno está compuesto por materia inorgánica y orgánica, que ésta a su vez, está compuesta por alimentos, raíces, e incluso cadáveres de animales, que se desintegran a diferente velocidad, creando oquedades y diferencias en el nivel del suelo.

Por lo tanto, se debe revisar que el suelo no contenga dichos rellenos, así como revisar la erosión diferencial en taludes y cortes, como lo indica el *Capítulo VIII, Título Sexto del de Construcciones del Distrito Federal*.

▶ ZONA II O DE TRANSICIÓN

Se le llama así debido que es la zona en la cual cambia un suelo firme a uno inestable. Se compone regularmente de estratos de arena, limo arenoso y estratos intercalados de arcilla lacustre.

▶ ZONA III O ZONA LACUSTRE

Es la zona más inestable de la Ciudad de México, por lo tanto, requiere de diversos estudios del suelo, por ello es la más confiable para edificar, ya que su comportamiento es predecible y existen gran cantidad de información y estudios previos. Se compone por arcilla de compresibilidad alta y contenido de limo o arcilla. También suele tener presencia de suelos aluviales y rellenos superficiales.

Debido a la presencia de éstos materiales, que se caracterizan por tener un alto contenido de agua, son altamente compresibles, es por ello que para poder diseñar en éste tipo de suelo es indispensable calcular la deformabilidad del suelo, ésta se obtendrá a través de una prueba llamada *consolidación unidimensional*. También existen otras pruebas de resistencia a la compresión, las cuales se muestran en la fig. 2 “*pruebas de resistencia en suelos*”:

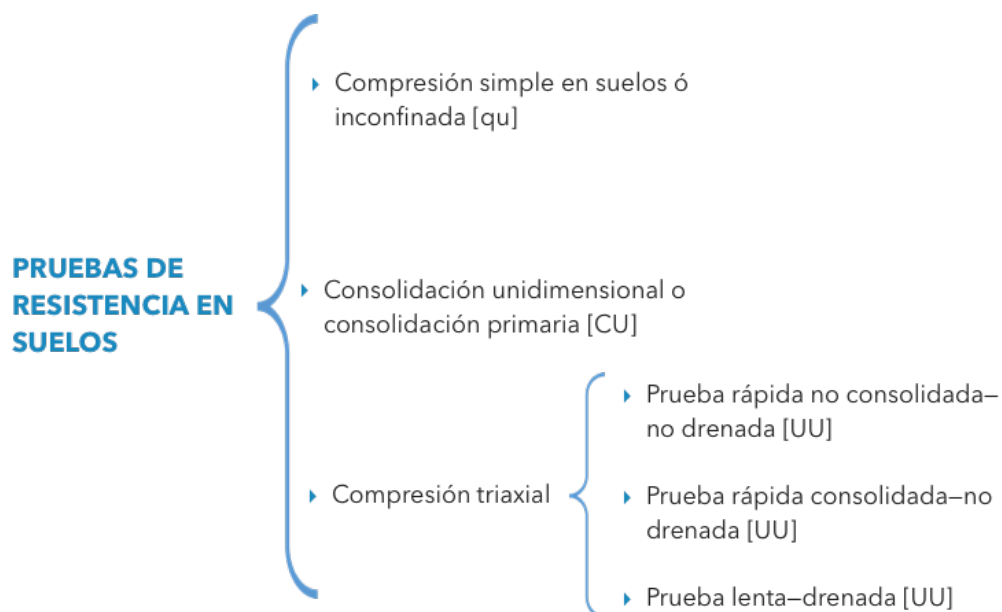


Figura 2 "Pruebas de Resistencia".

MECÁNICA DE SUELOS

El suelo es un objeto de estudio muy complejo. Para los agricultores, es una fuente de alimento y vestimenta, para un ingeniero civil es, literal y metafóricamente, la base de la civilización, que nos caracteriza como sociedad.

El ingeniero civil se debe encargar de mejorar el suelo a través de diversos estudios, con la finalidad de conocer sus propiedades mecánicas, las cuales son aquellas que definen al suelo como apto o no para ser la base de una edificación⁴. Cuando el suelo no es apto, que será en la gran mayoría de los casos, se deberá diseñar una cimentación, según el mejoramiento que requiera el mismo. Ésta podrá ser a base de pilotes o pilas, cajón, flotantes, superficiales o profundas, de concreto armado, entre otras.

Las propiedades mecánicas del suelo son su resistencia al corte, deformabilidad en milímetros y sus propiedades índice. En este trabajo se estudiarán las propiedades índice del suelo, que son los ensayos previos a las pruebas de resistencia, y determinan:

- ▶ Contenido de agua
- ▶ Límites de plasticidad
- ▶ Densidad de sólidos del material en estudio

De las cuales, a través de correlaciones se obtendrán diversos parámetros que ayudarán a clasificar el suelo. Cabe mencionar que éstas correlaciones *no* reemplazan las pruebas de resistencia, pero sí generan información confiable y útil.

En el *primer capítulo* se verá el procedimiento para la obtención de la muestra inalterada, realizando un sondeo mixto con tubo Shelby y penetrómetro estándar, con la finalidad de que el alumno amplíe su panorama y la ejemplificación de las pruebas sean de mayor comprensión.

El *segundo capítulo* hablará del *contenido de agua* en el suelo, una prueba muy sencilla pero importante, ya que generará, a través de correlaciones,

⁴ Llámese *edificación* a todo espacio de gran dimensión construido por el hombre, con materiales resistentes al intemperismo; su función es resguardar para desarrollar diferentes actividades humanas.

información suficiente para clasificar al suelo. También se hablará de la importancia de su obtención, y de cómo el agua que contiene un suelo influye directamente en la *deformación* del mismo.

El *tercer y último capítulo* consistirá en los *límites de consistencia*, que mide la plasticidad del suelo, y es una propiedad única de los suelos arcillosos o cohesivos-arcillosos, como el que se encuentra en la zona III, el objeto de estudio de éste trabajo, que, al igual que el contenido de agua, generará información a la clasificación del suelo.

ASPECTOS A CONSIDERAR

Es importante que antes de realizar cualquier prueba de mecánica de suelos, se asegure de que todo el equipo y herramienta este en buen estado, es por ello que se recomienda lo siguiente:

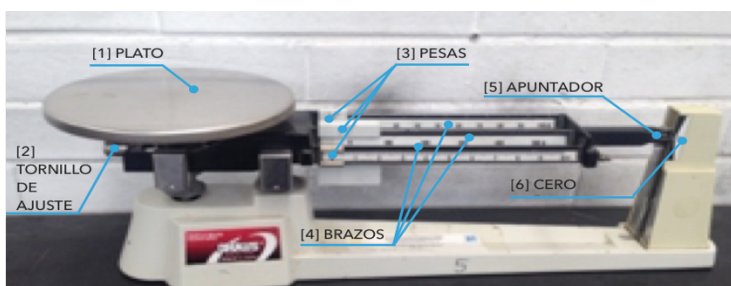


Figura 3 "Partes de una balanza".

▶ Ajuste de la balanza

Para ajustar la balanza deberás asegurarte que no tenga ningún peso sobre ella, posteriormente colocarás todos las pesas [3] en el extremo que indique el peso "0.00", como se observa en la figura 3. Después deberás girar el tornillo de ajuste [2] hasta que el apuntador [5] señale el cero [6].

▶ Fórmula de desviación de la balanza

Cada balanza tiene su propia formula de desviación. En cada práctica de deberá utilizar la misma balanza para todo el procedimiento y anotar su fórmula de

desviación. Cada que se pese, se deberá acudir a esa fórmula, siendo “x” el peso tomado directamente de la balanza. Ver fig. 4

OBJETIVO GENERAL

Esta tesis tiene como objetivo una retroalimentación en las futuras generaciones de la carrera ingeniería civil, con la finalidad de que los alumnos sean capaces de formar su propio criterio, además de contar con una idea clara del porqué se deben realizar pruebas índice en el suelo, logrando así llevarlas a cabo en un futuro en su ámbito laboral, de acuerdo a una recopilación de diferentes manuales, tomando de ellos únicamente, procedimientos aplicables en un suelo arcilloso como en el que trabajan los alumnos aragoneses a lo largo de su formación académica, considerando que éste sea el más sencillo y comprensible para el estudiante, sin descartar lo que indica el *Reglamento de Construcción de la Ciudad de México*.

Entonces, debido a ello el alumno podrá:

- ▶ Verificar el correcto procedimiento para recolección de muestra por medio del Sondeo Mixto: Tubo Partido + Tubo Shelby + Broca Tricónica.
- ▶ Entender el propósito de obtener las propiedades índice del suelo, y así, diagnosticar en qué casos y el porqué se debe aplicar.
- ▶ Interpretar resultados de cada prueba para poder aplicarlos en situaciones reales.
- ▶ Identificar en un perfil estratigráfico del suelo, las propiedades índice del suelo con su correcta simbología.
- ▶ Conocer la existencia de métodos actuales para determinar la densidad de sólidos.

CAPÍTULO I: SONDEO MIXTO CON TUBO SHELBY

El éxito de un proyecto depende, entre otras cosas, de que la muestra obtenida, que representará al suelo, sea de óptimas condiciones, para realizar de manera efectiva las pruebas de laboratorio. (Sowers, Sowers, 1972).

SONDEO MIXTO CON TUBO SHELBY

NOMENCLATURA:

SM



TIEMPO ESTIMADO DE PRUEBA⁵:

7 horas



PRUEBA EN:

Campo



MATERIAL A CONSULTAR/IMPRIMIR:

CÓDIGO:

- ▶ I.1.C-1
 - ▶ Perfil Estratigráfico I.D-1
-

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1. EXPLORACIÓN DE SUELOS

La exploración de suelos es necesaria para obtener muestras *alteradas* o *inalteradas* –aunque las segundas se obtienen muy difícilmente– y así, realizar diferentes pruebas que determinarán sus propiedades mecánicas del suelo en donde se construirá una estructura.

Las *muestras inalteradas* con aquellas que conservarán la humedad, forma y propiedades mecánicas de donde fue obtenida, estas pueden ser extraídas por

⁵ El tiempo estimado de prueba se contará a partir de que comienza el ensayo hasta que los resultados de las muestras son obtenidos.

sondeos como Pozo a Cielo Abierto [PCA] y muestreadores de pared delgada⁶, como el Tubo Shelby. Por otro lado, las *muestras alteradas* estarán compuestas del material disgregado o fragmentado y no tendrá la humedad natural de el suelo.

De las primeras muestras se puede obtener propiedades índice y mecánicas, tales como:

- ▶ Contenido de agua
- ▶ Resistencia
- ▶ Deformabilidad al esfuerzo cortante
- ▶ Compresibilidad (por medio de la consolidación unidimensional)
- ▶ Permeabilidad

De las *muestras alteradas* se pueden obtener las propiedades índice. En éste trabajo se realizarán pruebas con una muestra inalterada, extraída con Tubo Shelby, sin embargo, la muestra sufrirá de alteración a lo largo de la prueba. Las propiedades mecánicas no se pueden obtener de las muestras alteradas, ya que como su nombre lo indica, debe representar el estado en el que se encuentra *in situ*⁷.

Como ya se mencionó, existen diferentes formas de obtener muestras relativamente inalteradas, como lo son Pozo a Cielo Abierto (PCA), prueba de penetración estándar (SPT), sondeo mixto (SM), sondeo con tubo Shelby (Sh), sondeo con cono eléctrico, entre otros. En este caso, se estudiará una muestra obtenida con tubo Shelby (muestra inalterada), y con Penetrómetro, (muestra alterada) perteneciente a la prueba de sondeo mixto.

1.1.2. SONDEO MIXTO [SM]

El sondeo mixto recibe ese nombre debido a que se obtienen dos tipos de muestras, a través de dos tipos de sondeos: sondeo de Penetración Estándar [SPT], siglas en inglés, *Standar Penetration Test*, y el sondeo con tubo Shelby [Sh]. También en éste sondeo se recurre al uso de la broca tricónica. Los dos tipos de extractores de muestra, respectivamente, son:

⁶ Los tubos de pared delgada podrán obtener muestras inalteradas en tanto sea con *pistón*, de lo contrario las muestras serán ligeramente alteradas.

⁷ Expresión utilizada para indicar que es “en el sitio”.

- ▶ Penetrómetro, el cuál al ser hincado mediante golpes obtiene muestras *alteradas*.
- ▶ Tubo Shelby, del cuál de obtienen muestras *inalteradas*; es hincado a presión.

Se recurre a este método cuando se necesitan muestras inalteradas a gran profundidad, pero el presupuesto es limitado. La extracción de muestras con Tubo Shelby, al ser inalteradas, su costo se eleva; cuando se obtienen muestras alternadas con la Prueba de Penetración Estándar ayuda a que el costo del sondeo, disminuya. La muestra con *Tubo Shelby* se obtendrá según el estrato de interés, preferentemente cuando éste estrato sea más propenso a la consolidación, y se intercalará con el *penetrómetro* según el presupuesto del sondeo y a la profundidad que se requiera el mismo.

También es muy útil para saber la resistencia al esfuerzo cortante del suelo mediante correlaciones con el número de golpes se necesitan para hincar el penetrómetro.

1.1.3. SUELOS BLANDOS

La F.E.S. Aragón está situada en la zona de lago, por lo tanto el suelo será arcilloso con alto contenido de agua, es decir un suelo blando. En este tipo de suelos, como ya se había comentado, es casi imposible obtener una muestra *totalmente* inalterada, debido a que las muestras suelen fisurarse, así mismo el grado y número de fisuras depende de llevar a cabo el proceso de manera impecable, debido a que el material es altamente alterable.

1.1.4. ¿QUÉ ES UN TUBO HUECO O SHELBY?

Es un tubo de pared delgada que permite obtener muestras ligeramente alteradas, las cuales serán llevadas a un laboratorio, convirtiéndose en el objeto de estudio sus propiedades índice y mecánicas, con ello se determinará el tipo de mejoramiento que deberá tener el suelo, para que así, sea óptimo para construir una estructura. *Ver Anexo C: Esquemas, inciso I.1.C.1. "Tubo Shelby"*

En la Zona III de la Ciudad de México el tubo de pared delgada con pistón fijo es ideal para obtener muestras con un resultado de menor alterabilidad.

1.2 OBJETIVOS

- ▶ El estudiante de ingeniería civil analizará la importancia de obtener una muestra relativamente inalterada.
- ▶ Debido a que en el curso anterior, *comportamiento de suelos*, el alumno conoció la obtención de muestra mediante el método de pozo a cielo abierto, en este curso comparará diferentes tipos de obtención de muestra, comprendiendo así la importancia de ambos y en qué casos conviene cada uno.
- ▶ Reconocerá el equipo visualmente, conocerá las especificaciones que cada equipo requiera para la prueba y sabrá cuál es su función.
- ▶ Aprenderá cual es el procedimiento para obtener una muestra inalterada del suelo de la F.E.S. Aragón.
- ▶ Aprenderá a graficar e interpretar el *número de golpes* en un perfil estratigráfico.
- ▶ Correlacionará el número de golpes con la resistencia del suelo.

1.3 EQUIPO Y MATERIALES

EQUIPO / HERRAMIENTA / MATERIAL	NOTAS
<p data-bbox="418 436 646 464" style="text-align: center;">TUBO SHELBY</p>  <p data-bbox="375 1001 688 1029" style="text-align: center;">Figura I.F-1: "Tubo Shelby".</p>	<p data-bbox="862 501 1333 646">CARACTERÍSTICAS: En mecánica de suelos se utiliza un Tubo Shelby de 2" de diámetro, debido a que se requieren muestras de 7.5x2.5 cm.</p> <p data-bbox="862 695 1333 800">FUNCIÓN: Obtener una muestra <i>inalterada</i> del subsuelo y almacenarla en su interior.</p> <p data-bbox="862 848 1333 911">Ver esquema de <i>Tubo Shelby</i> en el Anexo C: <i>Esquemas, inciso I.1.C-1</i></p>
<p data-bbox="396 1108 667 1136" style="text-align: center;">PENETRÓMETRO</p>  <p data-bbox="391 1787 672 1814" style="text-align: center;">Figura I.F-2: "Tubo SPT".</p>	<p data-bbox="862 1178 1333 1283">CARACTERÍSTICAS: En mecánica de suelos se utiliza un Penetrómetro de 4" de diámetro.</p> <p data-bbox="862 1331 1333 1478">FUNCIÓN: Medir la resistencia del suelo y obtener una muestra de suelo <i>alterada</i> la cual la almacenará en su interior hasta que sea extraída.</p>

BROCA TRICÓNICA



Figura I.F-3: "Broca Tricónica".

FUNCIÓN: Ampliará la perforación a 4½" de diámetro, disgregando el suelo para permitir el paso más limpio del penetrómetro y el tubo Shelby.

MÁQUINA LONG YEAR 34



Figura I.F-4: "Máquina Long Year".

FUNCIÓN: Se encargará de hincar el tubo partido y Shelby.

CARACTERÍSTICAS:

Peso: 1130 kg

Fuerza de empuje: 3,200 kg

Velocidad de rotación: 22-1510 rpm

Potencia: 36 hp

LODO BENTONÍTICO



Figura I.F-5: "Lodo bentonítico".

FUNCIÓN: En suelos duros sirve para enfriar la broca. En este caso, servirá para ademar la perforación y limpiarla de azolves. Trabaja a presión.

1.4 PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN, EXTRACCIÓN Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS

El primer metro de profundidad del suelo de la F.E.S. Aragón no es útil para obtener propiedades, ya que sólo está compuesto por relleno, como basura, raíces o hierba. Por lo tanto, se requiere de obtener muestras a partir del primer metro de profundidad.

1. El operador responsable, perforará con ayuda de la máquina *Long Year Modelo 34*, —figura I.F-4—, que sostendrá la broca tricónica, para posteriormente perforar un diámetro de 4½", a una profundidad de 1m —dónde comenzaremos a sacar las muestras de nuestro interés— abriendo paso al *penetrómetro*.
2. El penetrómetro entrará por medio de golpes, dados por el *martinete* de la *Long Year*. Éste perforará hasta 60 cm, obteniendo la primer muestra alterada.

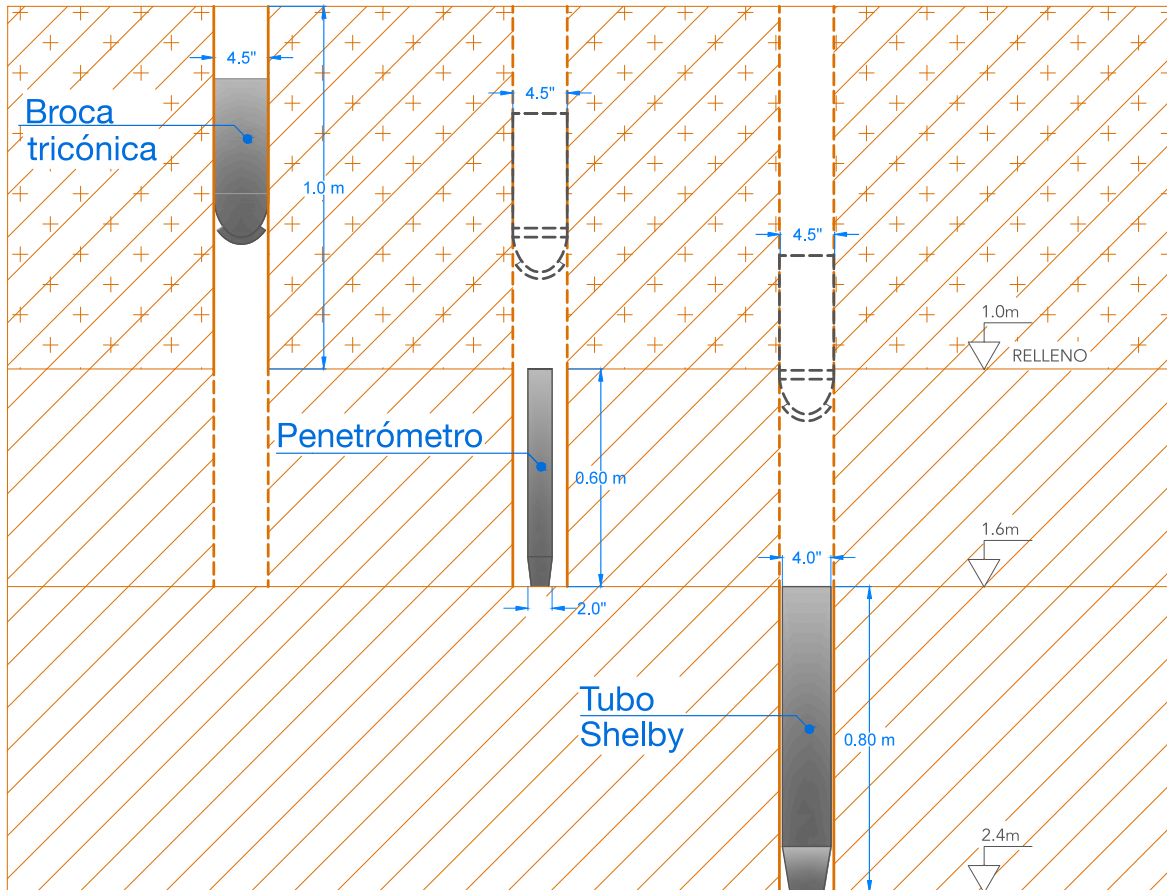


Figura I.F-6: "Perforación Sondeo Mixto".

