



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE**

**DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGIENERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**TEMA:**

**UTILIZACIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO PARA MEJORAR  
CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS EN VIVIENDAS DE ÍNDOLE  
POPULAR.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TUTOR**

**MSC. ALMEIDA FRANCO MAX**

**AUTOR:**

**CARLOS ALBERTO ARAUZ PAREDES**

**GUAYAQUIL**

**2021**



<b>REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>	
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>	
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> <b>UTILIZACIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO PARA MEJORAR CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS EN VIVIENDAS DE ÍNDOLE POPULAR</b>	
<b>AUTOR/ES:</b>	<b>REVISORES O TUTORES:</b> PHD .MSC.
<b>INSTITUCIÓN:</b> <b>Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil</b>	<b>Grado obtenido:</b> Ingeniería Civil
<b>FACULTAD:</b> FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	<b>CARRERA:</b> INGENIERIA CIVIL
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2021	<b>N. DE PAGS:</b> 155
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y Construcción	
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Hormigón, Materiales de construcción, Cemento, Calidad, Temperatura	
<b>RESUMEN:</b> La finalidad de este tema es determinar la utilización de un material alternativo como es la espuma de poliuretano para mejorar la capacidad portante donde asentaría la estructura a construir, por lo general siempre utilizamos material de préstamo importado para mejorar la capacidad portante de estos estratos compresibles, mejorando su estructura y así obtener estructuras firmes que su capacidad portante dure muchos años, para determinar su vida útil para esa estructura en la cual se va asentar en estos suelos mejorad Nuestro proyecto de titulación propone la utilización de la espuma de poliuretano como	

estabilizador, con el fin de sacar el material expansivo y reemplazarlo por esta alternativa que tiene un capacidad portante acorde para su utilización y soportar estas estructuras de viviendas económicas muy útiles en la actualidad para mejorar los asentamientos de edificaciones sin algún soporte técnico de donde se está edificando. Cuando se realizan proyectos de construcción sobre suelos blandos, éstos pueden transmitir una presión de contacto, generando esfuerzos cortantes que pueden llegar a superar la resistencia al corte del suelo, causando una falla. En la unidad 4 están los ensayos realizados a los estratos en contratos por medio de tres exploraciones por medio de perforación a percusión, la elaboración de la compresión simple a la espuma de poliuretano y la expansión controlada a la arcilla expansiva encontrada en los sondeos realizados, se presenta los cálculos realizados, las conclusiones y recomendaciones, favorables que presenta este material alternativo ya que se lo puede utilizar para reemplazar el estrato arcilloso expansivo

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b>	<b>E-mail:</b>
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	MSC. Ing. Alex Salvatierra Espinoza Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. <b>Teléfono</b> (04) 259 6500 <b>Ext.</b> 241 <b>E-mail:</b> asalvatierrae@ulvr.edu.ec	

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

## ARAUZ PAREDES

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>5</b> %	<b>5</b> %	<b>0</b> %	<b>0</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>texdelta.com</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>2</b>	<b>pt.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>arquinetpolis.com</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>www.emb.cl</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>www.gestionderiesgos.gob.ec</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>7</b>	<b>www.univo.edu.sv:8081</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %



Excluir citas      Activo      Excluir coincidencias < 1%  
Excluir bibliografía      Activo

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

El estudiante egresado CARLOS ALBERTO ARAUZ PAREDES, declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, **“UTILIZACIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO PARA MEJORAR CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS EN VIVIENDAS DE ÍNDOLE POPULAR.”**, corresponde totalmente a el suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'CARLOS ALBERTO ARAUZ PAREDES', written over a faint circular stamp.

CARLOS ALBERTO ARAUZ PAREDES  
C.I. 1802571636

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación **“UTILIZACIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO PARA MEJORAR CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS EN VIVIENDAS DE ÍNDOLE POPULAR.”**, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de ingeniería industria y la construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: **“UTILIZACIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO PARA MEJORAR CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS EN VIVIENDAS DE ÍNDOLE POPULAR.”**, presentado por el estudiante CARLOS ALBERTO ARAUZ PAREDES como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

**Msc. Almeida Franco Max**

C.C. 0906706981

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la sabiduría y el conocimiento, guiándome por el camino correcto, dándome las fuerzas necesarias para superar los obstáculos a lo largo de toda la carrera.

Agradezco a mis padres que son mi motor para salir delante de cualquier obstáculo que se me presente, por la confianza que han brindado hacia mí, sabiéndome corregir todos mis errores y no juzgarme, celebrando mis triunfos, logros cumplidos y sé que están orgullosos por la persona que me he convertido.

A mi tutor de tesis, por ser la persona que siempre estuvo ahí guiándonos y compartiendo sus conocimientos.

Gracias a las personas que de algún otro modo de forma directa o indirecta me ayudaron a realizar este proyecto.

## **DEDICATORIA**

Principalmente a Dios sobre todas las cosas, por la fe y fortaleza que me da día a día para salir delante de todas las adversidades que se presentan y he podido salir delante de cada una de ellas, por la humildad que me cataloga, este trabajo se lo dedico a Dios.

De esta misma manera esta tesis es dedicada a mis padres por creer en mí, por saber formarme inculcándome principios y valores, los cuales me han llevado a salir adelante y ser una persona del bien, por estar en los momentos difíciles en los cuales ellos estuvieron para levantarme y no dejarme caer.

A mis profesores por su tiempo y dedicación, por compartir sus conocimientos para ser un buen profesional, al tutor de tesis por su apoyo incondicional y consejos para realización de la misma.

## INDICE GENERAL

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE .....	I
DE GUAYAQUIL .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES .....	v
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR .....	vi
INTRODUCCION.....	1
1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Tema. ....	2
1.2. Planteamiento del Problema .....	2
1.3. Formulación del Problema.....	3
1.4. Sistematización del Problema.....	3
<b>1.5. Objetivos de la investigación</b> .....	3
<b>1.5.1. Objetivo General</b> .....	3
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Justificación de la investigación .....	4
1.7. Delimitación del problema.....	4
1.8. Hipótesis.....	5
1.9. Línea de Investigación Institucional/Facultad.....	5
2. <b>MARCO TEORICO</b> .....	6
2.1. Marco teórico.....	6
<b>2.1.1. Antecedentes históricos</b> .....	6
2.1.2. Referencias del Tema .....	13
2.1.3. Conceptos generales y técnicos.....	24
2.1.4. Espuma de poliuretano .....	43
2.2. Marco conceptual .....	46
2.3. Marco Legal.....	48
<b>Normas de los ensayos a estudiar.</b> ....	48
<b>CAPÍTULO III</b> .....	50
3. <b>Metodología de la investigación</b> .....	50
3.1. Metodología de estudio.....	50
3.2. Tipo de investigación. ....	51

3.3.	Enfoque .....	52
3.4.	Técnicas de la investigación.....	53
3.5.	Población.....	54
3.6.	Validez y confiabilidad .....	54
3.6.1.	Validez .....	54
3.6.2.	Confiabilidad .....	55
3.7.	Análisis de resultados. ....	55
CAPITULO IV .....		56
4.	LA PROPUESTA .....	56
4.1.	Objetivo general de la propuesta .....	56
4.2.	Objetivos Específicos.....	56
4.3.	Desarrollo experimental .....	56
4.4.	Investigación de campo. ....	57
4.5.	Perfil estratigráfico.....	59
4.6.	Compresión simple espuma de poliuretano.....	65
4.7.	Expansión controlada.....	66
4.8.	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS.....	66
4.9.	POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN .....	66
4.10.	Conclusiones. ....	67
4.11.	Recomendaciones. ....	69
<b>Bibliografía .....</b>		<b>70</b>
<b>ANEXOS 1.....</b>		<b>70</b>
<b>NORMAS DE LOS ENSAYOS .....</b>		<b>70</b>
<b>ANEXOS 2.....</b>		<b>138</b>
<b>ENSAYOS.....</b>		<b>138</b>

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1:</b> Esfuerzos cortantes máximos bajo una banda de longitud $\infty$ .....	7
<b>Figura 2:</b> Análisis de la capacidad de carga considerando una superficie de falla circular.....	8
<b>Figura 3:</b> Solucion de Prandtl ..	9
<b>Figura 4:</b> Equivalencia del suelo sobre el nivel de desplante de un cimiento sobre una sobrecarga.....	9
<b>Figura 5:</b> Mecanismo de falla de un cimiento continuo poco profundo.....	10
<b>Figura 6:</b> Factores de capacidad de carga.....	11
<b>Figura 7:</b> Forma típicas de fallas en arenas.....	12
<b>Figura 8:</b> S.P.T.....	26
<b>Figura 9:</b> S.P.T.....	26
<b>Figura 10:</b> toma de muestra.....	27
<b>Figura 11</b> Curva granulométrica.....	33
<b>Figura 12:</b> Cuchara de casa grande.....	34
<b>Figura 13:</b> Limite plástico.....	35
<b>Figura 14:</b> Carta de plasticidad.....	36
<b>Figura 15 :</b> Implementos para el ensayo de consolidación.....	38
<b>Figura 16:</b> Curva Deformación vs Logaritmo de Tiempo.....	39
<b>Figura 17:</b> Forma típicas de fallas en arenas.....	41
<b>Figura 18:</b> esquema compresión simple.....	42
<b>Figura 19:</b> ensayo de compresión simple.....	42
<b>Figura 20:</b> Tendida del material arcilloso.....	57
<b>Figura 21:</b> Tendida del material arcilloso.....	58
<b>Figura 22:</b> Realización de los ensayos.....	58
<b>Figura 23:</b> Diagrama esfuerzo vs deformación.....	60
<b>Figura 24:</b> Diagrama esfuerzo vs deformación.....	62
<b>Figura 25:</b> Diagrama esfuerzo vs deformación.....	64
<b>Figura 26:</b> Compresión simple.....	65
<b>Figura 27:</b> Expansión controlada.....	66
<b>Figura 28:</b> Expansión controlada.....	66

## INTRODUCCION

La finalidad de este tema es determinar la utilización de un material alternativo como es la espuma de poliuretano para mejorar la capacidad portante donde asentaría la estructura a construir, por lo general siempre utilizamos material de préstamo importado para mejorar la capacidad portante de estos estratos compresibles, mejorando su estructura y así obtener estructuras firmes que su capacidad portante dure muchos años, para determinar su vida útil para esa estructura en la cual se va asentar en estos suelos mejorados.

Nuestro proyecto de titulación propone la utilización de la espuma de poliuretano como estabilizador, con el fin de sacar el material expansivo y reemplazarlo por esta alternativa que tiene un capacidad portante acorde para su utilización y soportar estas estructuras de viviendas económicas muy útiles en la actualidad para mejorar los asentamientos de edificaciones sin algún soporte técnico de donde se está edificando.

Las técnicas de para aumentar la resistencia de suelos con baja capacidad portante en proyectos de construcción y obras han evolucionado en los últimos años, de forma que, actualmente, nos permiten ejecutar infraestructuras en obras de mayor calidad y resistencia, en unos plazos de tiempo y costos más ajustados. Cuando se realizan proyectos de construcción sobre suelos blandos, éstos pueden transmitir una presión de contacto, generando esfuerzos cortantes que pueden llegar a superar la resistencia al corte del suelo, causando una falla.