3. Posteriormente, después de que la Long Year vuelva a abrir paso, se hincará el tubo Shelby con una velocidad *constante* entre 2 cm/s, en el se almacenará la primer muestra *inalterada*.
4. Se deja de muestrear durante relativamente mínimo cinco⁸ minutos, esto permitirá que la muestra se expanda en su interior y aumente la adherencia contra las paredes. Ver Figura I.F-6: "Perforación Sondeo Mixto".
5. Se corta la base del espécimen girando dos vueltas el muestreador.
6. Sacar al exterior y limpiar sus extremos.

⁸ El tiempo de reposo dependerá de la experiencia del operador debido a que en ocasiones la muestra puede estar dos horas o más en reposo, sin lograrse adherir a las paredes.

7. Se rotula el tubo, se sugiere indicar:

- ▶ Obra
- ▶ Sondeo
- ▶ Operador
- ▶ Identificación de la muestra (tubo Shelby del que se extrajo)
- ▶ Profundidad a la que se obtuvo la muestra
- ▶ Fecha en la que se obtuvo la muestra
- ▶ Procedimiento de la perforación



Figura I.F-7: "Muestras".

Es indispensable que se coloquen dichos datos, ya que gracias a la profundidad se podrá construir un *perfil estratigráfico*. Aunque debido a que el Sondeo se hará con fines académicos, no será necesario indicar el operador o la obra ya que no pertenecerá a ninguna. En la *figura I.F-7: "Muestras"* se podrá observar un ejemplo de cómo se rotula una muestra en un sondeo.

Se puede saber la calidad de las muestras según el porcentaje contenido en el tubo de pared delgada, como se muestra en la *tabla I.1.T-1*

CALIDAD DE MUESTRAS EN TUBO DE PARED DELGADA	
Recuperación en porcentaje de muestra	Calidad de la muestra
100%	Excelente
95%	Satisfactoria
80%	Buena
80 a 50%	Mala
< 50	Inaceptable

Tabla I.1.T-1: "Calidad de muestras en tubos de pared delgada" (Tamez, Santoyo, Mooser, & Gutierrez, 1987)

8. Se lleva al laboratorio, el transporte de la muestra deberá ser con sumo cuidado, evitando que esta se golpee o mueva. En el campo, se podrá conservar dentro de una hielera o incluso colocar un paño mojado sobre la misma, con el propósito de mantenerla fresca.
9. Una vez en el laboratorio se rotulará y se conservarán según las siguientes especificaciones:
 - ▶ Se deberán proteger para evitar pérdidas de material y de humedad.
 - ▶ No se deben apilar entre sí, ya que las muestras inalteradas perderían sus propiedades mecánicas al recibir esfuerzos y/o golpe
10. Posteriormente se determinarán las pruebas requeridas, las cuales se verán en los capítulos II y III de este trabajo. Al realizar las pruebas se debe considerar previamente los aspectos mencionados según se muestra en la *figura I.F-7*



Figura I.F-8: Procedimiento para el manejo de muestras.

1.5 CORRELACIONES

El número de golpes se puede correlacionar con la *resistencia a la compresión simple* [q_u], que a su vez, se podrá relacionar con la *cohesividad* [c], sin embargo, para los suelos blandos de la Ciudad de México no es recomendable confiar en estos datos, ya que son imprecisos debido a que esta prueba es abrupta por su ya conocido procedimiento. Además en esta prueba suele no ser necesario los golpes, es decir que el tubo penetra el subsuelo por su propio peso. Llámese al número de golpes “N”, por lo tanto, suele ser **N=0**.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

$$q_u = \frac{N}{8}$$

COHESIVIDAD

$$c = \frac{q_u}{2}$$

Dónde:

- ▶ q_u [kg/cm^2 , t/m^2] = Resistencia a la compresión simple
- ▶ C [kg/cm^2 , t/m^2] = Cohesión del suelo (propiedad *única* de suelos finos)
- ▶ N [adimensional] = Numero de golpes

1.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La correlación relativa en suelos cohesivos entre el número de golpes **N** y la resistencia a la compresión simple **q_u** en kg/cm² como se muestra en la *tabla I.T-3*.

CONSISTENCIA SUELOS COHESIVOS						
	Muy blanda	Blanda	Media	Dura	Muy dura	Extremadamente Dura
DESCRIPCIÓN	Se puede penetrar con el puño	Penetrable con el pulgar	Penetrable con el pulgar con esfuerzo medio	Se puede marcar con el pulgar, pero para penetrar se requiere de gran fuerza	Se puede marcar con la uña del pulgar	Marcado con Dificultad con la uña del pulgar
N	< 2	2-4	4-8	8-15	15-30	>30
q _u	< 0.25	0.25-0.50	0.50-1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	>4.0

Tabla I.T-2: "Correlación entre N y q_u y consistencia relativa del suelo cohesivo" (Tamez, Santoyo, Mooser, & Gutierrez, 1987)

También existe una correlación relativa para arenas. En las pruebas que se llevarán a cabo en *F.E.S. Aragón*, se utilizará la **tabla I.T-1**. Sin embargo, en la **tabla I.T-2** se puede observar dicha correlación:

CORRELACIÓN RELATIVA PARA ARENAS	
Número de golpes	Compacidad relativa
0-4	Muy Suelta
4-10	Suelta
10-30	Media
30-50	Densa
>50	Muy densa

Tabla I.T-3: "Correlación entre N y q_u y consistencia relativa para arenas" (Tamez, Santoyo, Mooser, & Gutierrez, 1987)

1.7 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

El número de golpes se representa en el perfil estratigráfico con el símbolo "x". En la *ilustración 1.1.1.7: "Perfil Estratigráfico: número de golpes"* se muestra un esquema de cómo se compone y cómo debe ser construido. El recuadro anaranjado indica la sección en la que se graficarán el número de golpes en cada avance.

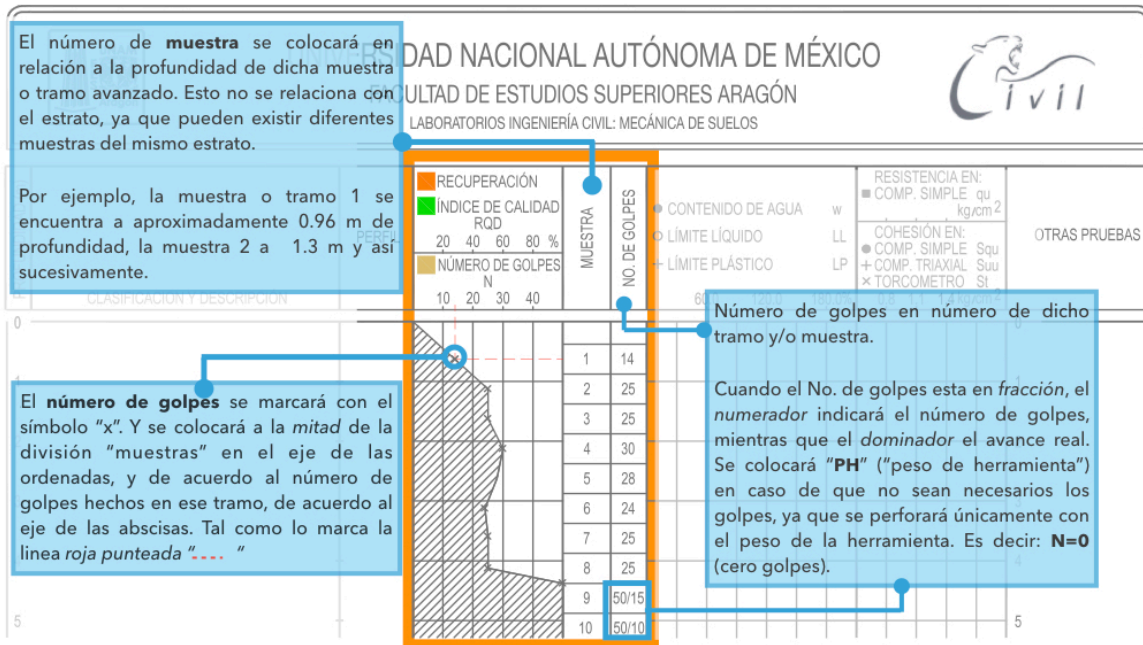


Figura 1.F-9: "Perfil Estratigráfico: número de golpes".

1.8 CONCLUSIONES

El número de golpes en la F.E.S. Aragón, deberá oscilar entre el *peso de herramienta* [PH]⁹ a N=4, debido a que se encuentra en un suelo cohesivo-arcilloso, por lo tanto, su *consistencia* será de *muy blanda a blanda*. En promedio, su resistencia a la compresión es de $\bar{q}_u=0.25 \text{ t/m}^2$, mientras que su cohesión promedio es de: $\bar{c} = 0.125 \text{ t/m}^2$. Esto quiere decir, que por cada metro cuadrado, este suelo soporta tan solo 0.25 t, o bien 25 kg, un poco más de lo que pesaría un garrafón

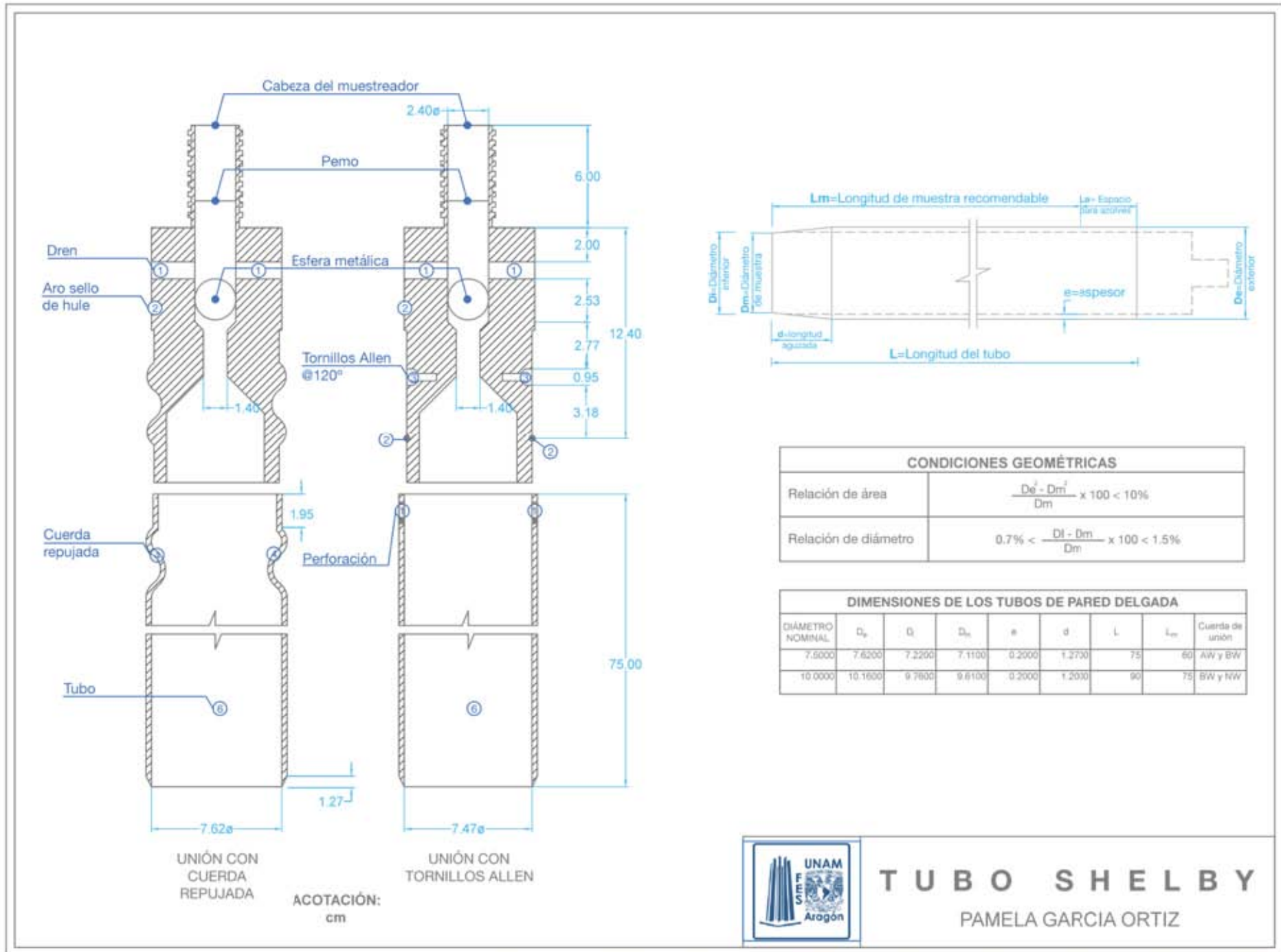
⁹ Se le llama *peso de herramienta* cuando el penetrómetro avanza por sí mismo sin necesidad de golpes.

de agua, y esto suponiendo en su estrato más duro, ya que dónde $N=2$ o menos, a penas soportaría 12.5 kg por cada metro cuadrado, lo cuál equivale al rededor de 4 ladrillos por metro cuadrado.

Por lo tanto, en este suelo no es posible construir, se requiere una mejora del terreno, es decir colocar una cimentación, la cual requiere los siguientes aspectos para su diseño:

- ▶ Profundidad del desplante
- ▶ Asentamiento límite
- ▶ Factor de seguridad contra las fallas al cortante
- ▶ Condiciones del subsuelo
- ▶ Debe ser: flexible y rígida

Es por ello que se requiere realizar pruebas tales como: propiedades índice y resistencia al esfuerzo cortante para así diseñar de manera óptima la cimentación. Aunque cabe subrayar, que en suelos arcillosos, lo que rige para el diseño es la deformación del suelo, debido a su plasticidad; éstos, al perder agua, disminuyen el espesor de sus estratos considerablemente a través del tiempo, por ello, una de las pruebas indispensables, además de *Contenido de Agua*, es la de *Consolidación Unidimensional*.




Esquema I.C-1: "Tubo Shelby". García, P. (2018), Fuente: Tamez, E., Santoyo, E., Mooser, F., Gutierrez, C. (1987)

CONSTRUCCIÓN DE UN PERFIL ESTRATIGRÁFICO

(1) PROFUNDIDAD

Estos números indican la profundidad a la que obtuvo la muestra, en metros.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS



PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	PERFIL	RECUPERACIÓN % 0 20 40 60 80 100	ÍNDICE DE CALIDAD RQD 0 20 30 40	NÚMERO DE GOLPES N 0 20 30 40	MUESTRA COMPOSICIÓN (%)	CONTENIDO DE AGUA			RESISTENCIA EN			OTRAS PRUEBAS
								W	LL	LP	COMP. SIMPLE (kg/cm ²)	COHESIÓN (kg/cm ²)	COMP. TRIPAL (kg/cm ²)	
0								60.0	120.0	180.0	0.8	1.1	1.4	
1	(1)													
2														
3														
4		(2)												
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														

(5) SIMBOLOGÍA

Como su nombre lo indica, aquí se encuentra la simbología del perfil y puede ser modificado según las necesidades

(6) DATOS DEL SONDEO

En esta sección se indicará la fecha de la exploración, el proyecto y ubicación del mismo, así como el nivel en el que fue encontrado el NAF.

No se trabajará en un proyecto próximo a construir, si no en simple exploración con fines académicos, es por ello que el proyecto se llamará de tal manera.

(5) SIMBOLOGÍA

ROCA ÍGNEA	ROCA SEDIMENTARIA	ROCA METAMÓRFICA	OTROS
ARILLA (C) FINO (F)	ARCILLA (C) MEDIO (M)	ARCILLA (C) GRUESO (G)	OTROS

(6) DATOS DEL SONDEO

ELEV. BRJCAL: _____ m
FECHA: _____

PROYECTO: Prácticas de laboratorio de mecánica de suelos

UBICACIÓN: An. Rancho Seco S/N. Mexhualtepec, Edo. Mex.

SONDEO: Mido con "S&B" Sully

NAF: _____

Perfil Estratigráfico I.D-1

CAPÍTULO II: CONTENIDO DE AGUA

El contenido de agua influye directamente en la deformación de un suelo. El asentamiento o consolidación que produce ésta deformación es el principal problema de los suelos arcillosos.

CONTENIDO DE AGUA

NOMENCLATURA:

W%



TIEMPO ESTIMADO DE PRUEBA:

25 horas



PRUEBA EN:

Laboratorio



MATERIAL A

CÓDIGO

CONSULTAR/IMPRIMIR

▶ II.1.A-1

▶ Ejemplo: II.1.E-

▶ II.1.A-2

▶ Perfil Estratigráfico I.D-1

2.1 ANTECEDENTES

El contenido de agua en la zona III de la Ciudad de México, suele ser alto, según el *Manual de Diseño Geotécnico*¹, su contenido de humedad (**W%**) varía de entre 250% a 400%, lo que refiere a una característica de las arcillas del lago, aunque también existen materiales con un $w=25%$, pertenecientes a la costra superficial (CS), con materiales limo-arenosos, lentes duros y capa dura.

Este tipo de pruebas se utiliza para crear perfiles de contenido de agua de muestras *inalteradas*, a pesar de que la muestra sea alterada. Esto se debe a que el perfil se mide a partir de su contenido de agua y no de sus propiedades mecánicas.

¹ Tamez, E., Santoyo, E., Mooser, F., Gutierrez, C. (1987). Manual de Diseño Geotécnico: Volumen 1. México. Desconocido. (p. 101)

En las *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Cimentaciones* indica que esta prueba debe realizarse en las investigaciones de subsuelo para construcciones pesadas, extensas o con excavaciones profundas², en las zonas II y III. También indica que en materiales arcillosos se deben hacer por lo menos dos pruebas por cada metro de exploración y en cada estrato del que se tenga conocimiento.

2.1.1. DEFORMACIÓN: PRINCIPAL PROBLEMA EN SUELOS COHESIVO-ARCILLOSOS

En ingeniería, los materiales utilizados estarán sometidos a fuerzas externas, las cuales lo deformarán y es trabajo del ingeniero predecir estas deformaciones evitarlas, reducirlas o enviarlas en otra dirección, de manera que no comprometan el material produciendo su falla. En el caso de *mecánica de suelos*, se necesita saber cuánta será la *deformación*, en milímetro, que tendrá el suelo al aplicarle cierta carga, llamada *esfuerzo*. Esta deformación producirá un asentamiento [ΔH].

En *suelos saturados*, como la arcilla de la Ciudad de México no tendrá una deformación instantánea debido a su alto *contenido de agua*, entonces, el tiempo en el que sufra estas deformaciones también será de interés. Por ello, el suelo tendrá dos etapas de consolidación:

- ▶ **Consolidación primaria:** Es la primera deformación que recibe el suelo y se debe al retraso *hidrodinámico*, es decir, al tiempo en que tardará el agua en encontrar y llegar a una salida. En el ensayo, la consolidación primaria llegará a su fin cuando todos los piezómetros tengan el mismo nivel estático de agua, terminando con la prueba.

² Llámese “construcción pesada, extensa o con excavación profunda” aquella que tenga al menos una de las siguientes características:

Peso unitario medio de la estructura: $w > 40 \text{ kPa}$ (4 t/m^2)

Perímetro de la construcción:

$P > 80 \text{ m}$ en las Zonas I y II

$P > 120 \text{ m}$ en Zona III

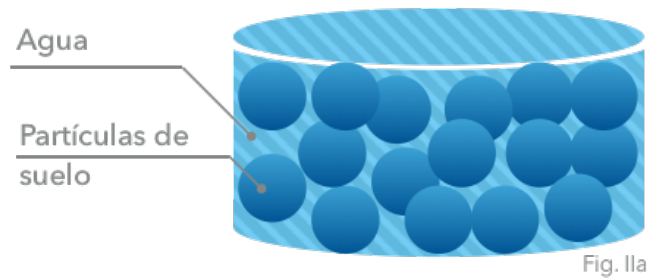
Profundidad de desplante $D_f > 2.5 \text{ m}$

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Cimentaciones. (p. 9).

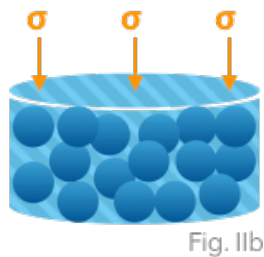
- ▶ **Consolidación secundaria:** En todos los casos esta deformación es mayor que la alcanzada en la *consolidación primaria*, sin embargo ésta no se tomará en cuenta. A esta etapa de deformación se le llamará “*retraso plástico*” si ocurre en *arcillas*, y “*retraso friccionante*” si ocurre en *arenas*.

La consolidación ocurre, representativamente de la siguiente forma:

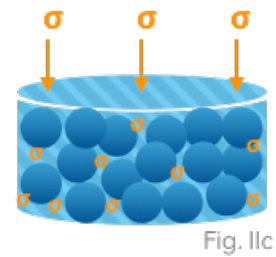
El suelo saturado, tendrá vacíos entre sus partículas, donde estará alojada el agua.



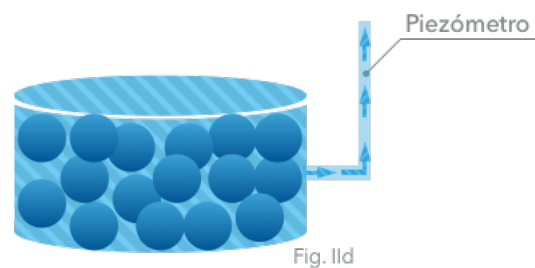
Las fuerzas externas (cargas vivas o muertas), llamadas *esfuerzos* $[\sigma]$, penetrarán verticalmente al suelo saturado.



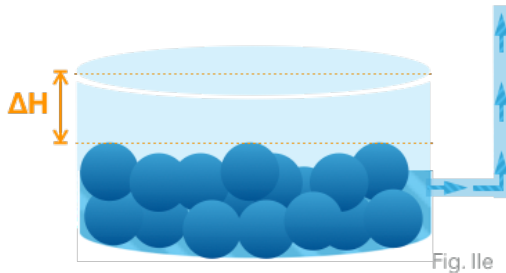
El agua, recibirá toda esa fuerza que, por ser líquida, será *incompresible*, así que buscará una salida.



El tiempo en el que el agua encuentre dicha *salida* dependerá de la permeabilidad del suelo. En un ensayo de *Consolidación Unidimensional* se provee de un *piezómetro* el cual será el conducto de salida del líquido.



En estado natural, la salida del agua puede depender de diferentes factores, como la permeabilidad de el suelo, o en casos como en la Ciudad de México, por la explotación de los pozos acuíferos, para consumo humano.



El agua fluye dentro del suelo dejando espacios vacíos. Estos espacios serán llenados con las partículas del suelo, lo cual generará una *reducción* de volumen inicial, a este fenómeno se le llamará *asentamiento* [ΔH].

Por lo tanto, solo existirá la consolidación si existe una vía escape del agua de la masa de suelo. En campo, en suelos no saturados al 100% ocurre un fenómeno similar, por ello se debe tener en cuenta que esta prueba será siempre un aproximado.

El ensayo consolidación unidimensional es la prueba de resistencia más importante en suelos arcillosos y sirve para estimar los asentamientos que tendrá un suelo y el tiempo en el que ocurrirán, después de someterlo a cargas verticales –de ahí proviene que sea una consolidación “unidimensional” debido a que el esfuerzo o cargas son en una dirección–, como se muestra en la Fig. 11b.


Para obtener las estimaciones, se toma una muestra *inalterada* representativa del estrato en estudio, la cual, como ya se mencionó se someterá a cargas en intervalos de tiempo, hasta que esta llegue a su deformación *plástica*, debido a la reducción de relación de vacíos [**e**].

2.2 OBJETIVOS


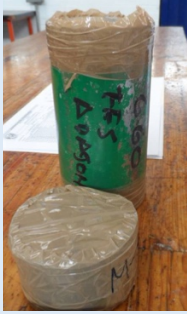
- ▶ El estudiante aprenderá a cuantificar el contenido de agua en un suelo.

- ▶ Aprenderá a correlacionar el contenido de agua con otros parámetros y juzgará la importancia de éstas correlaciones.
- ▶ Clasificará el suelo de acuerdo a los parámetros correlacionados.
- ▶ Aprenderá a graficar e interpretar el *contenido de agua* en un perfil estratigráfico.

2.3 EQUIPO Y MATERIAL

EQUIPO / HERRAMIENTA	ESPECIFICACIONES								
<p style="text-align: center;">Horno</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura II.F-1: "Horno de convección".</i></p>	<p>Debe contar con control automático, debido a que la temperatura debe ser uniforme en todo el interior del mismo. Un horno de convección es ideal para este tipo de pruebas.</p>								
<p style="text-align: center;">Balanza</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura II.F-2: "Balanza con precisión 0.01".</i></p>	<p>Deberán tener una precisión de acuerdo al peso a muestrear³:</p> <table border="1" data-bbox="797 1451 1411 1654"> <thead> <tr> <th data-bbox="797 1451 1149 1539">PRECISIÓN (g)</th> <th data-bbox="1149 1451 1411 1539">ESPÉCIMEN (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="797 1539 1149 1577">0.01</td> <td data-bbox="1149 1539 1411 1577">< 50</td> </tr> <tr> <td data-bbox="797 1577 1149 1614">0.02</td> <td data-bbox="1149 1577 1411 1614">50 ≤ 500</td> </tr> <tr> <td data-bbox="797 1614 1149 1654">1.0</td> <td data-bbox="1149 1614 1411 1654">> 500</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><i>Tabla II.1.T-1. "Precisión de balanza".</i></p>	PRECISIÓN (g)	ESPÉCIMEN (g)	0.01	< 50	0.02	50 ≤ 500	1.0	> 500
PRECISIÓN (g)	ESPÉCIMEN (g)								
0.01	< 50								
0.02	50 ≤ 500								
1.0	> 500								

³ Tamez, E., Santoyo, E., Mooser, F., Gutierrez, C. (1987). Manual de Diseño Geotécnico: Volumen 1. México. Desconocido. (p. 80)

<p>Recipientes para muestra</p>  <p><i>Figura II.F-3: "Vidrios de reloj".</i></p>	<p>Deberán ser resistentes a la corrosión, pequeños y ligeros. Preferentemente metálicos, también se pueden utilizar cápsulas de vidrio refractario</p>												
<p>Material (espécimen)</p>  <p><i>Figura II.F-4: "Especimen en tubo Shelby".</i></p>	<p>La cantidad de material a ensayar será de acuerdo a la siguiente tabla⁴:</p> <table border="1" data-bbox="797 701 1409 1031"> <thead> <tr> <th>TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS (mm)</th> <th>PESO MÍNIMO DEL ESPÉCIMEN (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.75 (pasa por la malla No. 4)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>No. 40 (pasa por la malla 0.420 mm)</td> <td>10 a 50</td> </tr> <tr> <td>12.5</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>25.0</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>50.0</td> <td>1000</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabla II.T-2. "Relación tamaño-muestreo".</i></p>	TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS (mm)	PESO MÍNIMO DEL ESPÉCIMEN (g)	4.75 (pasa por la malla No. 4)	100	No. 40 (pasa por la malla 0.420 mm)	10 a 50	12.5	300	25.0	500	50.0	1000
TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS (mm)	PESO MÍNIMO DEL ESPÉCIMEN (g)												
4.75 (pasa por la malla No. 4)	100												
No. 40 (pasa por la malla 0.420 mm)	10 a 50												
12.5	300												
25.0	500												
50.0	1000												

2.4 PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar con el procedimiento, se deberá contar con los archivos indicados al inicio de éste tema. Se recomienda leer el *formato II.1.A-1*, el cual contiene el instructivo, correspondiente al formato de *contenido de agua*; posteriormente:

1. Tomar una muestra representativa de suelo, Bowles J., en su *Manual de laboratorio de Suelos de Ingeniería civil*, recomienda que para obtener una determinación confiable del contenido de humedad, se recomienda usar la cantidad mínima de muestra que indica la *tabla II.1.T-2*.
2. Tomar nota y rotular lo siguiente, en el *formato II.1.A-2* (se encuentra al final

⁴ *idem*.

de éste capítulo⁵):

- ▶ El número de vidrio de reloj o recipiente, así como el peso de éste.
- ▶ La balanza que será utilizada.
- ▶ El estrato al que pertenece cada espécimen.

ASPECTOS A CONSIDERAR:

Cada balanza tiene una formula de desviación, se recomienda anotar dicha formula para poder corregir el peso. Es posible omitir este paso ya que éste error es de 0.0001 y las especificaciones, se pide una precisión de 0.01, la cual no se ve afectada por dicha desviación.

3. Pesar cada vidrio de reloj en conjunto con la muestra representativa del suelo húmedo en la balanza, se debe tener sumo cuidado en cumplir todas las especificaciones previamente indicadas en el inciso II.1.3 de éste capítulo.

ASPECTOS A CONSIDERAR:

Si se lleva más de 3 minutos determinar el peso de cada muestra, se deberá colocar una tapa al recipiente para evitar pérdida de humedad y retirarla cuando sea introducida al horno. Si se tiene una pérdida de humedad se tendrán datos incorrectos.

La muestra representativa deberá de ser de 10 a 50 g, ya que al ser un suelo arcilloso, las partículas pasarán por la malla no. 40, como lo indica las especificaciones del material en la tabla II.1.T-2, además, por ser una muestra menor a 50g, se utilizará una balanza con precisión de 0.01g. En el experimento⁶ realizado con una muestra representativa de la F.E.S. Aragón, se obtuvo lo siguiente:

TUBO SHELBY	PROFUNDIDAD				NO. DE CAPSULA	PESO CAPSULA (g)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (g)
	m			\overline{PROF}		C	$W_h = C + S_h$
SM 1- M1	1.60	a	1.87	-1.73	59	47.17	49.60
SM 1- M12	1.87	a	2.13	-2.00	18	47.14	48.70
SM 1- M13	2.13	a	2.40	-2.27	35	26.35	28.10

Fig. II.f

⁵ También podrás ingresar los datos directamente en la hoja de cálculo, descargable en el siguiente link: <http://bit.ly/2t0wgyvm>

⁶ Debido a que el experimento de *Contenido de Agua* se hace en la mayoría de las pruebas de *mecánica de suelos*, se tomaron los datos obtenidos en *Límites de consistencia*, del apartado *Límite Plástico*.

- Introducir el recipiente con el espécimen en el horno y verificar que éste presente una temperatura constante. La muestra deberá permanecer ahí hasta alcanzar un peso constante. Los parámetros de tiempo y temperatura serán de acuerdo a lo siguiente tabla:

	TIPO DE SUELO	TIEMPO (horas)
TIEMPO	Gravas y arenas	Mínimo 4
	Arcillas, Limos, etc.	$16 \leq t \leq 24$ (preferentemente 24)
TEMPERATURA	TIPO DE SUELO	GRADOS CELSIUS
	Suelos	$5 \leq T \leq 110$
	Excepto: Turbas, Arcillas, Algunos suelos tropicales	$T=60$

Tabla II.1.T-3. "Temperatura y tiempo según el tipo de suelo".

ASPECTOS A CONSIDERAR:

Este paso se debe de hacer con sumo cuidado, debido a que de éste dependen resultados correctos o erróneos. En el caso de las arcillas, se recomienda una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- Al sacar las cápsulas del horno se dejarán reposar, con la finalidad de que estas lleguen a temperatura ambiente.

ASPECTOS A CONSIDERAR:

Es muy importante dejar que las capsulas se enfríen, de lo contrario, la temperatura interferirá en los resultados.

- Pesar cada cápsula con la misma balanza que se utilizó al inicio. Realizar las anotaciones en el formato adjunto II.1.A-2, anexo A.

En el experimento realizado, se obtuvieron los siguientes resultados 24 horas después:

24 horas después		
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	PESO DEL AGUA (g)	PESO DEL SUELO SECO (g)
$W_{ss}=C + S_c$	$W_w=W_h-W_{ss}$	$W_s=W_{ss}-C$
48.2	1.40	1.03
47.8	0.9	0.66
27.09	1.01	0.74

Fig. II.g

2.5 CÁLCULOS

Se debe tener sumo cuidado de que el espécimen sea realmente representativo, tener una constante y correcta temperatura, (según la *tabla II.1.T-3*) y que el espécimen no sufra pérdida de humedad antes de ser pesado.

CONTENIDO DE AGUA:

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

Donde:

- ▶ **W%**=Porcentaje del contenido de agua en esa muestra de suelo
- ▶ **W_w [g]**= Peso del agua
- ▶ **W_s [g]**=Peso del suelo

En donde:

- ▶ **W_w** = *Peso del recipiente con el suelo húmedo – Peso del recipiente con el suelo seco*
- ▶ **W_s** = *Peso del recipiente con el suelo seco – Peso del recipiente*

En el experimento realizado, se determinó el contenido de agua, con ayuda del *formato II.1.A-2*, anexo A y del inciso II.1.5 de éste documento.

Entonces, haciendo el cálculo correspondiente, el contenido de agua será el siguiente para cada tramo; de acuerdo a la *tabla II.1.T-2* se podrá clasificar el suelo.

CONTENIDO DE AGUA % $W \% = \frac{W_w}{W_s} (100)$	OBSERVACIONES/ CLASIFICACIÓN
135.92%	C Bentonítica
136.36%	C Bentonítica
136.49%	C Bentonítica

Fig. II.h

Dónde, según el S.U.C.S.
C= Arcilla.

Posteriormente, se grafica el contenido de agua (Figura II.F-17). La hoja de cálculo descargable en el link indicado en el anexo A realizará este proceso en automático, sin embargo se deberá verificar que el intervalo sea el más adecuado para cada caso.

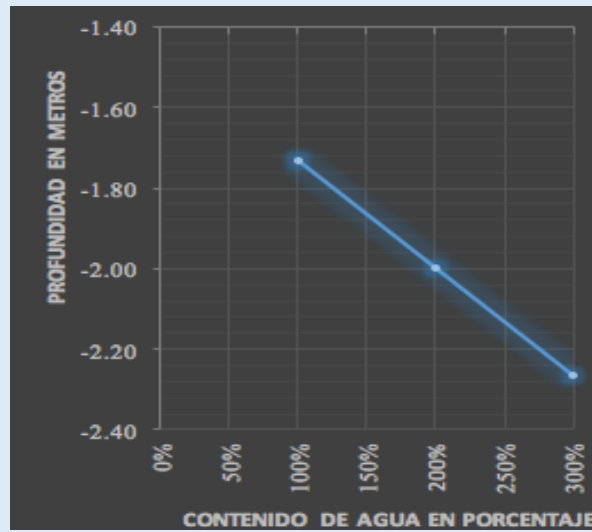


Fig. II.i

2.6 CORRELACIONES

Cuando se tiene un bajo presupuesto o el tiempo limitado, se puede recurrir a correlacionar datos, es decir, relacionar un dato y por medio de fórmulas, obtener otro dato.

Al realizar la prueba de contenido de agua en un suelo, se puede obtener gran cantidad de información de un éste, llegando a clasificarlo e incluso a predecir su comportamiento.

En siguiente cuadro sinóptico se muestran las características del suelo que se pueden deducir cuando se cuenta con el contenido de agua:

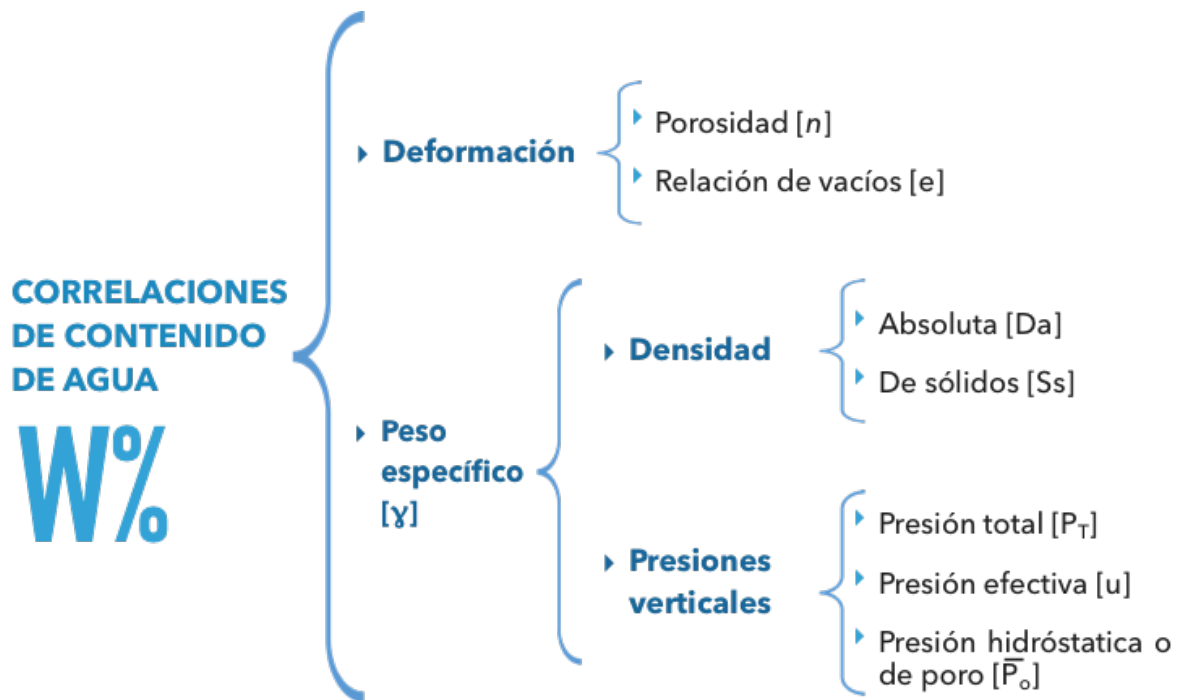


Figura II.F-10: "Correlaciones del contenido de Agua".

La *deformación* es una propiedad que presenta el suelo. Ésta es fundamental, para el diseño de cimentaciones, en especial cuando esté edificada en arcillas, que tienen alto contenido de agua, como la de la zona III e incluso de la zona de transición, ya que es indispensable saber cuánto asentamiento [Δ] tendrá una estructura con el paso del tiempo, con el objetivo de que ésta se la mínima y que sea *uniforme*. Las deformaciones están íntimamente ligadas con las presiones *verticales* que sufre un suelo al estar sometido a esfuerzos.

Pero, ¿por qué estos parámetros se pueden obtener del contenido de agua? Bien, para su absoluta comprensión se debe comenzar con la premisa de que el suelo está compuesto por tres fases: sólida y líquida y gaseosa, y se puede representar esquemáticamente como la *figura II.F-8*

FASES DEL SUELO

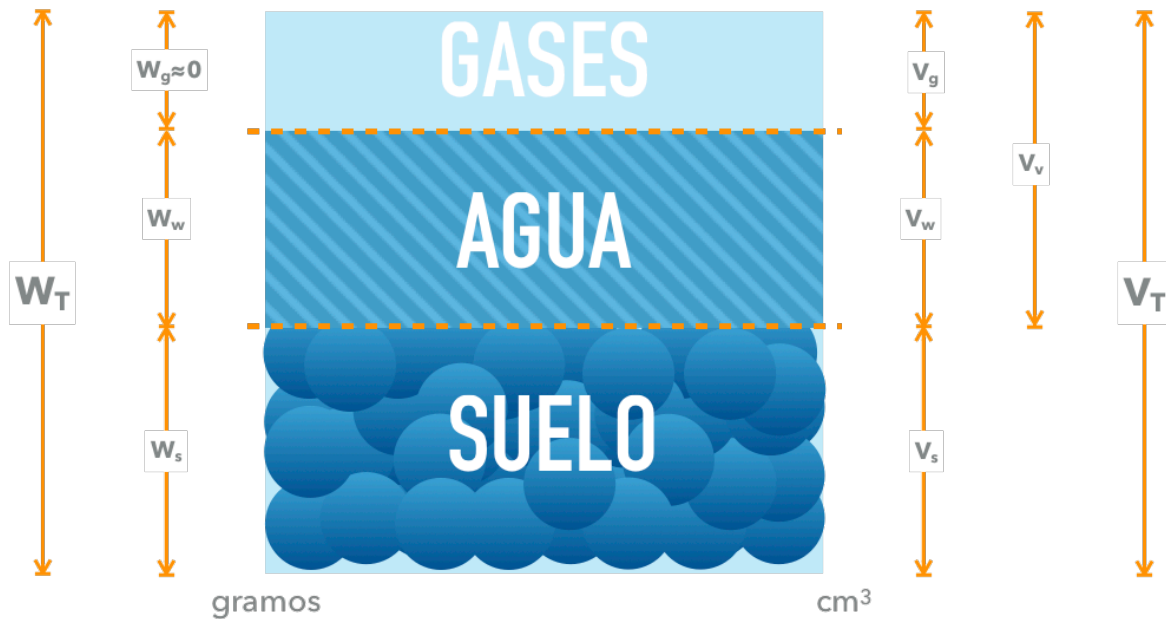


Figura II.F-11: "Fases del suelo".