En la unidad 4 están los ensayos realizados a los estratos en contratos por medio de tres exploraciones por medio de perforación a percusión, la elaboración de la compresión simple a la espuma de poliuretano y la expansión controlada a la arcilla expansiva encontrada en los sondeos realizados, se presenta los cálculos realizados, las conclusiones y recomendaciones, favorables que presenta este material alternativo ya que se lo puede utilizar para reemplazar el estrato arcilloso expansivo.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Tema.**

Utilización de espuma de poliuretano para mejorar capacidad portante de los suelos en viviendas de índole popular.

#### **1.2. Planteamiento del Problema**

Las técnicas de para aumentar la resistencia de suelos con baja capacidad portante en proyectos de construcción y obras han evolucionado en los últimos años, de forma que, actualmente, nos permiten ejecutar infraestructuras en obras de mayor calidad y resistencia, en unos plazos de tiempo y costes más ajustados.

Cuando se realizan proyectos de construcción sobre suelos blandos, éstos pueden transmitir una presión de contacto, generando esfuerzos cortantes que pueden llegar a superar la resistencia al corte del suelo, causando una falla. Entonces, ¿cómo podemos aumentar la resistencia de los suelos con baja capacidad portante en obras de índole popular?

Desde Tex Delta hemos desarrollado una serie de productos que se ajustan a las necesidades actuales en cuanto a la mejora de la resistencia de los suelos de baja capacidad portante en proyectos de construcción de índole popular.

Para nuestra investigación se utilizara espuma de poliuretano para mejorar la capacidad portante de los suelos.

### **1.3. Formulación del Problema**

¿De qué manera influye la utilización de espuma de poliuretano para mejorar la capacidad portante del suelo?

### **1.4. Sistematización del Problema**

¿De qué manera se puede utilizar la espuma de poliuretano para aumentar la capacidad portante del suelo?

¿Analizar las propiedades de la espuma de poliuretano sobre suelos?

¿Analizar las aplicaciones de la espuma de poliuretano para su utilización sobre suelos?

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### **1.5.1. Objetivo General**

En el presente trabajo se estudiará la aplicación de un material alternativo para mejorar la capacidad portante del suelo en viviendas de índole popular, entregando una caracterización y evaluación del comportamiento de los mismos, usando como materia prima la espuma de poliuretano sobre suelos.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Realizar ensayos de laboratorio acordes a las exigencias de la Normativa Ecuatoriana, con el fin de caracterizar el material a utilizar, y analizar su viabilidad en la utilización sobre suelos.
- Realizar estudios de suelo para determinar la capacidad de cada estrato así como los ensayos respectivos de clasificación.
- Determinar el estrato expansivo por medio del ensayo de expansión controlada y así poder reemplazarlo por la espuma de poliuretano.
- Realizar ensayo para determinar la capacidad de carga que tendrá la espuma de poliuretano por medio de la compresión simple.

### **1.6. Justificación de la investigación**

En las viviendas de índole popular, se colocara la espuma de poliuretano para mejorar la capacidad portante del suelo, principalmente con el fin de mejorar la capacidad del terreno de cimentación, cuando el material de relleno se incrusta, además de contaminarse y perder sus propiedades, como ocurre en los suelos pantanosos o en los arcillosos blandos.

### **1.7. Delimitación del problema**

**Área:** Ingeniería civil

**Campo:** Educación superior. Tercer nivel de grado

**Tema:** Utilización de espuma de poliuretano para mejorar capacidad portante de los suelos en viviendas de índole popular.

**Delimitación espacial:** Guayaquil -Guayas

**Delimitación temporal:** 6 meses

## 1.8. Hipótesis

Con la utilización de la espuma de poliuretano se mejorara la capacidad portante del suelo en viviendas de índole popular.

## 1.9. Línea de Investigación Institucional/Facultad.

**Tabla 1**

*Línea de Investigación Institucional/Facultad*

Dominio	Línea de investigación institucional	Sub línea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Materiales de construcción

Fuente: (ULVR, 2021)

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEORICO**

#### **2.1. Marco teórico**

##### **2.1.1. Antecedentes históricos**

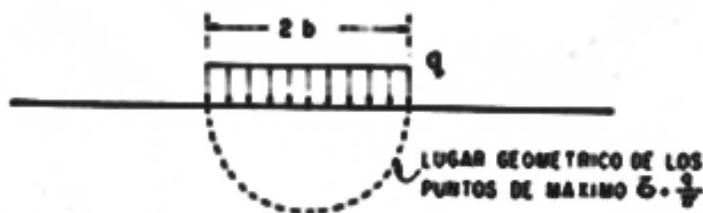
Uno de los aspectos fundamentales en la caracterización geotécnica de un subsuelo, es el uso de terminologías comunes y de uso internacional, como es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS propuesto por Casagrande, A. 1948 y presentado por la Norma Americana Estándar de Pruebas de Materiales, designación ASTM-D-2487, el mismo que será empleado para definir y analizar las series estratigráficas que conforman el subsuelo. El sistema SUCS ha sido considerado como válido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-15. (Guía práctica para la ejecución de estudios, 2016)

El comportamiento de los suelos es complejo debido a la naturaleza granular y a la coexistencia de partículas sólidas con fluido intersticial que generalmente está compuesto por más de un fluido (agua, contaminantes orgánicos e inorgánicos, gases como ser, aire o metano, etc.). El entendimiento actual del comportamiento de los suelos ha evolucionado a través del siglo XX, incluyendo esfuerzos efectivos (Terzaghi en los años '20), coloides y arcillas (Goy, Chapman en los '10, Lambe y Mitchell en los '50), dilatación en corte (Taylor 1948 y Estado Crítico con Roscoe, Schofield y Wroth en los '60), fase fluida mixta y suelos no saturados (Bishop, Aitchinson, Fredlund y Morgenstern en los '60). Una nueva etapa se anticipa actualmente con el estudio de la geo-química mediada por microorganismos. (Guía práctica para la ejecución de estudios, 2016).