Donde:

- ▶ W_g [g] = Peso de los gases o del aire contenidos en el suelo, aproximadamente equivalentes a cero.
- ▶ W_w [g] = Peso del agua contenida en el suelo.
- ▶ W_s [g] = Peso de los sólidos
- ▶ W_T [g] = Peso total del suelo.

En dónde:

- ▶ $W_T = \text{Peso de los vacíos } [V_v] + \text{Peso del suelo seco } [V_s]$

Donde:

- ▶ V_g [cm³] = Volumen de los gases o del aire contenidos en el suelo.
- ▶ V_w [cm³] = Volumen del agua contenida en el suelo.
- ▶ V_s [cm³] = Volumen de los sólidos
- ▶ V_v [cm³] = Volumen de los vacíos contenidos en el suelo.
- ▶ V_T [cm³] = Volumen total del suelo.

En dónde:

- ▶ $V_v = V_g + V_w$; y también: $V_s - V_T$
- ▶ $V_T = V_v + V_s$

Aunque también puede presentar solo una fase, cuando está totalmente seco, o bien puede estar compuesto solo por suelo y agua. Obteniendo el *contenido de agua* –en éste caso representado por V_w – de un volumen de suelo conocido, se puede determinar los parámetros restantes.

Al contar con los datos, se pueden obtener otros parámetros del suelo, como ya se menciono, por ejemplo:

▶ **Porosidad [n]**

Es la relación entre volumen de vacíos y el volumen total del suelo, puede ser representado en porcentaje o no.

$$n = \frac{V_v}{V_T} \times 100$$

▶ **Relación de vacíos [e]**

Relación entre el volumen de vacíos entre volumen de sólidos, esta representado por un factor adimensional.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Así mismo, la porosidad y la relación de vacíos están correlacionados entre sí y ambos, al necesitar del volumen de vacíos, necesitan del *contenido de agua* V_w .

Entonces, la porosidad se correlacionará con la relación de vacíos:

$$n = \frac{1}{1 + e} = \frac{V_s}{V_T}$$

Mientras que la relación de vacíos se podrá relacionarse en función de la porosidad de la siguiente manera:

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

La porosidad y la relación de vacíos es un factor que nos ayuda a saber cuánta compresibilidad tiene un material, lo cuál ayuda a saber cuan deformable es un material.

Después de obtener los factores de relación de vacíos y porosidad se recurren a las siguientes tablas para interpretar los resultados:

e	SUELO
≤ 0.25	Arena muy compacta
≤ 0.85	Arena con finos > 12% no plástico. IP ⁷ < 4
≤ 1.00	Arena fina uniforme (granos del mismo tamaño)
≤ 1.20	Limo
≤ 6.00	Arcilla inorgánica de la Ciudad de México con LL ⁸ < 50; IP ⁹ > 7%
≤ 15.00	Arcilla inorgánica altamente compresible

Tabla II.1.T-3. "Relación de vacíos".

n%	MATERIAL
≤ 20%	Arena muy compacta
≤ 90%	Arcilla inorgánica con LL ¹⁰ < 50; IP ¹¹ > 7%
100%	Aire

Tabla II.1.T-2. "Porosidad".

► **Densidad absoluta**

$$D_a = \frac{W_s}{V_s}$$

Donde:

D_a [g/cm³] = Densidad absoluta

También la densidad absoluta puede determinarse al obtener dichos parámetros. Aunque no se necesita directamente el contenido de agua, sí se necesita el volumen de sólidos; al saber cuánta humedad contiene el suelo y su volumen total, se puede saber cuánto es el volumen de sólidos.

► **Peso específico [γ]:**

El *peso específico* es una propiedad que caracteriza a los materiales. Éste se utilizará en diversos cálculos, principalmente para el cálculo de presiones, tales como: presión efectiva o de poro, presión hidrostática y presión total, como se muestra en la *figura II.F-8*. El peso específico, al ser una propiedad sumamente importante del suelo en estudio, también se utilizará en el cálculo de estabilidad de taludes, muros, zanjas, entre otros.

⁷ Ver capítulo III de éste documento.

⁸ Ídem.

⁹ Ídem.

¹⁰ Ídem.

¹¹ Ídem.

El peso específico puede ser:

▶ **Peso específico o volumétrico [γ_m]**

Relación del peso total de los sólidos respecto a su volumen total.

$$\gamma_m = \frac{W_T}{V_T}$$

▶ **Peso específico saturado [γ_{sat}]**

$$\gamma_{sat} = \frac{D_a + e}{V_T}$$

▶ **Peso específico relativo [S_m]**

$$S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_0} = \frac{W_T}{V_T \cdot \gamma_0}$$

▶ **Peso específico de los sólidos o densidad de sólidos [S_s]**

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_0}$$

▶ **Peso específico seco [γ_s]**

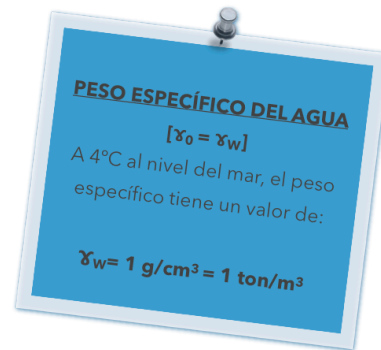
Relación del peso de los sólidos respecto a su volumen total.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_T} = \frac{D_a \cdot V_s}{V_T} = \frac{D_a}{1 + e}$$

▶ **Peso específico sumergido [γ']:**

Peso del material cuando se encuentra bajo el nivel freático (NAF)

$$\gamma' = \frac{W_T}{V_T} - \gamma_0 = \gamma_m - \gamma_0$$



Como se puede observar, en cada caso se utilizan dos o más variantes que componen las *fases del suelo* y por lo tanto, el contenido de agua, directa o indirectamente.

DIAGRAMA DE PRESIONES VERTICALES

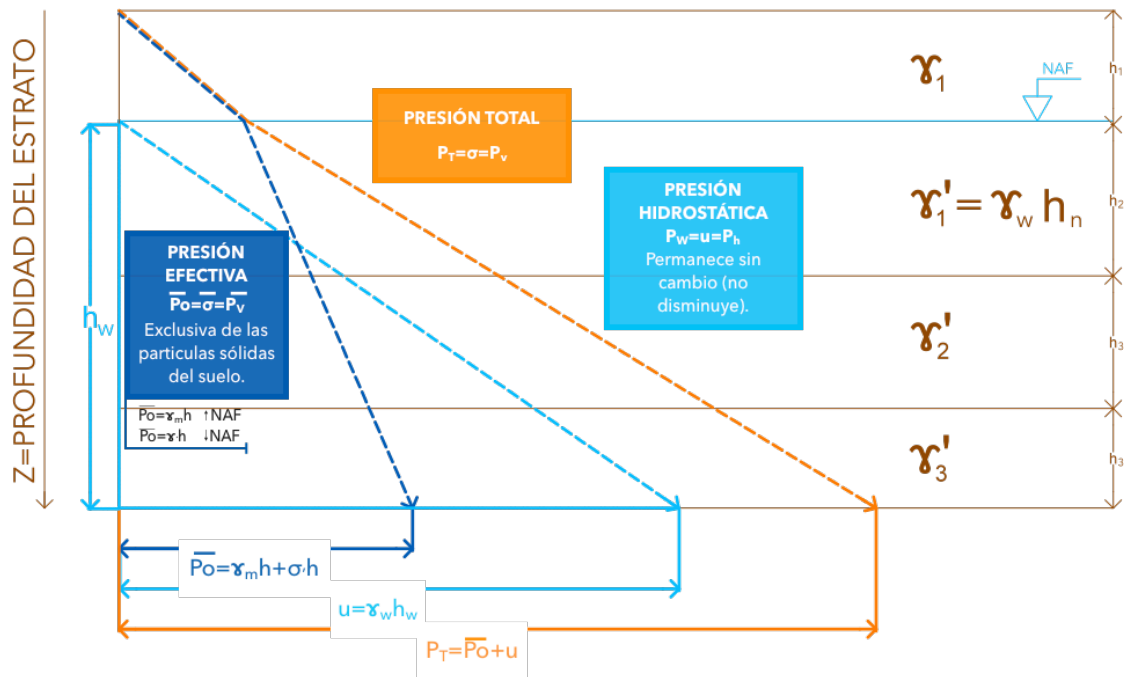


Figura II.F-12: "Diagrama de presiones".

Donde:

- ▶ $\bar{\sigma}$ [ton/m²] = Presión efectiva, arriba el NAF, se utilizará el peso específico del material del estrato, debajo del NAF, se utilizará el peso específico sumergido.
- ▶ u [ton/m²] = Presión de poro, hidrostática o intersticial.
- ▶ σ [ton/m²] = Presión total.
- ▶ h_w [m] = altura desde el nivel freático (NAF), hasta el último estrato en estudio.

Como se puede observar en la figura II.F-12, el *peso específico* se utilizará para cálculos de presiones verticales. Cuando se tiene la altura del NAF¹² y el espesor de los estratos, se pueden obtener las presiones por medio de correlaciones.

¹² El NAF es la abreviatura que se refiere al Nivel de Agua Freático, es decir, el nivel al que se encuentra el agua en el subsuelo.

2.6.1. EJEMPLO DE CORRELACIONES

Entonces, se correlacionará la muestra de suelo ML-1, utilizada en el límite plástico. Obteniendo la relación de las fases del suelo:

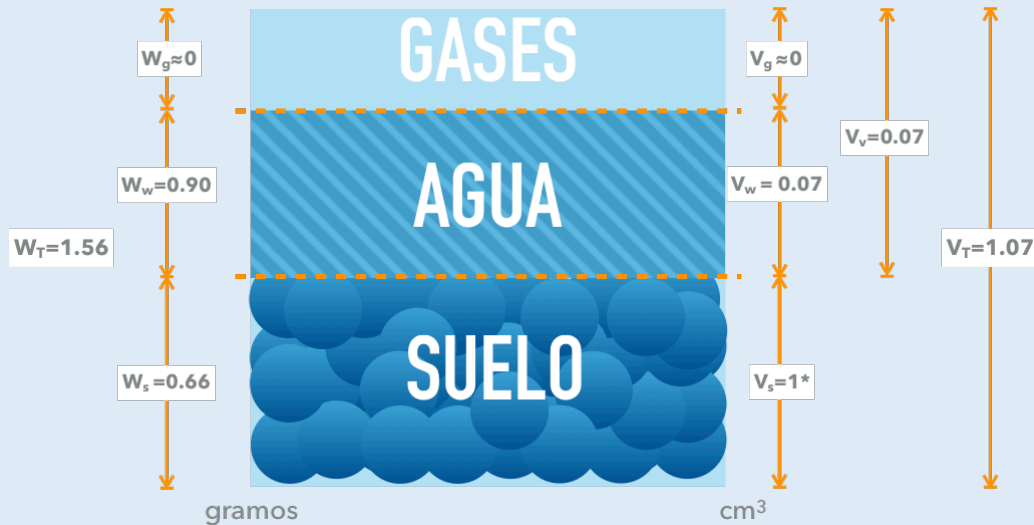
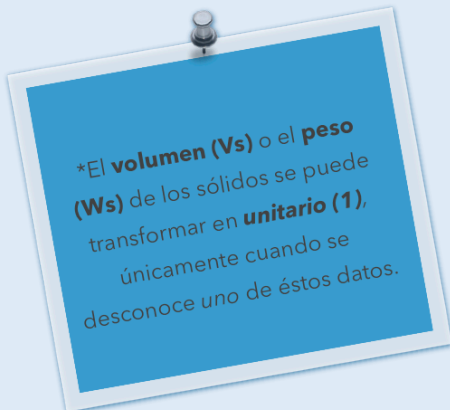


Figura II.F-13: "Fases del suelo, ejemplo".

Haciendo los cálculos correspondientes:



- ▶ Porosidad:

$$n = \frac{V_v}{V_T} \times 100 = \frac{0.07}{1.07} \times 100 = \mathbf{6.5\%}$$

Porosidad $n=6.5\%$, correspondiente a una arena muy compacta

- ▶ Relación de vacíos:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.07}{1} = \mathbf{0.07}$$

Relación de vacíos $e=0.07$, correspondiente a una arena muy compacta.

Correlacionando porosidad con la relación de vacíos:

$$n = \frac{1}{1 + e} = \frac{1}{1 + 0.07} = \mathbf{0.93}$$

Correlacionando relación de vacíos con la porosidad:

$$e = \frac{n}{1 - n} = \frac{0.065}{1 - 0.065} = \mathbf{0.07}$$

► Densidad absoluta:

$$D_a = \frac{W_s}{V_s} = \frac{0.66}{1} = \mathbf{0.66 \text{ g/cm}^3}$$

► Peso específico [γ]:

Peso específico o volumétrico [γ_m]

$$\gamma_m = \frac{W_T}{V_T} = \frac{1.56}{1.07} = \mathbf{1.46 \text{ g/cm}^3}$$

Peso específico seco [γ_s]

Resolviendo con todas las fórmulas:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_T} = \frac{0.66}{1.07} = \mathbf{0.62 \text{ g/cm}^3}$$

$$\gamma_s = \frac{D_a \cdot V_s}{V_T} = \frac{0.66 \cdot 1}{1.07} = \mathbf{0.62 \text{ g/cm}^3}$$

$$\gamma_s = \frac{D_a}{1 + e} = \frac{0.66}{1 + 0.07} = \mathbf{0.62 \text{ g/cm}^3}$$

Peso específico relativo [S_m]

Resolviendo con todas las fórmulas:

$$S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_0} = \frac{1.46}{1} = \mathbf{1.46 \text{ g/cm}^3}$$

$$S_m = \frac{W_T}{V_T \cdot \gamma_0} = \frac{1.56}{1.07 (1)} = \mathbf{1.46 \text{ g/cm}^3}$$

Peso específico saturado [γ_{sat}]

$$\gamma_{sat} = \frac{D_a + e}{V_T} = \frac{0.66 + 0.07}{1.07} = \mathbf{0.68 \text{ g/cm}^3}$$

Peso específico sumergido [γ']

Resolviendo con todas las fórmulas:

$$\gamma' = \frac{W_T}{V_T} - \gamma_0 = \frac{1.56}{1.07} - 1.0 = \mathbf{0.46 \text{ g/cm}^3}$$

$$\gamma' = \gamma_m - \gamma_0 = 1.46 - 1 = \mathbf{0.46 \text{ g/cm}^3}$$

Peso específico de los sólidos o densidad de sólidos [S_s]

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} = \frac{0.62}{1} = \mathbf{0.62 \text{ g/cm}^3}$$

$$S_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_0} = \frac{0.66}{1 \cdot 1} = \mathbf{0.66 \text{ g/cm}^3}$$

2.7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El resultado obtenido debe variar entre el 300% al 600%, que corresponde a las arcillas orgánicas de la Ciudad de México, es decir que el contenido de agua será mayor al contenido del suelo en una muestra. En la *tabla II.1.T-2* se muestran los parámetros según cierto tipo de suelos:

W%	SUELO
≤ 19%	Arena densa o compacta
19% - 40%	Arcilla glacial o saturado
40% - 200%	Arcilla bentonítica
300% - 600%	Arcilla inorgánica CD. México
1000%	Arcilla inorgánica altamente saturadas

Tabla II.1.T-2. "Clasificación del suelo según su contenido de agua".

2.8 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

En el perfil estratigráfico¹³, el contenido de agua se representa con el símbolo "●" y se coloca en el apartado como se muestra en la *figura II.F-7*:

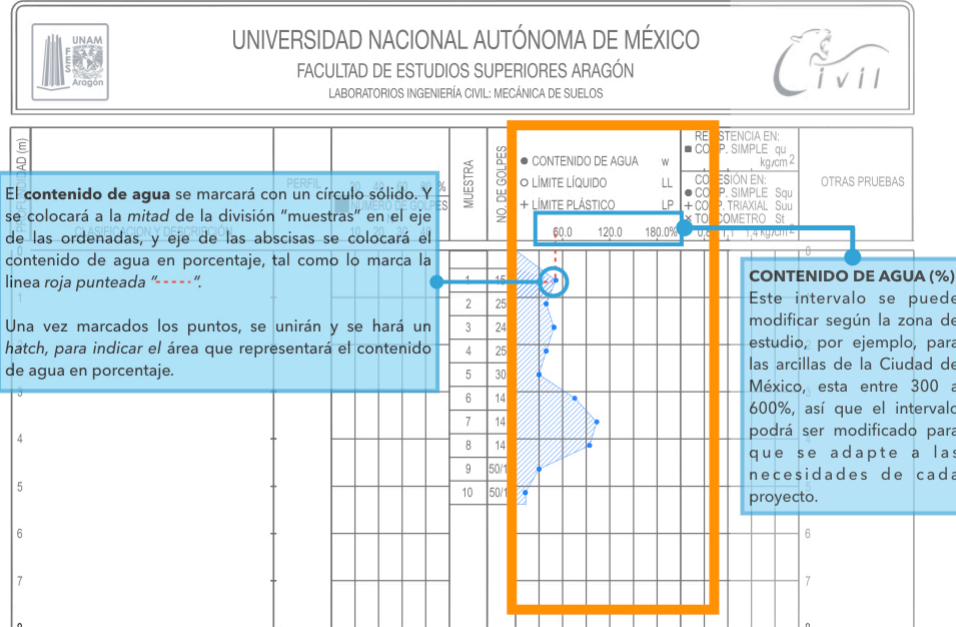


Figura II.F-9: "Ejemplo Perfil Estratigráfico Contenido de Agua."

13 NOTA: Éste perfil no representa los resultados obtenidos en el capítulo.

2.9 CONCLUSIONES

Se debe saber, que del contenido de agua depende la consistencia de los suelos, los llamados “*limites de consistencia*”, que se verán en el *capítulo III* de éste capítulo, están ligados con el contenido de humedad y también ayudarán a la clasificación del suelo.

Entonces, al obtener el contenido de agua se puede tener una idea del comportamiento del suelo, ya que a mayor contenido de humedad, mayor deformabilidad, ya que cuando el suelo expulse o pierda toda la humedad que contiene, los espacios que antes fueron llenos de agua serán ocupados por un vacío, el cual será llenado por el suelo cuando una fuerza externa lo obligue a llenar esos espacios.

Por ello, la determinación correcta de contenido de agua será muy eficaz para suelos con alto contenido de agua, como el caso del suelo de la zona III, que es donde encuentra la F.E.S. Aragón.

El suelo estudiado en éste caso se clasificará, de acuerdo a sus correlaciones, de la siguiente forma:

Arcilla bentonítica con arena muy compacta

INSTRUCTIVO PARA UTILIZAR EL FORMATO CONTENIDO DE AGUA

Los reportes deberán contener toda la información acerca del Sondeo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
 LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL- GEOTECNIA



CONTENIDO DE AGUA

OBRA: Prácticas de laboratorio de mecánica de suelos LOCALIZACIÓN: Nezahualcoyotl, Edo. Méx SONDEO: SM	LABORATORISTA: Juan Pérez FECHA DE INICIO: 08/03/18 FECHA DE TÉRMINO: 09/03/18
---	---

SM=Sondeo Mixto

En algunas ocasiones se realizan tres pruebas de cada muestra. (Ver figura I.1.F-8).

Se coloca la identificación de la muestra. (Ver figura I.1.F-8).

TUBO SHELBY	PROFUNDIDAD		NO. DE CAPSULA	PESO CAPSULA (g)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (g)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	PESO DEL AGUA (g)	PESO DEL SUELO SECO (g)	M _s - Sección superior M _m - Sección media M _i - Sección inferior
	m	PROF'							
SM 1 - M1	1.60	1.07	-1.33						

Profundidad a la que se extrajo la muestra. El promedio de ésta se obtiene para graficar contenido de agua vs. profundidad.