### 2.1.1.1. Teoría.

Una buena parte de las teorías desarrolladas tiene su base en hipótesis simplificadoras del comportamiento de los suelos y en desarrollos matemáticos a partir de tales hipótesis. En otras teorías, especialmente en las que corresponden a desarrollos recientes, la observación y el empirismo juegan un papel mucho más importante. Se puede decir que todas las teorías matemáticas tienen como punto de partida la solución de Prandtl. Las diferentes teorías de capacidad de carga solucionan problemas en suelos cohesivos, friccionantes y algunas de ellas el caso de suelos cohesivo-friccionantes. (Lopez & Rivera, 2015).

La teoría de la elasticidad permite establecer la solución para el estado de esfuerzos en un medio semi-infinito, homogéneo, isótropo y linealmente elástico, cuando sobre él actúa una carga uniformemente distribuida, sobre una banda de ancho  $2b$  y de longitud infinita. Aquí los máximos esfuerzos cortantes valen  $q/\pi$  y están aplicados en el semicírculo de diámetro  $2b$  (Lopez & Rivera, 2015)



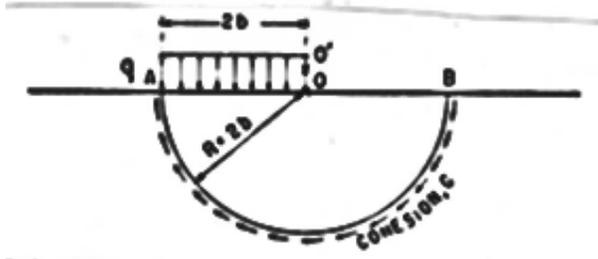
**Figura 1:** Esfuerzos cortantes máximos bajo una banda de longitud  $\infty$ .

**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Para completar la aplicación del análisis límite a los problemas de capacidad de carga de suelos puramente cohesivos se necesita un valor límite superior para el valor de la carga

última  $q_u$ . Para realizar este análisis se aplica el método sueco al problema de capacidad de carga. (Lopez & Rivera, 2015)



**Figura 2:** Análisis de la capacidad de carga considerando una superficie de falla circular..

**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)

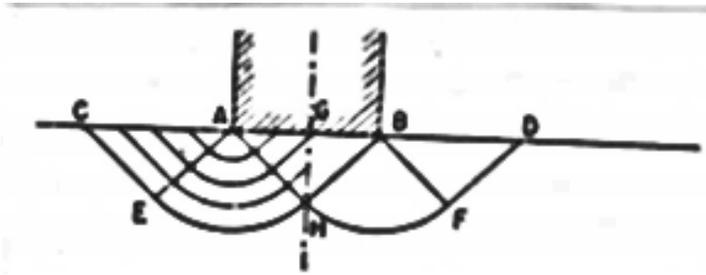
**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

En realidad puede demostrarse que el círculo analizado no es el más crítico posible. Si se escoge un centro en  $O'$ , sobre el borde del área cargada, pero más alto que  $O$ , puede probarse que existe un círculo, el más crítico de todos, para el que  $q_{max} = 5.5 c$  y representa la carga máxima que puede darse al cimentación sin que ocurra el deslizamiento a lo largo del nuevo círculo. Así la carga última real  $q_u$ , resulta acotada entre los valores: (Lopez & Rivera, 2015)

$$\pi c \leq q_u \leq 5.5 c$$

En la solución de Prandtl se propone que el mecanismo de falla es el mostrado, y se debe calcular cuál es la presión máxima que puede darse al elemento rígido sin que penetre. A este valor particular se le denomina carga límite. El valor límite de la presión encontrado por Prandtl fue: (Lopez & Rivera, 2015)

$$q_{max} = (\pi + 2) c$$

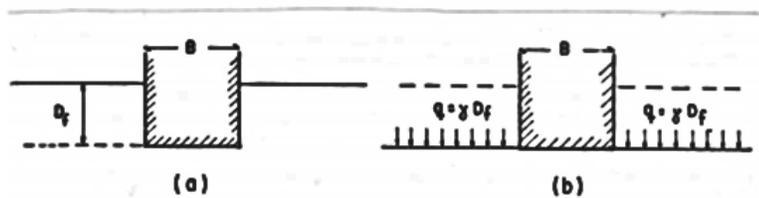


**Figura 3:** Solucion de Prandtl ..  
**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)  
**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Esta solución es la base de las teorías de capacidad de carga que se han desarrollado para aplicación específica a suelos.

### 2.1.1.2. La teoría de Terzaghi

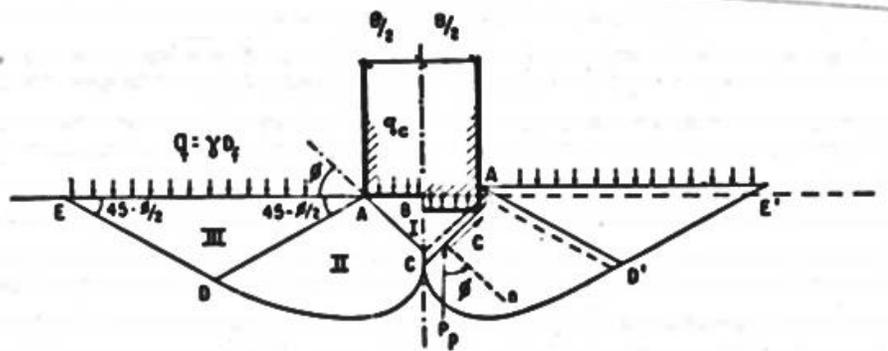
Esta teoría cubre el caso más general de suelos con cohesión y fricción; es la teoría más usada para el cálculo de la capacidad de carga en cimientos poco profundos. Se aplica a cimentaciones en las que el ancho  $B$  es mayor o igual a la profundidad de desplante  $D_f$ . De la parte superior se desprecia la resistencia al esfuerzo cortante  $\tau$ , haciendo la equivalencia del suelo, arriba del nivel de desplante, como una sobrecarga  $q$ . (Lopez & Rivera, 2015)