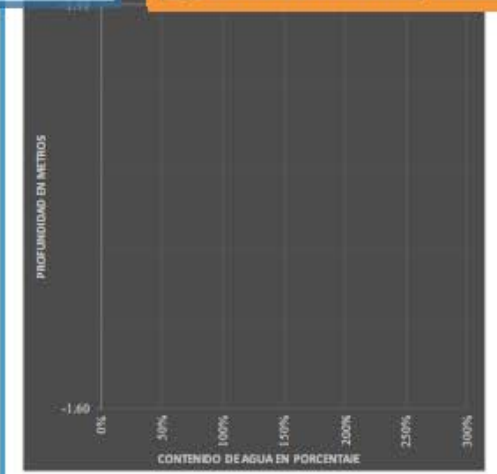
Se realizarán los cálculos de acuerdo a lo que indica cada columna.

24 horas después

CONTENIDO DE AGUA % $W \% = \frac{W_w}{W_s} (100)$	OBSERVACIONES/ CLASIFICACIÓN

Contenido de agua en porcentaje.

Breve descripción de la muestra, o clasificación de acuerdo a la tabla



Grafica del contenido de agua VS. Profundidad.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL: GEOTECNIA



CONTENIDO DE AGUA

OBRA: _____
 LOCALIZACIÓN: _____
 SONDEO: _____

LABORATORISTA: _____
 FECHA DE INICIO: _____
 FECHA DE TÉRMINO: _____

24 horas después

TUBO SHELBY	PROFUNDIDAD		NO. DE CAPSULA	PESO CAPSULA (g)	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (g)	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	PESO DEL AGUA (g)	PESO DEL SUELO SECO (g)
	m	PROF		C	$W_h = C + S_h$	$W_{ss} = C + S_c$	$W_w = W_h - W_{ss}$	$W_s = W_{ss} - C$
	a.							
	a.							
	a.							

CONTENIDO DE AGUA % $W \% = \frac{W_w}{W_s} (100)$	OBSERVACIONES/ CLASIFICACIÓN





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL: GEOTECNIA



CONTENIDO DE AGUA

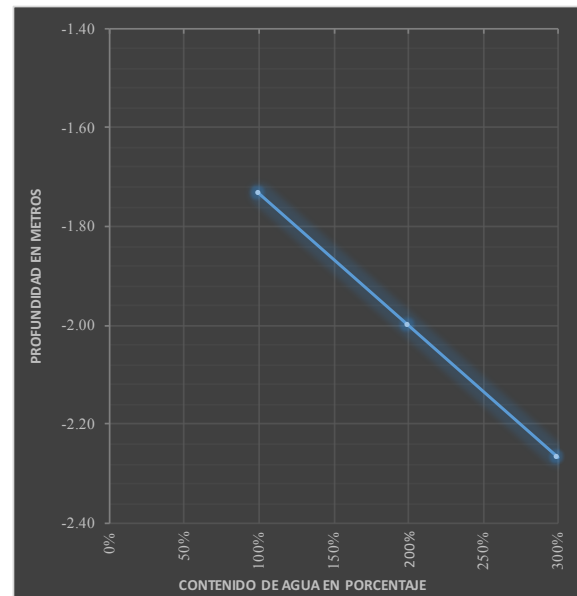
OBRA: Prácticas de laboratorio de mecánica de suelos
 LOCALIZACIÓN: Nezahualcoyotl, Edo. Méx
 SONDEO: SM

LABORATORISTA: Juan Pérez
 FECHA DE INICIO: 08/03/18
 FECHA DE TÉRMINO: 09/03/18

TUBO SHELBY	PROFUNDIDAD				NO. DE CAPSULA	PESO CAPSULA (g) C	PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (g) Wh=C + Sh	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g) Wss=C + Sc	PESO DEL AGUA (g) Ww=Wh-Wss	PESO DEL SUELO SECO (g) Ws=Wss-C
	m		PROF							
SM 1- M1	1.60	a	1.87	-1.73	59	47.17	49.60	48.2	1.40	1.03
SM 1- M12	1.87	a	2.13	-2.00	18	47.14	48.70	47.8	0.9	0.66
SM 1- M13	2.13	a	2.40	-2.27	35	26.35	28.10	27.09	1.01	0.74

24 horas después

CONTENIDO DE AGUA % $W \% = \frac{W_w}{W_s} (100)$	OBSERVACIONES/ CLASIFICACIÓN
135.92%	C Bentonítica
136.36%	C Bentonítica
136.49%	C Bentonítica



CAPÍTULO III: LÍMITES DE CONSISTENCIA

"Esencialmente, la prueba de límite de líquido es una medida de la resistencia viscosa o la resistencia al corte de un suelo que es tan suave que se aproxima al estado líquido. El impacto de la copa llena de suelo en la base induce un estrés dinámico en el suelo que resulta en cortante y forma un deslizamiento de tierra en miniatura en las paredes inclinadas de la ranura. Si bien un "deslizamiento de tierra" puede ser una medida de la resistencia al corte del suelo, en el mejor de los casos es tosco; ciertamente, algún método más directo sería más consistente".

- "Fall Cone Method Used to Determine The Liquid Limit of Soil", DeWayne A. Cambell and Jav W. Blackford. (Ago. 1984)

LÍMITES DE CONSISTENCIA

NOMENCLATURA:

LL o W_L

(Límite Líquido)

LP o W_P

(Límite Plástico)

CL

(Contracción lineal)



TIEMPO ESTIMADO DE PRUEBA:
28 horas



PRUEBA EN:
Laboratorio



MATERIAL A IMPRIMIR/CONSULTAR:

- ▶ Formato III.A-5
- ▶ Gráfica III.B-3
- ▶ Tabla II.B-1
- ▶ Figura III.B-4
- ▶ Tabla III.B-2
- ▶ Esquema III. C-2

3.1 ANTECEDENTES

Los límites de consistencia son una propiedad única que suelos finos presentan y dependen directamente de su contenido de agua. Se le llaman así debido a que representan el porcentaje que marca el fin de un estado a otro, en relación con su contenido de humedad.

El límite líquido y el límite plástico fueron propuestos por el reconocido científico sueco quién en 1877 fuera nombrado director de la *Chemical Station and Seed Control Institution, Albert Attenberg*. Los límites pueden ser parte de las especificaciones para controlar el comportamiento de los suelos en obras tales como terraplenes o zanjas. También se utiliza para hacer una estimación general del comportamiento del suelo en estudio, para un proyecto.

En éste documento, se muestra el procedimiento para obtener el límite líquido, límite plástico y la contracción lineal, sin embargo, con la información obtenida se podrán obtener otros parámetros como el índice de plasticidad, el índice de tenacidad y el índice de fluidez. En seguida se explicará lo que representa cada uno de ellos.

3.1.1. LÍMITE LIQUIDO

En este límite, el suelo se encuentra a un paso de contraer una consistencia viscosa, con contenido de agua tal que su resistencia al esfuerzo cortante (σ) es de 25 gr/cm²

3.1.2. ÍNDICE DE FLUIDEZ

Define la consistencia que tiene el suelo en cuestión.

3.1.3. LÍMITE PLÁSTICO

La *plasticidad* es la propiedad que tiene el suelo para deformarse sin rebote, sin desmoronarse ni agrietarse o fallar, tampoco presenta variación volumétrica apreciable. Podemos saber que el suelo ha llegado a su límite, es decir está cambiando de un estado semi-sólido a uno plástico cuando éstas características comienzan a notarse (se agrieta y comienza a desmoronarse) (*Figura III.F-1*). “El límite plástico permite distinguir entre un suelo plástico, una arcilla, por ejemplo, y otro no plástico, como un limo.” (Tamez, Santoyo, Mooser, & Gutierrez, 1987).

3.1.4. ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad es aquel punto en un intervalo en el que se encuentra un suelo según su comportamiento plástico, de acuerdo al *contenido de agua*.

3.1.5. ÍNDICE DE LÍQUIDEZ

El índice de liquidez nos ayuda a determinar si el suelo está preconsolidado, es decir que ha sido sometido a cargas. Esto se debe a que éste índice nos proporciona información acerca de su historial de esfuerzos. El índice de liquidez se encargará de definir la posición en la que se encuentra el suelo, dentro del rango plástico.

3.1.6. CONTRACCIÓN LINEAL

La contracción lineal proporciona información aproximada de cuánto volumen se contraerá un suelo por la disminución de humedad.

3.1.7. LÍMITE DE CONTRACCIÓN

En este punto el suelo tiene un contenido de agua tal que, si ésta se reduce, el suelo no cambiará su volumen. El límite de contracción nos indicará cuánta agua es necesaria para saturar un suelo, que previamente se contrajo por secado.

3.1.8. ÍNDICE DE TENACIDAD

Es la relación entre el índice plástico y el índice de fluidez. Su valor normalmente se encuentra en un rango del 1 al 3. Sólo en ocasiones excepcionales alcanza valores menores a 10.

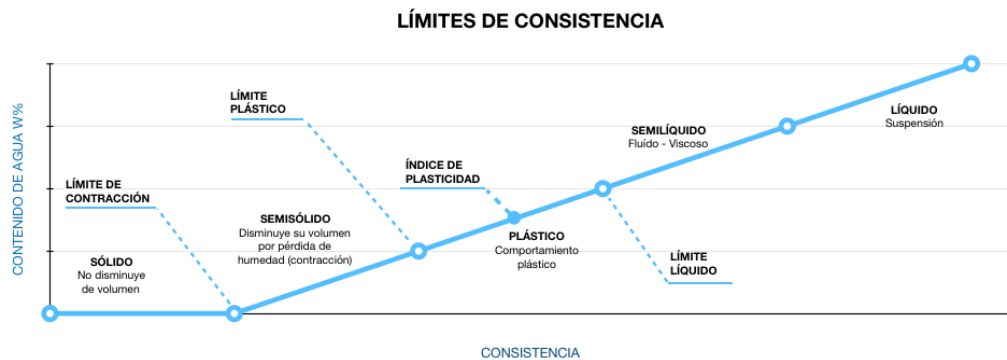


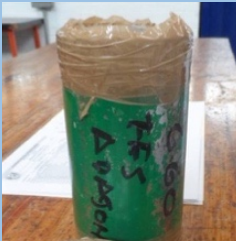


Figura III.F-1: Límites de consistencia".




3.2 OBJETIVOS

- ▶ Enseñar al alumno *aragonés* a determinar los límites de consistencia en las muestras previamente extraídas en la exploración del suelo de la F.E.S. Aragón, por medio del sondeo mixto.
- ▶ Aprender nuevas técnicas de obtención del límite líquido, con ayuda del cono de penetración.
- ▶ El estudiante también aprenderá a clasificar el suelo, según su consistencia.

- ▶ Aprenderá a distinguir un suelo *plástico*, el cual es propio de la Zona de Lago en la cual se encuentra el objeto de estudio.
- ▶ Aprenderá a identificar e interpretar los *límites líquido y plástico* en un perfil estratigráfico.

3.3 EQUIPO Y MATERIALES

EQUIPO/MATERIAL	ESPECIFICACIONES
<p>Material (espécimen)</p>  <p>Figura III.F-2: "Muestra".</p>	<p>La muestra de suelo debe cumplir con las especificaciones indicadas en el inciso II.4, según la <i>tabla II.T-2</i>.</p>
<p>Placa de vidrio</p>  <p>Figura III.F-3: "Vidrio".</p>	<p>Debe ser resistente y fina. Sus dimensiones: 30x40 cm (aproximadamente)</p>
<p>Espátula</p>  <p>Figura III.F-4: "Espátula de lápiz".</p>	<p>Su hoja debe ser delgada y firme. Dimensiones sugeridas: 2x7 cm. También se puede utilizar una hoja de abanico, que por ser más ancha, será más efectiva para remoldear la muestra.</p>

LÍMITE LÍQUIDO	Cono de penetración libre  Figura III.F-5: "Cono inglés".	Cono de acero con masa de 60 g y punta con ángulo de 60°. (Ver esquema III.C-2)
	Recipiente  Figura III.F-6: "Copa de remoldeo ".	El material es irrelevante, sin embargo, deberá ser adecuado para moldear y contener el suelo que se ensayará.
ÍNDICE DE CONTRACCIÓN	Molde de contracción lineal  Figura III.F-7: "Molde de contracción lineal".	Deberá ser de un material resistente, como el acero. Sus dimensiones deberán ser: 2x2x10 cm

3.4 PROCEDIMIENTO

La obtención de las muestras de consistencia, se realiza *siempre* en el siguiente orden:

1. Se realiza el experimento el *límite líquido*, en éste caso con cono de penetración estándar, aunque también se puede realizar con la copa de Cassagrande.
2. Se efectúa la prueba el límite de consistencia con la misma muestra que se obtuvo el límite líquido.
3. Finalmente, se realiza la prueba del límite de contracción.

Entonces, de acuerdo a la premisa anterior, se comienza a realizar las pruebas:

3.4.1. PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL LÍMITE LÍQUIDO

Existen dos formas de obtener el límite líquido: por el procedimiento de la *copa casagrande* y con el *cono de penetración libre*. En este caso, lo obtendremos mediante el segundo:

1. **Preparación el espécimen:** se debe acumular suelo suficiente para llenar completamente la copa de remoldeo. Se dividirá en cuatro porciones, que corresponderán a las cuatro pruebas, que a su vez, se realizarán tres penetraciones por cada porción. En el ejemplo se le llamarán: *SM-1-M1*, *SM-1-M2*, *SM-1-M3*, *SM-1-M4*.



Figura III.F-8

2. Se colocará el espécimen en la *copa de remoldeo* (recipiente) con ayuda de la espátula de lápiz. Este deberá quedar al ras de la misma y se aplicarán leves golpes para evitar el aire contenido, llenando cada posible hueco.

3. El brazo se deberá bajar lo más cercano posible a la copa de remoldeo, cuidando que el cono no toque a la misma, como se muestra en la *figura III.F-9*
4. Se tomará una lectura inicial (L_i), antes de dejarse caer, presionando el el botón [1]. Ésta se anotará en el la columna L_i del apartado *límite líquido*, del *formato II.A-5* correspondiente al tema, que se encuentra al final de éste capítulo.
5. Posteriormente, se dejará caer el cono, presionando el botón [2] e inmediatamente tomando y

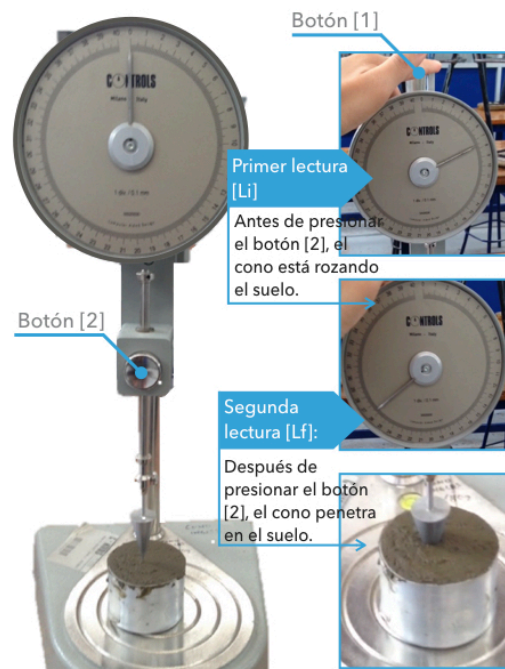


Figura III.F-9

anotando la segunda lectura (L_f),
 en el *Formato II.A-5*.

6. Se verificará que esta lectura (L_{1a}) no sea mayor a los 15 mm, ni menor a 8 mm,

$$8 \text{ mm} \leq L_{1a} \leq 15 \text{ mm}$$

Entonces, en la práctica hecha en la F.E.S. Aragón, con la muestra de suelo obtenida en un Tubo Shelby, se obtuvo lo siguiente para la primer lectura:

LÍMITE LÍQUIDO					
MUESTRA	PROF. [m]	PENETRACIÓN DEL CONO i [mm]			CONTENIDO DE AGUA [LL]
		L_i	L_f	L_n	LL
SM-1-M1a	1.6-2.4	26.4	33.6	7.2	
SM-1-M1b					
SM-1-M1c					

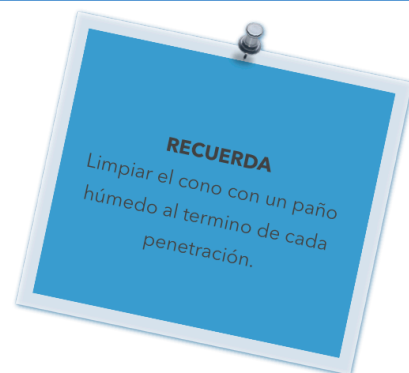
Fig. III-a

Como se puede observar, la primer lectura " L_n , de M 1a" en la hoja de cálculo nos marca la celda con rojo¹, ya que ésta dato no entra en el intervalo indicado anteriormente, la diferencia de la lectura $L_f - L_i$ es de 7.2 mm, menor a 8 mm, que es lo mínimo requiere, por lo tanto, se procederá a realizar lo indicado en el paso siguiente.

7. Se retirará todo el suelo del recipiente –o copa de remoldeo– y se agregará o quitará agua de la siguiente forma:

Si $L_{1a} > 15 \rightarrow$ reducir contenido de agua

Si $L_{1a} < 8 \rightarrow$ agregar agua



¹ Las hojas de cálculo, descargables que se encuentran en el link: <http://bit.ly/2t0wgvn>, marcarán las celdas con rojo cuando se deba corregir y revisar y corregir los datos obtenidos.

Continuando con la premisa anterior, se agrega un poco de agua, ya que $L_n=7.2$, tentativamente, se realizan diversas pruebas hasta estabilizar la muestra de suelo y que ésta no sobrepase la lectura final de 15, pero tampoco que sea menor a 8.

- Este proceso se repetirá al menos tres veces por cada porción de muestra en la que se haga la prueba, con una tolerancia de ± 2 mm entre sí, (es decir si la lectura $L_{1a}=12\text{mm}$, entonces L_{1b} y L_{1c} podrían tener una lectura de 10mm o 14mm, respectivamente). Si este dato varía por 1 mm más o 1 mm menos, (si L_{1b} y L_{1c} reflejaran un valor de 9mm o 15mm) se deberá repetir la prueba, agregando agua o quitando². Estos datos se deberán anotar en el Formato II.A-5, como se muestra en el ejemplo.

LÍMITE LÍQUIDO					
MUESTRA	PROF.	PENETRACIÓN DEL CONO i [mm]			CONTENIDO DE AGUA [LL]
	[m]	L_i	L_f	L_n	LL
M1-L1-a	1.6-2.4	25.2	39.0	13.8	
M1-L1-b		25.2	38.9	13.7	
M1-L1-c		25.2	39.0	13.8	

Como se puede observar, la diferencia entre las lecturas de la misma muestra no fue mayor a los 2 mm, entonces, los datos son correctos. Si esto hubiera diferido, la prueba se tendría que repetir, como se indica en el paso 10.

Fig. III-b

- Los pasos 1 a 10 se deberán repetir al menos tres veces, agregando o quitando agua, con la finalidad de obtener diferentes puntos y poder graficar.

En la práctica que se realizó para este trabajo se hicieron cuatro veces. Se agregó suelo seco en cada ocasión, remoldeándolo perfectamente cada vez, para obtener finalmente, los siguientes resultados:

² Se puede quitar agua remoldeando la muestra, agregando suelo, o bien con un papel poroso, siempre y cuando este no deje residuos.

MUESTRA	PROF.	PENETRACIÓN DEL CONO i [mm]			CONTENIDO DE AGUA [LL]
	[m]	L _i	L _f	L _n	LL
M1-L1-a	1.6-2.4	25.2	39.0	13.8	
M1-L1-b		25.2	38.9	13.7	
M1-L1-c		25.2	39.0	13.8	
M1-L2-a	1.6-2.4	27.9	39.9	12.0	
M1-L2-b		27.9	40.0	12.1	
M1-L2-c		27.9	40.0	12.1	
M1-L3-a	1.6-2.4	11.2	22.3	11.1	
M1-L3-b		11.2	22.1	10.9	
M1-L3-c		11.2	22.3	11.1	
M1-L4-a	1.6-2.4	12.6	22.0	9.4	
M1-L4-b		12.6	22.1	9.5	
M1-L4-c		12.6	22.2	9.6	

Fig. III-c

ASPECTOS A CONSIDERAR:

Para cada prueba el cono deberá estar totalmente limpio y libre de residuos, de lo contrario los resultados saldrán erróneos. Además, esta prueba debe ser realizada o supervisada por una persona que este familiarizada con la prueba, ya que el peso y la caída del cono también influyen en los resultados y de esto depende que sean confiables o no.

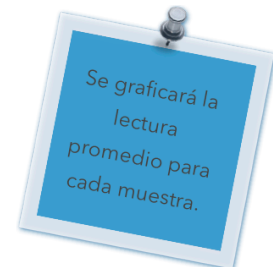
3.4.1.1. CÁLCULOS PARA OBTENER EL LÍMITE LÍQUIDO

Una vez concluida la práctica, se procederá a obtener el límite líquido, el cual será el equivalente al promedio de su contenido de agua.

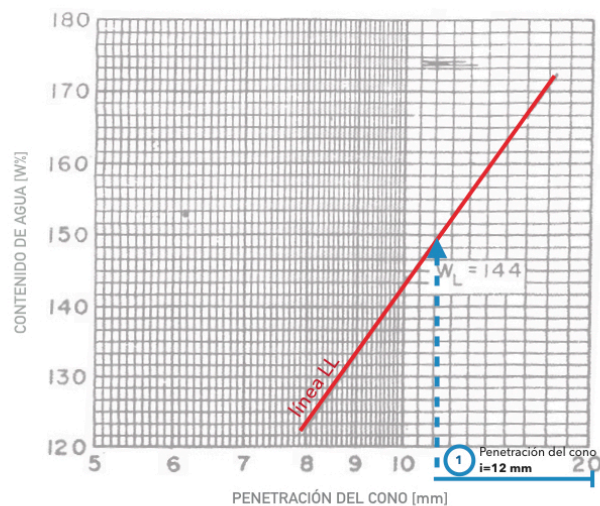
Este dato se obtendrá fácilmente, graficando el promedio de los puntos obtenidos en cada lectura.

Wi se encontrará de la siguiente manera, suponiendo que se obtuvo una penetración de 12 mm para la primer prueba:

1. Se localizará la gráfica III.B-3, ubicada al final del capítulo.



2. En el eje de las *absisas* (penetración del cono) se ubicará la medida en milímetros de la penetración que se haya tenido, posteriormente se subirá con dirección al eje de las *ordenadas* (*contenido de agua w%*). Hasta llegar a la roja línea marcada. Como se muestra en la *fig. III-d*.



3. Posteriormente, se trazará una línea horizontal imaginaria, la cual llegará al eje de las Y, indicándonos en *contenido de agua w%*

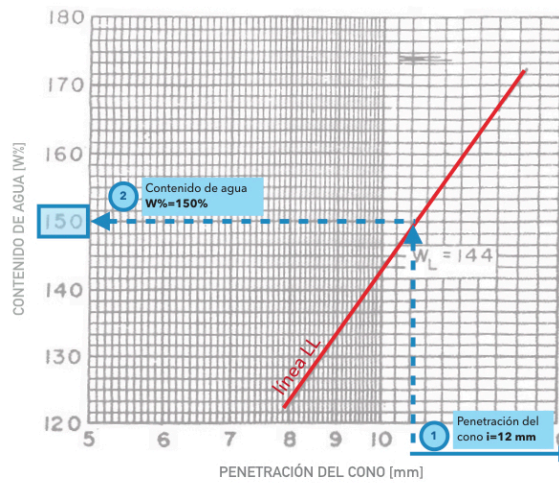


Fig. III-e

4. Se repetirá el mismo procedimiento para cada muestra, graficando cada punto.

El ejemplo en el que se ha estado trabajando, se graficó de la siguiente manera:

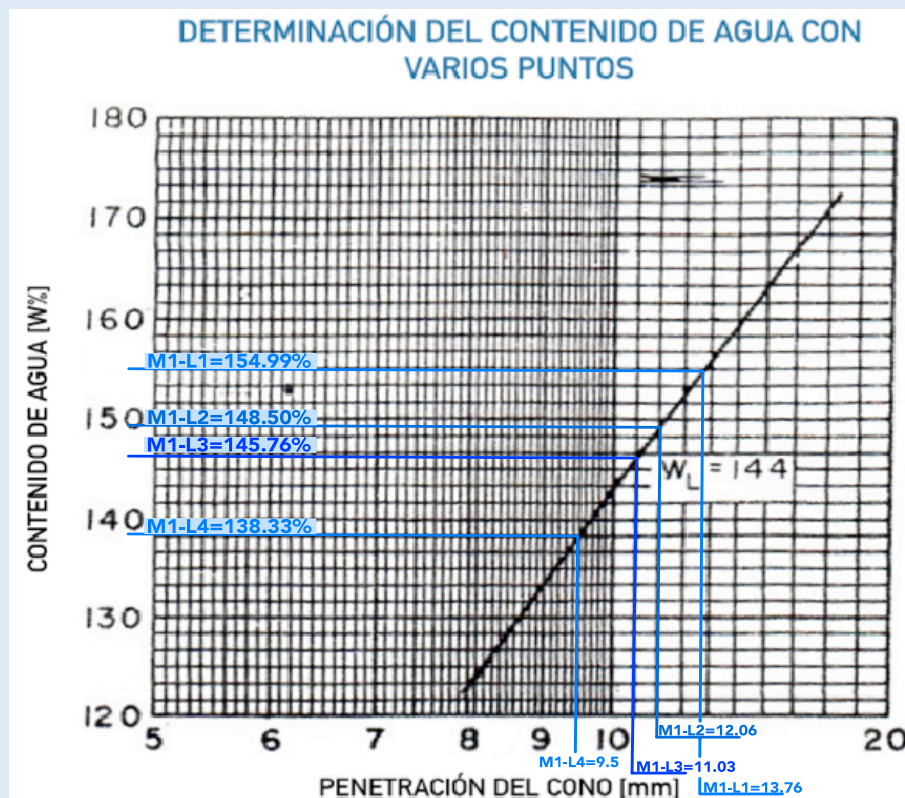


Fig. III-f

Después de haber graficado los puntos y localizado el contenido de agua, se anotará en el *Formato II.A-5*:

MUESTRA	PROF.	PENETRACIÓN DEL CONO i [mm]			CONTENIDO DE AGUA [LL]
	[m]	L _i	L _r	L _u	LL
M1-L1-a	1.6-2.4	25.2	39.0	13.8	166%
M1-L1-b		25.2	38.9	13.7	
M1-L1-c		25.2	39.0	13.8	
M1-L2-a	1.6-2.4	27.9	39.9	12.0	149%
M1-L2-b		27.9	40.0	12.1	
M1-L2-c		27.9	40.0	12.1	
M1-L3-a	1.6-2.4	11.2	22.3	11.1	146%
M1-L3-b		11.2	22.1	10.9	
M1-L3-c		11.2	22.3	11.1	
M1-L4-a	1.6-2.4	12.6	22.0	9.4	138%
M1-L4-b		12.6	22.1	9.5	
M1-L4-c		12.6	22.2	9.6	

Fig. III-g

3.4.2. OBTENCIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

El límite plástico se obtiene justo después de obtener el límite líquido, ya que esta prueba se realiza con la misma muestra de suelo utilizada previamente.

1. Se toma una porción aproximada de 20 a 40 g del mismo espécimen utilizado en la prueba *límite líquido*. Se remoldea y se extiende sobre la placa de vidrio. Con ello, el suelo comenzará a perder agua.



Figura III.F-10

-
2. El suelo se seguirá extendiendo con la ayuda de la espátula hasta que su consistencia deje de ser pegajosa, pero lo suficientemente húmeda para considerarse plástica.

-
3. El suelo extendido se dividirá en tres partes.

4. Con cada parte, con ayuda de la palma de la mano, se comenzará a hacer un cilindro, hasta que llegue a 3 mm de diámetro y 15 cm de largo; se tomará como base el alambre azul que se muestra en la *figura III.F-11*. El cilindro deberá seguir en movimiento hasta que este comience a agrietarse e incluso a disgregarse y se colocarán todas las partes en un vidrio de reloj y se pesará.



Figura III.F-11

ASPECTOS A CONSIDERAR:

Si el cilindro de suelo no sufre ningún cambio, podrá moldearse a modo de esfera y posteriormente volver a formar el cilindro. Esto se hace con la finalidad de que pierda agua más

rápido. También se puede envolver en un papel limpio, siempre y cuando éste no deje residuos en el espécimen.

- Una vez que se obtienen las 3 partes disgregadas, se procederá a obtener su contenido de agua, tal cual se vio en el **inciso II.1 Contenido de Agua**, de éste capítulo. Y se registrará en el *formato III.A-4*, en el apartado “límite plástico”, en las columnas pertinentes

ASPECTOS A CONSIDERAR:

En la columna “peso corregido c” se deberá colocar la fórmula perteneciente a la balanza en la que se haya pesado.

En los rollos hechos en la práctica de laboratorio se obtuvieron los siguientes pesos:

No. De VIDRIO	PESO DEL VIDRIO (g)		PESO VIDRIO + SUELO HÚMEDO (g)	
	PESO	PESO CORREGIDO "C"	$W_h = C + S_h$	PESO CORREGIDO
59	47.17	47.1669	49.60	49.5964
18	47.14	47.1369	48.70	48.6966
35	26.35	26.3510	28.10	28.1007

Fig. III-h

Obsérvese que se corrigió cada peso obtenido.

Vidrios de reloj colocados en el horno, con el molde de límite de contracción.



Figura III.F-12

Rollos de suelo 24 horas después de secado al horno.

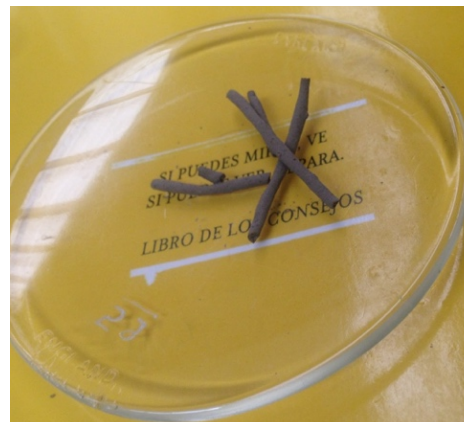


Figura III.F-13

Después de 24 horas de secado en el horno de convección los rollos hechos en la práctica de la F.E.S. Aragón obtuvieron los siguientes pesos:

PESO VIDRIO + SUELO SECO (g)		PESO DEL SUELO SECO (g)	PESO DEL AGUA (g)	CONTENIDO DE AGUA %
$W_{ss}=C + S_c$	PESO CORREGIDO	$W_s=C - S_c$	$W_w=W_h-W_{ss}$	$W \% = \frac{W_w}{W_s} (100)$
48.2	48.1967	1.03	1.40	135.92%
47.8	47.7967	0.66	0.90	136.36%
27.09	27.0909	0.74	1.01	136.49%

Fig. III-i

3.4.2.1. CÁLCULOS PARA OBTENER EL LIMITE PLÁSTICO

El límite plástico se obtiene a través del contenido de agua promedio de una muestra.

En éste caso, el límite plástico obtenido de la muestra en estudio, fue el siguiente:

$$LP = \frac{135.92 + 136.36 + 136.39}{3} = 136.26\%$$

3.4.3. PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL LÍMITE DE CONTRACCIÓN LINEAL

Después de obtener el límite plástico, se hará el experimento para obtener el límite de contracción, que es el que requerirá de mayor cantidad de agua³ para realizarlo y será el más sencillo de los tres ensayos.

1. Se toma una muestra de suelo de aproximadamente 200 g. y se altera su contenido de agua, este debe ser mayor al que se utilizó en el ensaye para obtener el *límite líquido* (inciso 3.4.1).

³ Se requiere mayor contenido de agua debido a que el suelo debe estar completamente moldeable y abarcar cada hueco del molde de contracción lineal.



Figura III.F-14

2. Se coloca el suelo en el recipiente de acero. Se deberá de hacer de forma paulatina para evitar las burbujas, dándole golpes y enrasando con ayuda de una espátula. Éste deberá quedar perfectamente enrasado.

3. Se registrará el largo ya conocido del molde en el *Formato II.A-5*, en el apartado “límite de contracción” y se secará en el horno de convección, junto con los rollos de suelo, durante 24 horas.

4. Después de 24 horas, se medirá el largo del suelo, verificando cuánto fue lo que éste se redujo.

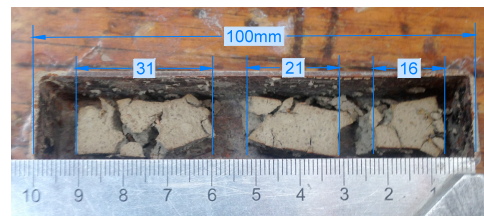


Figura III.F-15

3.4.3.1. CÁLCULOS PARA OBTENER EL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

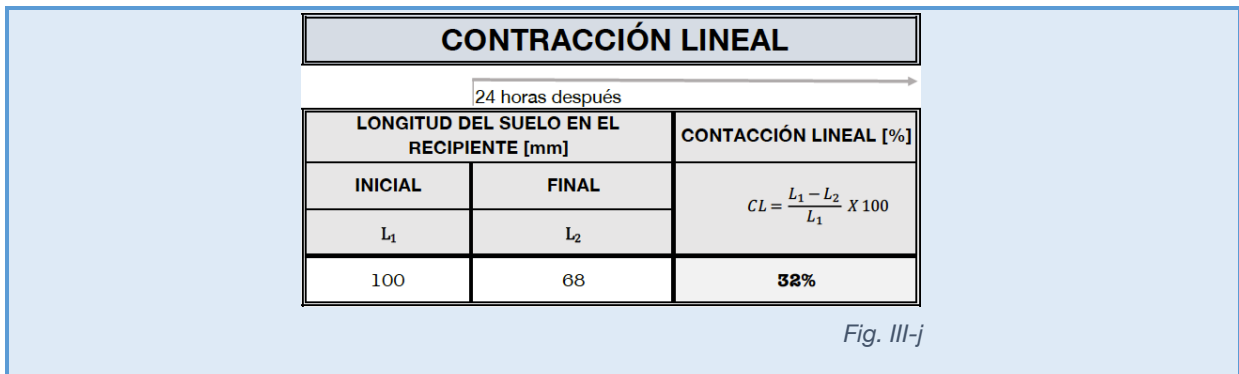
CONTRACCIÓN LINEAL

$$CL = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \cdot 100$$

Donde:

- ▶ **LC [%]** = Límite de contracción
- ▶ **L₁ [mm]** = Longitud del suelo en el recipiente antes de la contracción
- ▶ **L₂ [mm]** = Longitud del suelo en el recipiente después de la contracción

En los resultados obtenidos de la prueba, se obtuvo la siguiente contracción lineal:



3.5 CÁLCULOS

Después de haber obtenido el límite líquido, límite plástico y contracción lineal, se obtiene diversa información que ayudará a la clasificación del suelo. La más importante es el índice de plasticidad [IP], ya que éste nos indicará la resistencia del suelo.

A continuación se presentan las fórmulas para obtener diversa información:

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

- ▶ IP [%]= Índice de plasticidad
- ▶ LL [%]=Límite líquido
- ▶ LP [%]=Límite plástico

CONSISTENCIA RELATIVA

$$C_R = \frac{LL - W_i}{IP}$$

Dónde:

- ▶ C_R= Consistencia Relativa
- ▶ W_i [%]=Contenido de agua de la muestra

La consistencia relativa ayuda a orientar la interpretación de la naturaleza del suelo y sus posibles propiedades mecánicas: si $C_R > 1$, la muestra será plástica mostrando una falla frágil con deformación pequeña; si $0 < C_R < 1$ la muestra será plástica, por lo tanto, moldeable, es decir: conserva su forma después de la deformación.

ÍNDICE DE LIQUIDEZ

$$IL = \frac{W - LP}{IP} = \frac{W - LP}{LL - LP}$$

Dónde:

- ▶ IL [%]= Índice de liquidez
- ▶ W [%]=Contenido de agua

Resolviendo de acuerdo al cada muestra:

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

$$IP = LL - LP$$

CONSISTENCIA RELATIVA

$$C_R = \frac{LL - W_i}{IP}$$

CLASIFICACIÓN DEL SUELO			
MUESTRA	LL	IP	RESISTENCIA SEGÚN ÍNDICE DE PLASTICIDAD
		IP=LL-LP	
M1-L1	155%	18.7%	Resistencia en estado seco: mediana . Ensayo en campo: difícilmente se deshace con los dedos
M1-L2	149%	12.2%	Resistencia en estado seco: ligera . Ensayo en campo: difícilmente se deshace con los dedos
M1-L3	146%	9.5%	Resistencia en estado seco: ligera . Ensayo en campo: difícilmente se deshace con los dedos
M1-L4	138%	2.1%	Resistencia en estado seco: muy baja . Ensayo en campo: se deshace en grandes trozos

Resolviendo en la muestra M1-L1⁴:

CONSISTENCIA RELATIVA			
$C_R = \frac{LL - W_i}{LP}$	MUESTRA	C _R	CONSISTENCIA
	M1-L1-a	1.02	No plástica: muestra falla frágil con deformación pequeña
	M1-L1-b	0.99	Plástica: es moldeable y conserva su forma después de su deformación
	M1-L1-c	0.99	Plástica: es moldeable y conserva su forma después de su deformación

3.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El *contenido de agua* influye directamente en la plasticidad de los suelos finos, a mayor contenido de agua, el suelo será más plástico, a mayor plasticidad, mayor compresibilidad. Un suelo plástico provoca hundimientos considerables tiene baja resistencia al esfuerzo cortante, por lo que no es óptimo para utilizarse como cimiento. En éste tipo de suelo invariablemente será necesario el uso de una cimentación. Si el suelo es orgánico, su plasticidad disminuirá, sin embargo, seguirá siendo altamente compresible, ya que la materia orgánica se degradará con el paso del tiempo, provocando hundimientos diferenciales, como se mencionó en el *inciso II.1.1*, del capítulo anterior.



⁴ Se tomo como referencia unicamente la muestra M1-L1 ya que fue de la que se obtuvo el contenido de agua.

La compresibilidad se puede determinar de acuerdo al límite líquido como se muestra en la *tabla III.T-1*.

COMPRESIBILIDAD SEGÚN EL LÍMITE LÍQUIDO	
Compresibilidad	Límite líquido apr
Ligera o baja	0-30
Moderada o intermedia	31-50
Alta	> 51

Tabla III.T-1. "Compresibilidad".

También se puede saber la resistencia al esfuerzo cortante, cuando el suelo en estado seco, según su índice de plasticidad.

RESISTENCIA SEGÚN ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
Plasticidad	IP	Resistencia (estado seco)	Ensayo en campo
No plástico	0-3	Muy baja	Se deshace en grandes trozos
Ligeramente plástico	4-15	Ligera	Se deshace entre los dedos
Medianamente plástico	15-30	Mediana	Difícilmente se deshace con los dedos
Muy plástico	>31	Alta	No se puede deshacer con los dedos

Tabla III.T-2. "Resistencia".

En cuanto a la contracción lineal, en relación con el índice de plasticidad, se puede clasificar un cambio de volumen de pequeño a severo, como se indica en la siguiente tabla:

CAMBIO DE VOLUMEN	ÍNDICE PLÁSTICO		LÍMITE DE CONTRACCIÓN
	Región árida	Región húmeda	
Pequeño	0-15	0-30	≥ 12
Pequeño a moderado	15-30	30-50	10-12
Moderado a severo	≥ 30	≥ 50	≤ 10

Tabla III.T-3. "Compresibilidad". (Crespo Villalaz, 1995)

La consistencia relativa [C_R], como ya se indicó, nos ayudará a saber si se trata de un suelo plástico o no, esto se interpretará de la siguiente manera:

- Si $C_R > 1 \rightarrow$ no plástico
- Presentará una falla frágil con una deformación pequeña: esto quiere decir que el

suelo se fracturará sin una deformación apreciable que *prevenga* dicha falla.

- Si $0 < C_R < 1 \rightarrow$ plástico ▶ Suelo *moldeable* sin deformaciones posteriores. Lo que quiere decir, que el suelo tendrá la consistencia de una *plastilina* y como tal, se podrá moldear sin que presente grietas o fisuras.

3.7 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

En el perfil estratigráfico⁵, sólo se representarán el *límite líquido* y el *límite plástico*, con un círculo sin relleno “o” y un tache o signo de más “+”, respectivamente. En *figura III.F-16*, podrás observarlo de manera ilustrativa.