**FIG. 6** Equivalencia del suelo sobre el nivel de desplante de un cimiento con una sobrecarga debida a su peso

**Figura 4:** Equivalencia del suelo sobre el nivel de desplante de un cimiento sobre una sobrecarga..  
**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)  
**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Con base en los estudios de Prandtl en suelos cohesivos, Terzaghi los extendió a suelos cohesivo-friccionantes, proponiendo el mecanismo de falla mostrado en la fig. 7. En este mecanismo la zona I es una cuña que se mueve como cuerpo rígido con el cimiento, verticalmente hacia abajo. Una zona II es de deformación tangencial radial. La zona III es una zona de estado plástico pasivo de Rankine. Para que el cimiento penetre deberá de vencer las fuerzas resistentes, como son la cohesión en las superficies AC y la resistencia pasiva en esas mismas superficies. En el caso de la falla incipiente, estos empujes forman un ángulo  $\varphi$ , la dirección es vertical. (Lopez & Rivera, 2015)



**Figura 5:** Mecanismo de falla de un cimiento continuo poco profundo.

**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Despreciando el peso de la cuña y considerando el equilibrio de fuerzas verticales se tiene:

$$q_c B = 2P_p + 2C_f \text{ sen } \varphi$$

**Donde:**

$q_c$ : carga de falla en el cimiento

$P_p$ : empuje pasivo

$C_f$ : fuerza de cohesión

Desarrollando los términos del segundo miembro y despejando  $q_c$  se llega a la siguiente expresión:

$$q_c = cN_c + \gamma D_f N_q + (1/2)\gamma B N_\gamma$$

Que permite calcular la presión máxima que puede darse al cimiento por unidad de longitud, sin provocar su falla, se expresa en unidades de presión.

$N_c$ ,  $N_q$  y  $N_\gamma$ , son factores de capacidad de carga, función del ángulo de fricción interna del suelo  $\phi$ . (Lopez & Rivera, 2015)

La ecuación anterior es la fundamental de la teoría de Terzaghi y permite calcular, en principio, la capacidad de carga última de un cimiento poco profundo de longitud infinita, con carga vertical. Los valores de los factores de capacidad de carga se obtienen a partir de.

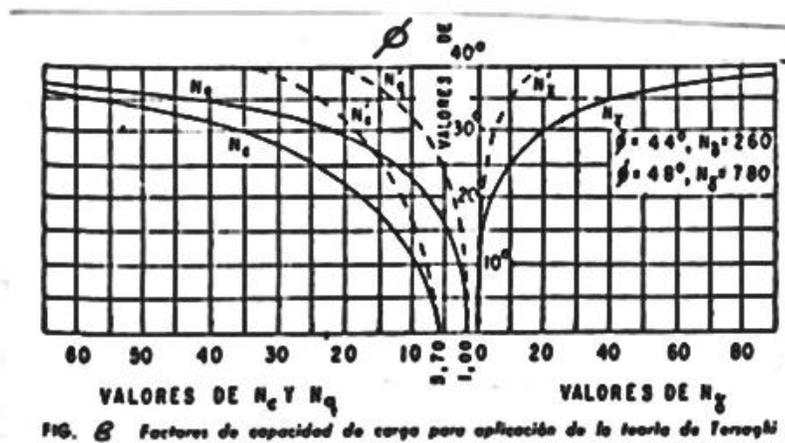


Figura 6: Factores de capacidad de carga.

Fuentes: (Lopez & Rivera, 2015)

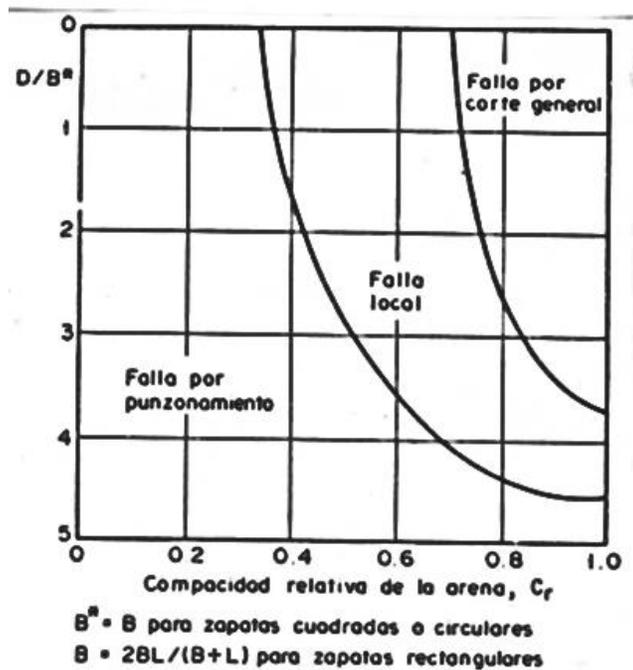
Elaborado por: Arauz, C.. (2021)

Puede observarse en dicha figura curvas de línea llena y curvas de línea punteada. Las primeras corresponden al mecanismo de falla general representado por la fig. 5, que supone que al ir penetrando el cimiento en el suelo se produce cierto desplazamiento lateral, de modo que los estados plásticos desarrollados inicialmente se amplían hasta los puntos E y E', de tal manera que en el instante de falla, toda la superficie trabaja al esfuerzo límite. En materiales arenosos sueltos o arcillas muy blandas donde la deformación crece mucho cerca de la carga de falla, el cimiento penetra, pero no logra desarrollarse el estado plástico hasta los puntos E y E', sino que la falla ocurre antes, a carga menor, al llegar a

un nivel de asentamiento que para el cimiento equivale a la falla del mismo. A este mecanismo se le conoce como falla local. (Lopez & Rivera, 2015)

Para tomar en cuenta la posibilidad de una falla local, la capacidad de carga última del sistema suelo-cimiento se puede calcular empleando la misma ec. 4 pero adoptando factores de capacidad de carga reducidos, esto es,  $N^*c$ ,  $N^*q$  y  $N^*\gamma$ .

El decidir si el sistema suelo-cimiento podrá experimentar una falla general o local depende fundamentalmente de la geometría del cimiento y de la compacidad o consistencia del suelo de apoyo. En la fig. 7 se muestra un gráfico, reportado por Vesic, que permite pronosticar el tipo de falla, en el caso de arenas. (Lopez & Rivera, 2015)



**Figura 7:** Forma típicas de fallas en arenas.

**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

En el caso de falla general, Terzaghi propone las siguientes expresiones, para calcular la capacidad de carga última: (Lopez & Rivera, 2015)

Cimientos cuadrados

$$q_c = 1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

Cimientos circulares

$$q_c = 1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.6 \gamma R N_\gamma$$

Para suelos puramente cohesivos  $\phi = 0$ , en este caso  $N_c = 5.7$ ;  $N_q = 1$  y  $N_\gamma = 0$ .

### 2.1.2. Referencias del Tema.

En este capítulo se ha creado un marco de referencia con trabajos de autores en los temas de interés para este estudio, que forma parte del conocimiento técnico de información, para la elaboración de nuestro tema de estudio, todas estas recopilaciones la obtenemos por medio de la herramienta informática del internet.

**Universidad:** Universidad Central del Ecuador Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática carrera de Ingeniería Civil

**Tema:** Guía para el mejoramiento de la capacidad de carga en terrenos de consistencia blanda a media

**Autor:** Núñez Solís Luís Oswaldo; Rodas Romo Nicolay Israel

**Fecha:** QUITO, ECUADOR 2015

**Resumen:**

(Nuñez & Nicolay, 2016) El presente trabajo de investigación recopiló y aplicó conocimientos referentes a la mecánica de suelos, mediante los cuales se ha evaluado la capacidad de carga en suelos de consistencia blanda a media, los mismos que se caracterizan por tener una capacidad portante baja, la cual ha sido mejorada considerablemente mediante el proceso de mejoramiento aplicado en el presente trabajo investigativo, el mismo que consiste en la inclusión de capas compactadas de material granular. El sitio elegido para realizar la investigación de campo ha sido el sector del Beaterio al sur de la ciudad de Quito, debido a las características que presenta el suelo de la zona cuya capacidad portante es relativamente baja. En el sitio se ha aplicado capas de mejoramiento empleando material granular, con lo cual la capacidad de carga fue evaluada mediante la aplicación de métodos teóricos considerando principalmente teorías de capacidad de carga sobre suelos estratificados y mediante métodos semi-empíricos con la aplicación de ensayos de placa, tanto sobre el suelo natural, como sobre el suelo natural con capas de mejoramiento, con lo cual se ha verificado que existe un incremento de capacidad de carga considerable de acuerdo al número de capas de mejoramiento compactado que se coloquen sobre el suelo natural.

### **Conclusión:**

(Nuñez & Nicolay, 2016) Por medio de la aplicación de la Teoría de Skempton de capacidad de carga, se ha podido determinar la capacidad de carga última del suelo en estado natural, el cual responde a un valor de  $qu = 1,07 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que el valor de carga admisible considerando un Factor de Seguridad  $FS = 3$  es de  $qa = 0,36 \text{ kg/cm}^2$ , valor que representa una baja capacidad de carga y el mismo no se considera apto para la cimentación de estructuras, motivo por el cual se ha procedido a emplear el método de mejoramiento considerando la inclusión de capas de material granular que responde a las características de una Sub-base Clase II. Empleando las ecuaciones de capacidad de carga en suelos estratificados y considerando el caso en el que el estrato superior es un suelo grueso fuerte y el estrato 193 inferior es un suelo fino suave saturado, se ha podido determinar el valor de capacidad de carga última sobre suelo natural con mejoramiento de 0,15m, el cual equivale a un valor de  $qu = 2,09 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que el valor de carga

admisible considerando un Factor de Seguridad  $FS = 3$  es de  $qa = 0,70 \text{ kg/cm}^2$ , valor que puede representar un suelo blando, el mismo que comparado con el obtenido en estado natural ha incrementado un 94,55%. Empleando las ecuaciones de capacidad de carga en suelos estratificados y considerando el caso en el que el estrato superior es un suelo grueso fuerte y el estrato inferior es un suelo fino suave saturado, se ha podido determinar el valor de capacidad de carga última sobre suelo natural con mejoramiento de 0,30m, el cual equivale a un valor de  $qu = 3,20 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que el valor de carga admisible considerando un Factor de Seguridad  $FS = 3$  es de  $qa = 1,07 \text{ kg/cm}^2$ , valor que identifica al suelo como un material semi-duro, el mismo que comparado con el obtenido en estado natural ha incrementado un 198,50%.

### **Recomendación:**

(Nuñez & Nicolay, 2016) Toda obra civil como paso previo a iniciar los procesos constructivos, deberá analizar los resultados obtenidos de los estudios de suelos realizados en la etapa de factibilidad del proyecto, los mismos que son desarrollados por equipos técnicos consultores y deberán garantizar la veracidad de los resultados obtenidos. Todos los ensayos de suelos desarrollados en laboratorio deben ser realizados considerando las apreciaciones de los diferentes equipos y verificando la correcta calibración de los mismos, esto con la finalidad de obtener los resultados más exactos de las muestras ensayadas, a fin de que los resultados obtenidos tengan el respaldo técnico necesario y el diseñador pueda tener la confianza necesaria para proceder con el diseño de la cimentación de estructuras. El número de perforaciones debe ser el necesario para cubrir el área en estudio y a su vez se debe establecer de acuerdo a la importancia de la obra. Se recomienda realizar mínimo dos perforaciones cada 300,00m<sup>2</sup> o para estructuras de hasta dos plantas. A su vez, se recomienda que la separación máxima entre perforaciones no sobrepase los 20 o máximo 30 metros dependiendo del tipo de terreno sobre el cual se desarrolle el estudio. El ensayo SPT debe ser desarrollado procurando principalmente que el martillo tenga una trayectoria completamente vertical y que la altura de caída del mismo sea la establecida en el ensayo, esto con el fin de obtener el número de golpes exactos que el suelo en estudio es capaz de soportar.