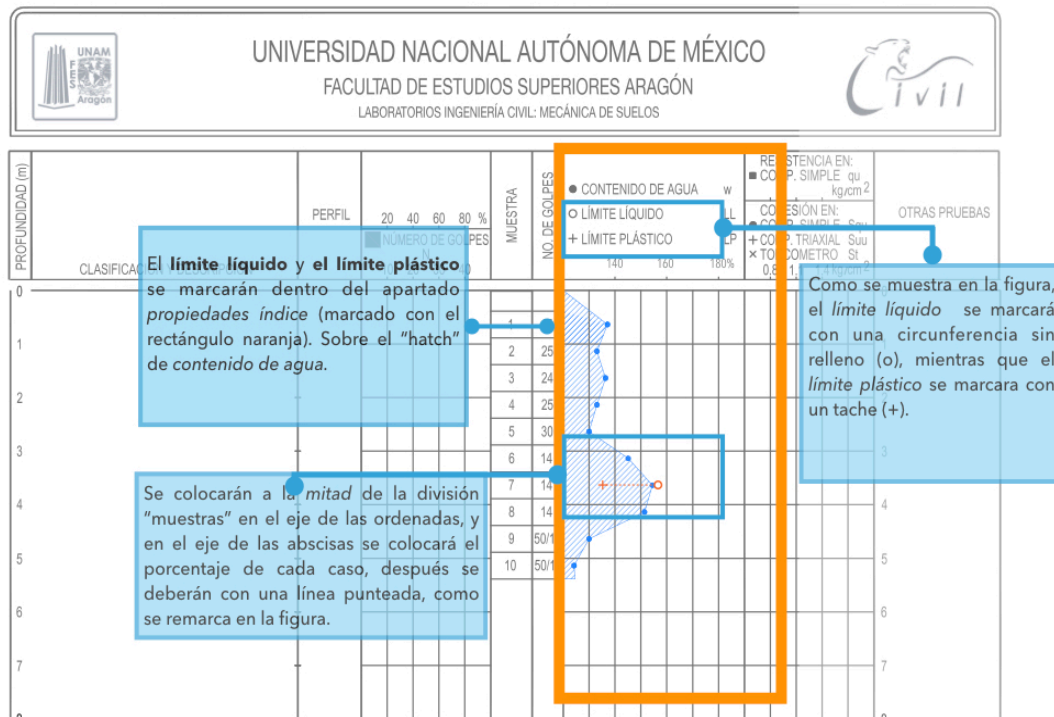


Figura III.F-16: Ejemplo del Perfil Estratigráfico: propiedades índice.

5 NOTA: Éste perfil *no* representa los resultados obtenidos en el capítulo.

3.8 CONCLUSIONES

El método del cono inglés o cono de caída libre se utiliza, esencialmente, para determinar el límite líquido de un suelo.

En muchos países, como México y Estados Unidos, el método más común para determinar las propiedades índices es mediante la Copa de Cassagrande, ya que ésta es recomendada para suelos de alta plasticidad, a pesar de ser un método que requiere mayor tiempo y es menos exacto que el cono inglés.

Sin embargo, para fines de aprendizaje, se decidió utilizar éste método, que contrario a *Cassagrande*, es recomendado utilizarse en suelos de *baja* plasticidad.

Los resultados obtenidos en la práctica se vieron limitados a la información que nos arroja el Cono de caída libre. Sin embargo, se logró correlacionar los datos mediante fórmulas matemáticas para obtener la mayor información verídica y admisible.

No fue posible graficar el Índice de Plasticidad en la Carta de Plasticidad, debido a que ésta es propia del método de *Cassagrande*.

El ejercicio completo se encuentra al final de éste capítulo. (*Ejemplo III.1.E-2*).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL: GEOTÉCNIA



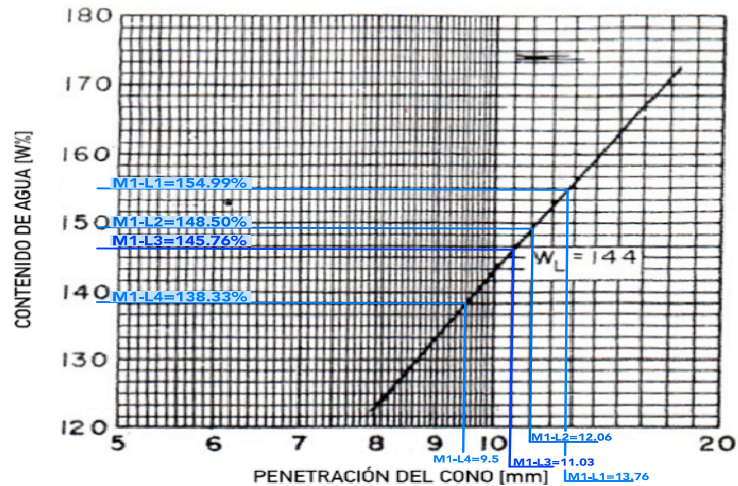
LÍMITES DE CONSISTENCIA

OBRA: Prácticas de laboratorio de mecánica de suelos LOCALIZACIÓN: Nezahualcoyotl, Edo. Méx SONDEO: SM TUBO SHELBY: SM-1-M1	LABORATORISTA: Juan Pérez FECHA DE INICIO: 08/03/18 FECHA DE TÉRMINO: 09/03/18
--	---

LÍMITE LÍQUIDO LÍMITE PLÁSTICO

MUESTRA	PROF. [m]	PENETRACIÓN DEL CONO i [mm]			CONTENIDO DE AGUA [LL]	No. De VIDRIO	PESO DEL VIDRIO (g)		PESO VIDRIO + SUELO HÚMEDO (g)		PESO VIDRIO + SUELO SECO (g)		PESO DEL SUELO SECO (g)	PESO DEL AGUA (g)	CONTENIDO DE AGUA %	
		L _i	L _f	L _h			PESO	PESO CORREGIDO *C*	W _h = C + S _h	PESO CORREGIDO	W _{ss} =C + S _c	PESO CORREGIDO				W _s =C - S _c
M1-L1-a	1.6-2.4	25.2	39.0	13.8	155%	59	47.17	47.1669	49.60	49.5964	48.2	48.1967	1.03	1.40	135.92%	
M1-L1-b		25.2	38.9	13.7		18	47.14	47.1369	48.70	48.6966	47.8	47.7967	0.66	0.90	136.36%	
M1-L1-c		25.2	39.0	13.8		35	26.35	26.3510	28.10	28.1007	27.09	27.0909	0.74	1.01	136.49%	
LÍMITE PLÁSTICO														$LP = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{3}$	136.26%	
M1-L2-a	1.6-2.4	27.9	39.9	12.0	149%											
M1-L2-b		27.9	40.0	12.1												
M1-L2-c		27.9	40.0	12.1												
M1-L3-a	1.6-2.4	11.2	22.3	11.1	146%											
M1-L3-b		11.2	22.1	10.9												
M1-L3-c		11.2	22.3	11.1												
M1-L4-a	1.6-2.4	12.6	22.0	9.4	138%											
M1-L4-b		12.6	22.1	9.5												
M1-L4-c		12.6	22.2	9.6												

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA CON VARIOS PUNTOS



CONTRACCIÓN LINEAL

LONGITUD DEL SUELO EN EL RECIPIENTE (mm)			CONTRACCIÓN LINEAL [%]
INICIAL	FINAL		
L ₁	L ₂	$CL = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$	32%
100	68		

CONSISTENCIA RELATIVA

MUESTRA	C _R	CONSISTENCIA	
		C _R	DESCRIPCIÓN
M1-L1-a	1.02	No plástica: muestra falla frágil con deformación pequeña	
M1-L1-b	0.99	Plástica: es moldeable y conserva su forma después de su deformación	
M1-L1-c	0.99	Plástica: es moldeable y conserva su forma después de su deformación	

ÍNDICE DE LIQUEZ

MUESTRA	IL	CONSISTENCIA
M1-L1-a	-1.79%	Plástica: es moldeable y conserva su forma después de su deformación
M1-L1-b	0.57%	Plástica: es moldeable y conserva su forma después de su deformación
M1-L1-c	1.22%	Plástica: es moldeable y conserva su forma después de su deformación

RESISTENCIA

MUESTRA	LL	IP	RESISTENCIA SEGÚN ÍNDICE DE PLASTICIDAD
M1-L1	155%	18.7%	Resistencia en estado seco: mediana . Ensayo en campo: difícilmente se deshace con los dedos
M1-L2	149%	12.2%	Resistencia en estado seco: ligera . Ensayo en campo: difícilmente se deshace con los dedos
M1-L3	146%	9.5%	Resistencia en estado seco: ligera . Ensayo en campo: difícilmente se deshace con los dedos
M1-L4	138%	2.1%	Resistencia en estado seco: muy baja . Ensayo en campo: se deshace en grandes trozos

Ejemplo: III.1.E-2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
 LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL: GEOTÉCNIA



LÍMITES DE CONSISTENCIA

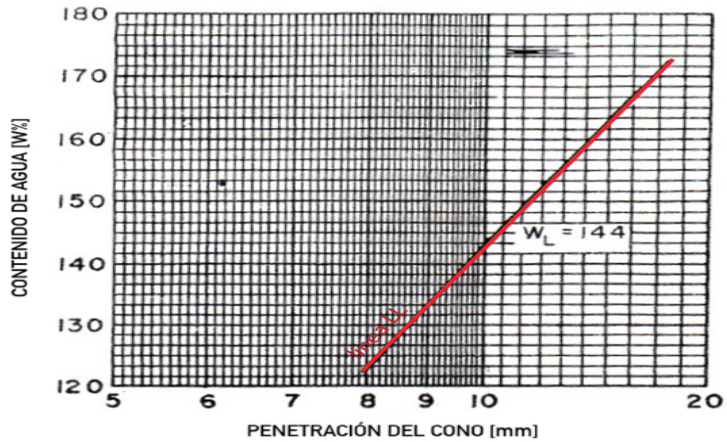
OBRA: _____ LOCALIZACIÓN: _____ SONDEO: _____ TUBO SHELBY: _____	LABORATORISTA: _____ FECHA DE INICIO: _____ FECHA DE TÉRMINO: _____
--	---

LÍMITE LÍQUIDO

LÍMITE PLÁSTICO

MUESTRA	PROF. [m]	PENETRACIÓN DEL CONO i [mm]			CONTENIDO DE AGUA [LL] LL	No. De VIDRIO	24 horas después						CONTENIDO DE AGUA % $W \% = \frac{W_w}{W_s} (100)$				
		I_1	I_r	I_2			PESO DEL VIDRIO (g)		PESO VIDRIO + SUELO HÚMEDO (g)		PESO VIDRIO + SUELO SECO (g)			PESO DEL SUELO SECO (g)	PESO DEL AGUA (g)		
							PESO	PESO CORREGIDO *C*	$W_h = C + S_h$	PESO CORREGIDO	$W_{ss} = C + S_c$	PESO CORREGIDO		$W_s = C \cdot S_c$	$W_w = W_h - W_{ss}$		
LÍMITE PLÁSTICO													$LP = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{3}$				

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA CON VARIOS PUNTOS



CONTRACCIÓN LINEAL

LONGITUD DEL SUELO EN EL RECIPIENTE [mm]		CONTACCIÓN LINEAL [%] $CL = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$
INICIAL I_1	FINAL I_2	

CONSISTENCIA RELATIVA

$C_r = \frac{LL - W_1}{LP}$	MUESTRA	C_r	CONSISTENCIA	

ÍNDICE DE LIQUEZ

$IL = \frac{W - LP}{IP}$	MUESTRA	IL	CONSISTENCIA	

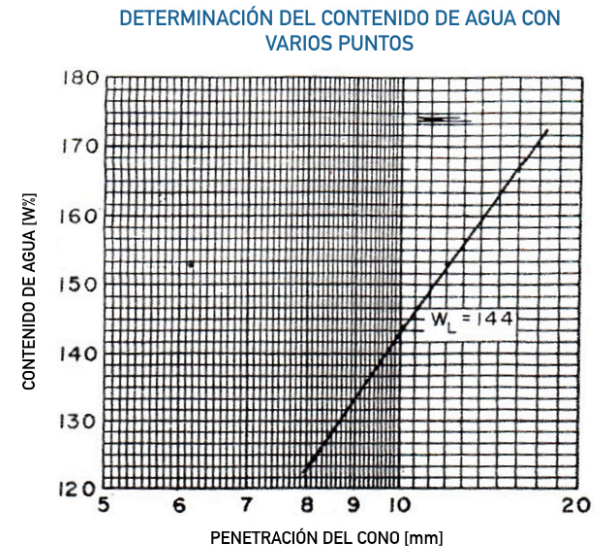
RESISTENCIA

MUESTRA	LL	IP	RESISTENCIA SEGÚN ÍNDICE DE PLASTICIDAD
		$IP = LL - LP$	

Formato: II.A-5

RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES M, N Y LA PENETRACIÓN DEL CONO I											
i [mm]	M,N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	M	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.14	1.13
	N	-3.50	-3.40	-3.20	-3.00	-2.90	-2.70	-2.60	-2.50	-2.30	-2.20
2	M	1.12	1.11	1.11	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.07	1.06
	N	-2.10	-1.90	-1.80	-1.70	-1.60	-1.40	-1.30	-1.20	-1.10	-1.00
3	M	1.05	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01
	N	-0.90	-0.80	-0.70	-0.60	0.05	-0.40	-0.30	-0.30	-0.20	-0.10
4	M	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96
	N	+0.00	+0.10	+0.20	+0.20	+0.30	+0.50	+0.50	+0.50	+0.60	+0.70
5	M	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.92
	N	+0.70	+0.80	+0.90	+0.90	+1.00	+1.10	+1.10	+1.20	+1.30	+1.30
6	M	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89
	N	+1.40	+1.40	+1.50	+1.50	+1.60	+1.70	+1.70	+1.80	+1.80	+1.90
7	M	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86
	N	+1.90	+2.00	+2.00	+2.10	+2.10	+2.20	+2.20	+2.20	+2.30	+2.30
8	M	0.86	0.86	0.86	0.85	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84
	N	+2.40	+2.40	+2.50	+2.50	+2.50	+2.60	+2.60	+2.70	+2.70	+2.70

Tabla III.B-2: "Relación entre la penetración del cono y los factores M, N" Tamez, E., Santoyo, E., Mooser, F., Gutierrez, C. (1987)



Gráfica III.B-3: "Determinación del límite líquido con el cono" Tamez, E., Santoyo, E., Mooser, F., Gutierrez, C. (1987)

CARTA DE PLASTICIDAD

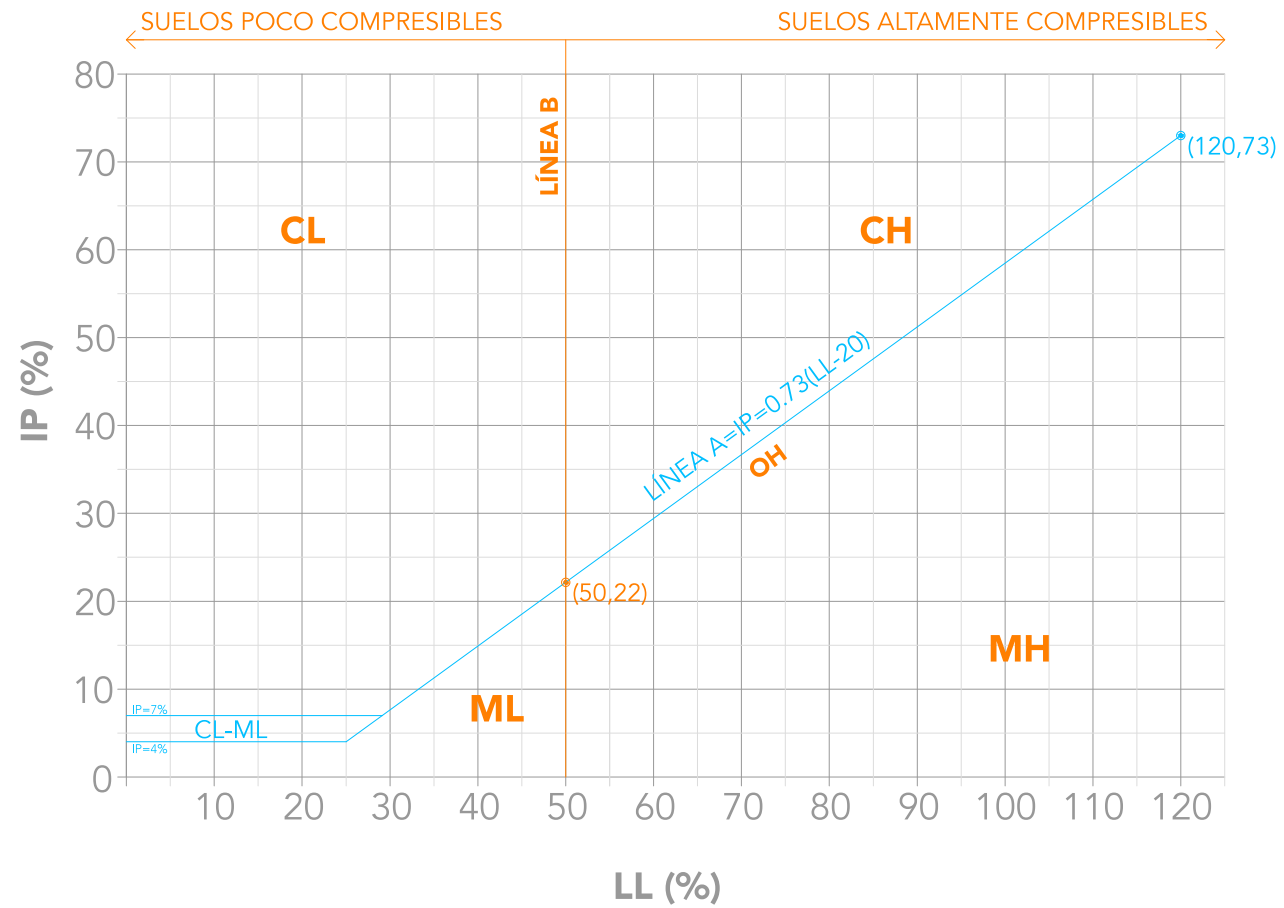
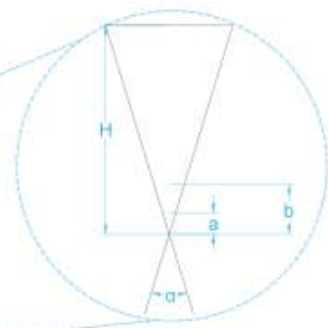
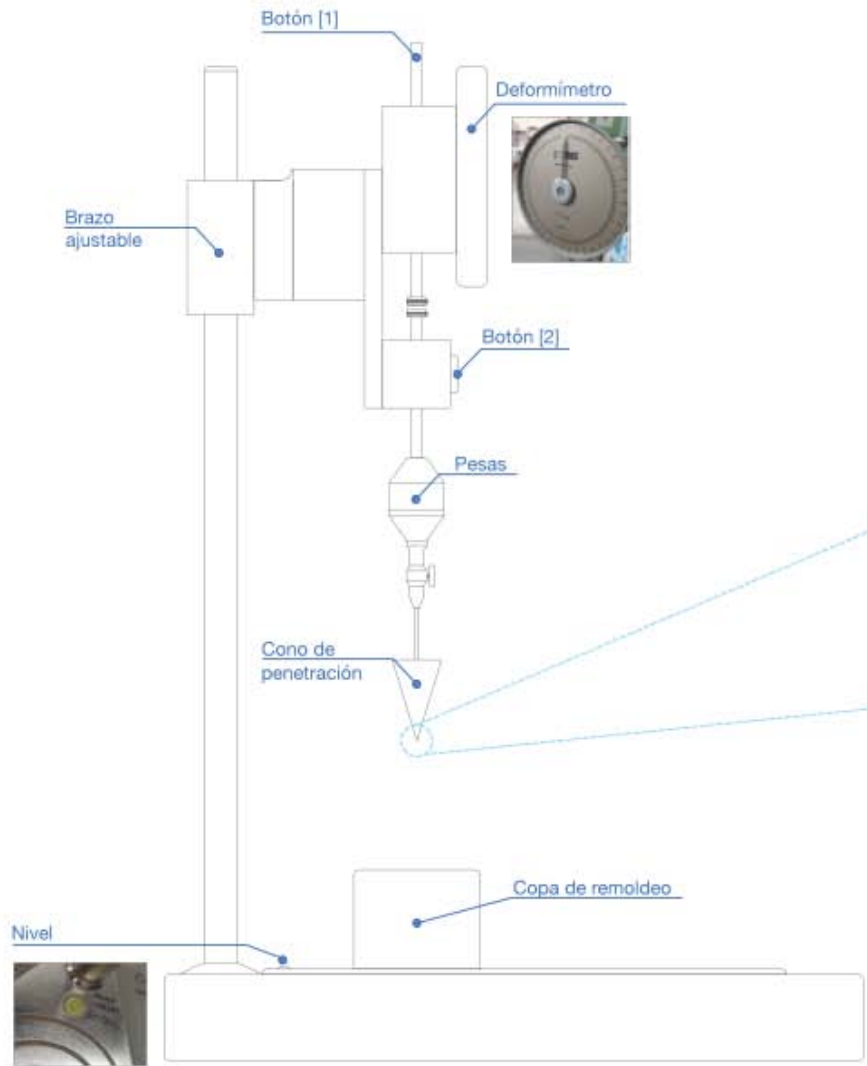


Figura III.B-4 "Carta de plasticidad": Utilizarse sólo para el método con Copa de Cassagrande



CARACTERÍSTICAS DEL CONO		
Peso [g]		60 ± 0.6
Altura [mm]	H ^m	20
Ángulo	α	60 ± 0.2
Tolerancias recomendables de deformación [mm]	a	0.1
	b	0.3



CONO INGLÉS
PAMELA GARCIA ORTIZ

Esquema III.C-2: "Cono inglés". García, P. (2018).

CAPÍTULO IV: DENSIDAD DE SÓLIDOS

“Se define como densidad de un suelo la relación entre el peso de los sólidos y el volumen de agua que desalojan. [...] El valor de densidad, que queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de los cálculos de Mecánica de suelos.”

--*Comisión Nacional del Agua (1990)*

DENSIDAD DE SÓLIDOS

NOMENCLATURA:

S_s

4.1. OBJETIVO

- ▶ Conocerá la fórmula para determinar la densidad de sólidos a partir de correlación de datos.
- ▶ Aprenderá a interpretar las tablas de la densidad de sólidos.
- ▶ El alumno conocerá nuevas herramientas para determinar la densidad de sólidos.
- ▶ Conocerá de manera teórica el procedimiento, más común utilizado en el laboratorio, según la *Comisión Nacional del Agua*.

4.2. ANTECEDENTES

El principio básico: ¿Qué es la densidad? La densidad es la cantidad de *masa* contenida en los objetos; no debe confundirse con peso, ya que éste depende de la gravedad. Un material tendrá la misma densidad en cualquier parte del mundo y fuera de él. En cambio, su peso, al salir de la Tierra será nulo.

La densidad de sólidos, en mecánica de suelos es un dato que puede o no correlacionarse para deducir diversa información y obtener parámetros para otras pruebas de laboratorio, como consolidación unidimensional, pruebas triaxiales, pruebas de permeabilidad y compactación (como la prueba Proctor). Todo esto

determinará diseño de estructuras de cimentación y/o contención. Además, proporcionará información para determinar los *estados de esfuerzos* en la masa del suelo: si se observa la *fórmula 1*, se puede apreciar que el peso específico del material (el suelo en estudio) en relación con el peso específico del agua, da como resultado la densidad de sólidos de dicho material.

Estos a su vez, ayudan a calcular:

- ▶ Presiones verticales u horizontales
- ▶ Estabilidad en un Talud
- ▶ Estabilidad en muros de retención
- ▶ Revisión de muros de gravedad
- ▶ Cimentaciones en general.

4.3. PROCEDIMIENTOS Y ALTERNATIVAS PARA OBTENER LA DENSIDAD DE SÓLIDOS

4.3.1. DENSIDAD DE SÓLIDOS MEDIANTE FÓRMULA Y TABLAS

Como pudimos observar en el *capítulo II: "Contenido de agua"*, la densidad de sólidos –o *peso específico relativo*, como algunos autores lo nombran– es un dato que puede obtenerse por medio de correlaciones, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} = \frac{W_s}{V_s \gamma_0}$$

Dónde:

- ▶ γ_s [gr/cm³] = Peso específico del material en estudio.
- ▶ γ_0 [gr/cm³] = Peso específico del agua en estudio ≈ 1.0 gr/cm³ a 4 °C a nivel del mar
- ▶ W_s [gr] = Peso del material en estudio.
- ▶ V_s [gr] = Volumen del material en estudio

Fórmula 1: Densidad de Sólidos

Existen tablas donde se indica la densidad de sólidos de diversos materiales, ya que el procedimiento es muy largo y resulta tedioso, se suele recurrir a éstos

recursos. Sin embargo, es importante conocer el procedimiento, ya que si el presupuesto y el tiempo lo permite, es preferible asegurarse de obtener un dato preciso. Si se duda de cuál es el material en estudio y de acuerdo al criterio de obtiene de una tabla, es posible obtener un dato erróneo. En el siguiente capítulo, se explicará el procedimiento que indica la *Comisión Nacional del Agua*, según su libro *Mecánica de suelos: instructivo para ensaye de suelos*. Igualmente se mencionarán diversas herramientas actuales que ayudan a que éste procedimiento sea más rápido y preciso. Además, se hará una recopilación de tablas que cuentan con un rango de datos según el tipo de suelo.

El nombrado Doctor Honoris Causa, *Eulalio Juárez Badillo*, indica que los materiales de partículas más finas y coloidales tienen un valor mayor, con excepción de las arcillas volcánicas; también indica el rango de valores entre el cual se deben encontrar de acuerdo al material:

RANGO DE VALORES EN DENSIDAD DE SÓLIDOS	
MATERIAL	DENSIDAD DE SÓLIDOS
Todos los materiales en general	2.60 – 2.90
Minerales de arcilla	2.80 – 2.90
Arcillas Volcánicas	2.2 – 2.60

Tabla IV-1 Densidad de sólidos según el Doctor Eulalio Juárez Badillo.

Las tablas no siempre muestran un dato exacto. Se suele utilizar para verificar si el experimento hecho en laboratorio o la correlación de datos muestra un dato verídico o erróneo.

La Comisión Nacional del Agua proporciona un rango común de materiales:

RANGO DE VALORES EN DENSIDAD DE SUELOS FINOS	
MATERIAL	DENSIDAD DE SÓLIDOS
Cenizas Volcánicas	2.0 – 2.50
Suelos Orgánicos	2.5 – 2.65
Arenas y gravas	2.65 – 2.67
Limos orgánicos y guijarros arcillosos	2.67 – 2.72
Arcillas poco y medianamente plásticas	2.72 – 2.78
Arcillas medianamente y altamente plásticas	2.78 – 2.84
Arcillas expansivas	2.84 – 2.88

Tabla IV-2: Tabla IV-1 Densidad de sólidos según la Comisión Nacional del Agua (1990).

A continuación se muestra una recopilación de diferentes fuentes en relación con materiales y su densidad de sólidos:

DENSIDAD DE SUELOS Y MATERIALES USADOS EN INGENIERÍA			
Material	Densidad relativa	Material	Densidad Relativa
Cemento, piedra y arena	2.2 – 2.4	Tierra seca (suelta)	1.2
ARCILLAS		EXCAVACIONES EN AGUA	
Arcilla seca	1.0	Arena, grava	0.95
Arcilla plástica	1.76	Arena, grava, arcilla	1.094
Arcilla y gravas secas	1.60	Arcilla	1.28
Arcilla y gravas secas (sueltas)	1.4 - 1.7	Lodo de río	1.44
Arcilla y gravas secas (compactas)	1.6 - 1.9	Tierra vegetal	1.12
Arcilla y gravas húmedas	1.89 – 2.16	MINERALES	
TIERRA		Arcilla calcárea	1.8 -2.6
Tierra húmeda (compacta)	1.54	Acilla esquistosa (pizarra)	2.6 – 2.9
Tierra húmeda (suelta)	1.25	Arenisca	2.0 – 2.6
Lodo compacto	1.84	Asbesto	2.1 -2.8
Lodo fluido	1.73	Basalto	2.7 – 3.2
Tierra seca (compacta)	1.5	Caliza	2.1 – 2-86

4.3.2. NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA OBTENER DE LA DENSIDAD DE SÓLIDOS

Como ya se mencionó, existen diferentes formas de encontrar la densidad de un material. Es importante identificar cuál es el método que se debe llevar a cabo, ya que éste dependerá del elemento en estudio. Existen dos tipos *densímetros* que facilitan el cálculo de la densidad en suelos, evitando las pruebas largas en laboratorio, proporcionando resultados inmediatos:

▶ **Densímetro nuclear:**

Ésta herramienta permite determinar la densidad y humedad de un suelo, sin necesidad de obtener una muestra ni someter al suelo a procedimientos destructivos. También puede ser utilizado en bases, concreto y asfalto. Se utiliza en campo para determinar la compactación del suelo.

A pesar de ser una herramienta muy efectiva, no es muy recomendable su uso ya que es altamente peligrosa, por lo cuál, debe ser manipulada por operadores certificados y se debe seguir un estricto protocolo de seguridad y transporte. Su mala manipulación puede ser mortal para el operador y los trabajadores que se encuentren a su alrededor, esto se debe a que el equipo emite una radiación a varios metros y es imperceptible para el ser humano. Los elementos químicos que lo componen son: berilio tungsteno, plomo y cadmio.



Figura VI-1: Runco S. A. Densímetro Nuclear HS-5001EZ. Recuperado de www.runco.com.ar/

► Densímetro eléctrico:

El Densímetro eléctrico EDG permite la medición de la densidad, contenido de agua y grado de compactación de un suelo, por lo cual se utiliza en la construcción de vías terrestres. Los datos que ésta herramienta arroja son precisos y confiables y a diferencia del densímetro nuclear, no presenta ningún riesgo, ya que utiliza una radiofrecuencia de un electrodo a otro, enterrados en el suelo y funciona a través de una fuente de energía (batería) que dura alrededor de 60 horas continuas, variando la marca y el modelo.

Para su manipulación no se requiere un técnico certificado ni medidas altas de seguridad, basta con leer el instructivo, utilizar gafas de seguridad y poseer conocimientos básicos del campo para su uso.



Figura VI- 2 H. W. Kessel S.A. Densímetro Eléctrico marca: HUMBOLDT. Recuperado de: www.hwkessel.com

4.3.3. DENSIDAD DE SÓLIDOS SEGÚN LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

El procedimiento para obtener la densidad de los sólidos se obtiene con la ayuda de un matraz, éste se llenará con la muestra húmeda del suelo y agua, que, a través de cambios de temperatura y pasando la muestra por una bomba de vacíos, se podrá obtener el dato. Para ello, se deberá preparar el material y equipo, se iniciará por calibrar el matraz y posteriormente, se preparará la muestra.

4.3.1.1. CALIBRACIÓN DEL MATRAZ

El volumen de un matraz puede variar debido a la temperatura a la que se encuentre éste; por consiguiente el contenido de agua que almacenará también será variable. La Comisión Nacional del agua indica que la calibración es nada más que la construcción de una gráfica y se realiza de la siguiente forma:

a. Limpieza del matraz

1. Antes de calibrar el matraz debe estar perfectamente limpio y libre de grasas, para lograrlo, en algunas ocasiones éste debe estar lleno con una mezcla durante un par de horas. Se pueden utilizar soluciones que disuelvan grasas, sin embargo, las más eficientes son las siguientes:



Figura VI- 3 El matraz deberá tener una marca de aforo visible.

- ▶ **Mezcla crómica:** Antes de hacer ésta mezcla debe colocarse el equipo adecuado, debido a que puede causar reacción al entrar en contacto con la piel. Posteriormente, en 300 mL de agua caliente, disolver 60 g de bicromato de potasio comercial y se deja enfriar, después se agrega a la solución 460 mL de ácido sulfúrico comercial, lentamente y agitando con sumo cuidado.

- ▶ **Amoniaco:** éste ayuda a disolver las grasas.

2. Posteriormente se enjuaga el matraz hasta que quede libre de mezcla, se escurre hasta que quede libre de agua.
-

-
3. Limpiar con alcohol y después, con éter. Evitar cercanía a flamas.
 4. Colocar el matraz boca abajo de 15 a 20 minutos.

b. Construcción de la gráfica del matraz

1. Para eliminar todo el aire del matraz, se debe de colocar de 5 a 10 minutos en *baño maría* lleno de agua destilada hasta la marca de aforo.
2. Posteriormente, se toma la temperatura del matraz, introduciendo el termómetro hasta el centro del mismo. Se deberá promediar la temperatura en tres puntos diferentes si:

$$X^{\circ} < T < X^{\circ}$$

3. Limpiar externamente el matraz y pesar en la balanza de torsión. El nivel del agua *menisco* — debe coincidir perfectamente con la marca de aforo.
4. Se toma la temperatura del agua, hasta que esta llegue a los 5°C.
5. Aforar y volver a pesar.
6. Repetir los pasos del 1 al 6, de seis a ocho veces.

4.3.1.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se colocará en el mortero una porción mayor a 200 g de muestra, se agregará agua y mezclar hasta que quede perfectamente homogenizada. Se puede hacer con ayuda de una batidora o a mano.

Debido a que para éste trabajo sólo se tomarán en cuenta los suelos cohesivos, se utilizará únicamente el material que pase por la malla no. 4.

Ésta muestra se deberá dejar secar al horno, durante 18 horas o más. Posteriormente, se deberá dejar enfriar en un desecador.

4.3.1.3. PROCEDIMIENTO PARA SUELOS ARENOSOS-ARCILLOSOS



Figura VI- 4 Sistema de vacío

En el matraz previamente calibrado, se pesarán aproximadamente 100 cm³ de agua destilada y se le agregarán 60 g del suelo seco. Todo el material debe estar mezclado con el agua, por lo que quede pegado en el cuello, se deberá retirar con ayuda de una piseta.

El material debe ser hervido a *baño maría*, con glicerina; en el caso de materiales arcillosos, puede tardar hasta 30 minutos. La bomba de vacíos con la cual cuenta la FES Aragón –Figura VI-4– facilita y mejora el proceso, ya que, al hervir a una temperatura más baja, disminuye la presión.

Posteriormente, se saca el matraz, se limpia y se deja enfriar para llenarlo con agua destilada hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de aforo.

El matraz deberá tener el cuello limpio por dentro (podrá introducirse un papel para hacerlo) y limpiarse por fuera, para ser pesado y a continuación, proceder a los cálculos pertinentes para la obtención de la *densidad* del material.

La fórmula que nos proporciona la *Comisión Nacional del Agua* es la siguiente:

$$S_s = \frac{W_s}{W_s + W_{mw} + W_{mws}}$$

Fórmula 2

Dónde:

- ▶ W_s = Diferencia entre W_{ms} y W_m
- ▶ $W_s + W_{mw} - W_{mws}$ = Es el volumen de agua que desalojaron los sólidos a la temperatura de la prueba.

También nos recomienda hacer la prueba en dos matraces simultáneamente, con el fin de obtener un parámetro de comparación y comprobación de la veracidad de los resultados. Indica que de no ser que los valores difieran menos del 1%, se deberá repetir la prueba.

4.4. CONCLUSIONES

La densidad es expresada por un número abstracto, lo cuál llega a ser difícil su comprensión. Al querer ser representado por la lógica humana, se puede confundir con masa o peso, sin embargo, aunque están ligados, son conceptos diferentes. El alumno puede realizar todos los procedimientos diferentes para comprender qué es la densidad, con fines académicos se podría llevar a cabo una sola vez la metodología dictada por la *Comisión Nacional del Agua*, pero en el ámbito laboral es innecesario éste proceso, es preferente invertir en *Densímetros Eléctricos*, que arrojan datos precisos, se llevan a cabo en el lugar de trabajo y además proporcionan más parámetros –por lo general, contenido de humedad, grado de compactación, entre otros según el modelo—, ahorrando *tiempo*: uno de los factores más importante en construcción de obras.

CONCLUSIÓN GENERAL

El objetivo de éste trabajo se cumplió satisfactoriamente: se encontraron nuevos métodos y tecnologías que enriquecerán el aprendizaje del alumno aragonés.

Ésta información podrá ser distribuida en futuras generaciones, complementando el plan de estudios, aportando diferentes perspectivas, invitando al aprendizaje y promoviendo la curiosidad en el alumnado.

El propósito de tomar como referencia una muestra de *Tubo Shelby*, partió de la premisa que el alumno ya conocía las metodologías para obtener las propiedades índice, por lo cual, podría comparar técnicas utilizadas con anterioridad y tener un entendimiento representativo de los números *–resultados–* arrojados por los cálculos elaborados y llevarlo a la práctica laboral.

Conviene subrayar que una muestra con *Tubo Shelby* representa suelos que conservan mejor sus propiedades mecánicas, *–muestras intalteradas–* a comparación con otros métodos de extracción, como es el caso de *Pozo a Cielo Abierto*, que dependen del cuidado que tenga, en éste caso, el alumno.

Los resultados obtenidos en el *Capítulo II: Contenido de Agua*, fueron precisos para demostrar que, una práctica como lo es ésta, al correlacionarse de forma matemática se puede obtener gran cantidad de información del suelo en estudio, que, aunque no reemplaza su obtención directa, da resultados confiables que pueden resultar prácticos, ahorrando tiempo y presupuesto. Además, se mostró el porqué el contenido de humedad de un suelo está ligado con un tema *esencial* en mecánica de suelos: *la consolidación*. En el caso del suelo en estudio, se determinó finalmente que se trataba de una *Arcilla bentonítica con arena muy*

compacta. También se determinó satisfactoriamente cómo debía ser representado en el perfil Estratigráfico, al igual que los *límites de Consistencia, Capítulo III*.

En éste capítulo se vió limitada la información obtenida de la muestra, debido a la técnica utilizada: *Cono de Penetración Estándar*, la cual es utilizada, esencialmente, para determinar el límite líquido de un suelo, sin embargo, al realizar los experimentos para obtener el límite plástico y límite de contracción lineal, se pudieron obtener mayor cantidad de resultados, a través de fórmulas matemáticas y correlación de datos, empero, no se logro graficar en la *carta de plasticidad*, ya que ésta es propia del método de *Cassagrande*. Se concluyó que es mejor utilizar el *Cono de Penetración* en suelos medianamente o poco plásticos, no obstante, se recomienda introducir ésta práctica con la finalidad de enriquecer la formación y el conocimiento del estudiante.

En cuanto al *Capítulo IV: Densidad de Sólidos*, fue un reto encontrar nuevas tecnologías y técnicas para determinarla, como resultado, se encontró que en *densímetro electrónico* es la mejor opción, tomando en cuenta: practicidad, tiempo, seguridad e inversión; en ésta ultima se tomo en cuenta que al ser una herramienta que se utiliza directamente en el suelo en estudio, es decir, sin una muestra, ahorra en métodos de extracción, entendiendo que tampoco es una prueba invasiva.

Por ultimo, se concluye que el trabajo cumplió de manera satisfactoria sus objetivos, ampliando en el lector, sus conocimientos acerca de las *propiedades índice del suelo*.

REFERENCIAS

- ▶ Bowles, J. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. (1981). Estados Unidos. McGraw-Hill.
- ▶ Heras, R. Manual de prácticas de laboratorios de ingeniería civil. (Desconocido). Recuperado el 22 de enero del 2019 de: <http://laboratorio-l-4.blogspot.com>
- ▶ Montalar, E. Límites de Atterberg, si, pero... ¿quién fue Albert Atterberg?. (2010). Recuperado el 10 de febrero de 2019 de: <http://enriquemontalar.com>.
- ▶ Desconocido. Normas Técnicas Complementarias para el diseño de cimentaciones. (Desconocido). Recuperado el 22 de enero del 2019 de: cgsservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/743.pdf
- ▶ Pasotti, Pierina. Estratigrafía subsuelo de rosario. (Desconocido). Recuperado el 10 de febrero del 2019 de: <http://www.fceia.unr.edu.ar>.
- ▶ Tamez, E., Santoyo, E., Mooser, F., Gutierrez, C. (1987). Manual de diseño geotécnico: Volumen 1. México. Desconocido.
- ▶ Juárez B, Rico R., (1992), “Mecánica de Suelos, Tomo I”, Editorial Limusa, Tercera Edición, México.
- ▶ Secretaría de Recursos Hidráulicos, (1967), “Instructivo para Ensayes en suelos”.
- ▶ CFE. Instituto De Investigaciones Eléctricas, (1980), “Manual de Diseño de Obras Civiles, Geotecnia, Propiedades Físicas y Mecánica de los Suelos”, México.

- ▶ Comisión Nacional del Agua. Mecánica de suelos: instructivo para ensaye de suelos. (1990). México. Colección breviaros del agua, serie educativa.
- ▶ Hazell, Edmund. Numerical and Experimental Studies of Shallow Cone Penetration in Clay. (2008). Reino Unido. Desconocido.
- ▶ Campbell, DeWayne, Blackford, Jay. Fall Cone Method Used to Determine the Liquid Limit of Soil . Denver, Colorado. (Agosto 1984). Desconocido.
- ▶ Miranda, Juan Carlos. Densidad. (Julio 2016). Recuperado el 19 de Octubre del 2019 de: <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com>.
- ▶ Figura VI-5: Runco S. A. Densímetro Nuclear HS-5001EZ. Recuperado el 19 de Octubre del 2019 de: www.runco.com.ar/