**Universidad:** Universidad Nacional de Huancavelica Facultad de Ingeniería de Minas, Civil, Ambiental escuela profesional de Ingeniería Civil

**Tema:** Estudio y diseño de cimentaciones para vivienda en el sector Pucarumi distrito de ascensión Huancavelica - 2014

**Autor:** Ayaipoma Toralva Omar Rafael; Huaman Alanya Jlmmy

**Fecha:** LIRCAY HUANCAVELICA - 2015

**Resumen:**

(Ayaipoma & Jymmi, 2016).La presente investigación está orientada al diseño de cimentaciones para viviendas u otros proyectos por realizar en el sector de Pucarumi, para lo cual se realizó el estudio de las mecánicas de las propiedades de suelo de este sector, con el propósito de micro zonificar y tener una referencia a la capacidad portante que esta presenta. Durante la investigación, se recolecto y analizo las muestras de las diferentes calicatas realizadas siendo tratadas en un laboratorio de mecánica de suelo (laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad nacional de Huancavelica) se pudo determinar y microzonificar tres zonas con características propias Se modelo una vivienda estándar con las dimensiones de 7 por 15 metros de 4 niveles, a la cual se realizó su redimensionamiento así como el análisis y metrado de cargas, que se presenta en el trabajo Una vez teniendo la capacidad portante del terreno por micro zonas, así como las fuerzas del edificio que serán transmitidas al terreno a través de las zapatas, se prosiguió con el diseño de estas, logrando obtener u tipo determinado de zapatas para cada zona y cada columna, siendo esta zapatas centrales, esquinaras y centrales, logrando consolidar en una transmitirá las columnas. Finalmente esta investigación muestra información será de gran utilidad en la planificación del crecimiento Urbano del Sector de Pucarumi, ya que realizar estos estudios es un poco costoso para la población del sector y al no contar con esto se construyen viviendas con déficit en cuanto a su diseño y tipo de cimentación que es necesario según cada micro-zona determinada. Xii

## **Conclusión.**

(Ayaipoma & Jymmi, 2016) Se ha logrado definir la estratigrafía del suelo, con sus respectivas propiedades básicas, describiendo las características y propiedades de los suelos, con el objetivo de contar con información para una adecuada gestión territorial que tienda a mitigar problemas presentes en el Sector de Pucarumi - Ascensión Huancavelica. Para este sector se logró diseñar las zapatas aisladas, las cuales son cimentaciones superficiales frecuentemente usadas en las construcciones, si estas no tienen un buen diseño sufren un conjunto de daños generados por diferentes factores. Estos factores modifican la geomorfología de los suelos ocasionando fisuras, grietas, rajaduras, oxidaciones, desprendimientos, degradaciones, etc. debilitando poco a poco los elementos del edificio en contacto con el terreno como son las cimentaciones. Algunas áreas de zona 1 del sector de Pucarumi podrían estar sujetas a densificación e inclusive a licuación, como se ha podido detectar visualmente por las faldas del cerro adyacentes, así como deslizamientos de roca y tierra suelta existentes.

## **Recomendación.**

(Ayaipoma & Jymmi, 2016) Se recomienda realizar un estudio integral de sub drenaje y drenaje de las aguas fluviales y pluviales del Sector estudiado ya que presenta ojos de agua los cuales han sido canalizados artesanalmente, lo cual podría traer consigo filtraciones si no se canaliza debidamente. Recomendar a los pobladores del Sector de Pucarumi tener en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio así como las conclusiones y recomendaciones establecidas válidas para el área del Sector estudiado. Ampliar el presente trabajo de investigación tomando un análisis químico para ver la agresividad de los suelos pueda causar a las cimentaciones, ya que se encontró ojos de agua que emanan durante todo el año los dos diferentes puntos que son controlados a través de canales artesanales. Hacer de conocimiento y concientizar a la población de este sector para que tomen las consideraciones, que se menciona en el presente estudio para que no tengan problemas más adelante con la estructura de sus viviendas así como poder

economizar a la hora de hacer el diseño de sus viviendas al no sobredimensionar algunas estructuras.

**Universidad:** Universidad Internacional del Ecuador escuela de Ingeniería Civil.

**Tema:** Proceso constructivo de cimentaciones para edificaciones de hormigón armado de hasta cinco pisos en terrenos saturados, en el barrio santa isabel - cantón quito

**Autor:** Jorge Eduardo Díaz Loachamín

**Fecha:** Quito, Agosto de 2015

### **Resumen.**

(Diaz, 2015) El estudio de la presente investigación contempla el Proceso Constructivo de cimentaciones para Edificaciones de hasta cinco pisos en suelos saturados, en el Barrio Santa Isabel de Amaguaña - Parroquia de Amaguaña, Provincia de Pichincha, realizando una investigación relacionada a los métodos tradicionales utilizados en este sector para la construcción de viviendas, ya que el sector está asentado en un terreno donde su contenido de humedad y aguas subterráneas son altas.

(Diaz, 2015) La parte más fundamental de una construcción de vivienda está en la correcta ejecución de la cimentación, por lo tanto, debido al incremento poblacional del sector y a la necesidad de cada familia de construir sus viviendas, es preciso implementar un proceso adecuado para construir cimentaciones, en un lugar donde las aguas subterráneas son imperiosas y la humedad por ascensión es alta. Es muy frecuente observar en este sector, viviendas que han sido construidas bajo los parámetros mencionados anteriormente, por esta razón se observa a simple vista las falencias constructivas, tales como asentamientos totales y diferenciales, las cuales han ocasionado fisuras en las edificaciones. Probablemente en un futuro estas construcciones se verán comprometidas con ser derrocadas ya que es un peligro eminente para la población, especialmente para las personas que habitan en cada una de ellas

## **Conclusión.**

(Díaz, 2015) La mejor propuesta, por costo y manejabilidad es la OPCIÓN No. 1, que incluye tuberías perforadas de varios diámetros. Se ha determinado que el nivel freático del sector es alto, por lo que las viviendas construidas sufren asentamientos, fisuras en paredes y losas y desprendimiento de enlucidos por ascensión de humedad capilar. Con el estudio realizado se beneficiará al 55% de la población, obteniendo construcciones de mayor calidad. El tipo de cimentación predominante para las construcciones que están construidas en el sector son zapatas aisladas, por lo que en gran porcentaje, con el estudio realizado se ha mantenido este tipo de zapatas, por ser relativamente manejables en la obra y no encarecen los proyectos. Para construcciones, cuyo diseño arquitectónico demanden de columnas con luces muy cortas necesariamente predominará la zapata combinada. Cuando el diseño estructural lo requiera, la excavación para las zapatas será acampanada para incrementar el área de esfuerzo del suelo. Para poder determinar el tipo de cimentación a utilizar, fue necesario conocer las propiedades y características de cada uno de los suelos encontrados, así como su granulometría y plasticidad.

## **Recomendación.**

(Díaz, 2015) El tiempo entre la excavación de los plintos y la fundición del mismo (replanteo, parrilla, columna) no deberá sobrepasar las 4 horas puesto que el nivel freático se acumula ostensiblemente, dificultando las tareas de los obreros. El mejoramiento del suelo deberá realizarse con material granular (Base clase 3). La planificación de la exploración del subsuelo deberá realizarse en base a sondeos con el propósito de conocer las condiciones naturales en las que se encuentra el terreno donde se pretende construir, dicha exploración se llevará a cabo según el tipo de obra, se recomienda que la cantidad y profundidad de los sondeos sean propuestos por el ingeniero de suelos. Se sugiere que los profesionales, ingenieros civiles que se dedican a la construcción de cimentaciones, cuenten con los equipos, accesorios y mano de obra calificada para garantizar la calidad de los procesos constructivos de la cimentación. Sería conveniente que los entes reguladores de la construcción en nuestro país, tales como municipios, ministerios, etc.,

capaciten a los obreros para que los proyectos de construcción, cuenten con una mejor mano de obra calificada.

**Universidad:** Universidad Privada del Norte Facultad de Ingeniería carrera de Ingeniería Civil.

**Tema:** Zonificación mediante el sistema unificado de clasificación de suelos (sucs) y la capacidad portante del suelo, para viviendas unifamiliares en la expansión urbana del anexo lucmacucho alto - sector lucmacucho, distrito de cajamarca

**Autor:** María Emérita Briones Alva; Nelson Ulices Irigoín Gonzales

**Fecha:** Cajamarca – Perú 2015

### **Resumen.**

(Briones & Irigoín, 2016). La presente tesis tuvo como objetivo zonificar el Anexo Lucmacucho Alto mediante la clasificación de suelos (SUCS) y la capacidad portante del suelo para viviendas unifamiliares en la expansión urbana del sector. Hoy en día las diferentes ciudades experimentan un acelerado proceso de urbanización, cuyos habitantes construyen sus viviendas en zonas inestables, debido a que no se realizan estudios que garanticen la estabilidad de suelo de fundación; realidad que se vive en el Sector Lucmacucho Alto y situación que se pretende mejorar con la presente tesis, es por ello que se decidió investigar la zonificación del Anexo Lucmacucho Alto. La investigación se basó fundamentalmente en obtener la capacidad portante del suelo existente en la zona, haciendo uso de la fórmula de Terzaghi y los parámetros característicos del suelo, mediante tablas se determinó la cohesión y ángulo de fricción interna de los tipos de suelos, encontrados en función a la clasificación de los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS), en las 17 calicatas distribuidas por el método de la cuadrícula en un área aproximada de 6 hectáreas, considerando además como datos asumidos para el cálculo una profundidad de 1.50 m y un ancho de 0.80 m de cimiento corrido, cimentación más común en la construcción de viviendas unifamiliares. Como resultado se obtuvo que, el suelo de la zona en estudio a una profundidad de 1.50

m presenta una capacidad portante admisible de diseño que varía de 0.19 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.03 Kg/cm<sup>2</sup>, y los siguientes tipos de suelos: Limo arenoso (ML), arcilla ligera arenosa (CL), arena limosa (SM), limo elástico arenoso (MH), arenas arcillosas (SC), arcillas limosas orgánicas con baja plasticidad (OL), suelo orgánico con arena (OH), gravas arcillosas (GC) y arenas densas arenosas (CH).

### **Conclusión.**

(Briones & Irigoín, 2016) La hipótesis de la investigación ha sido demostrada: El Anexo Lucmacucho Alto se zonifica como un suelo limoso, arcilloso, arenoso con una capacidad portante admisible de diseño que varía de 0.15 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.1 Kg/cm<sup>2</sup>, los resultados obtenidos se encuentran dentro de estos rangos. El suelo del área en estudio a una profundidad de 1.50 m, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) está constituido básicamente por los siguientes tipos de suelos: Limo arenoso (ML), arcilla ligera arenosa (CL), arena limosa (SM), limo elástico arenoso (MH), arenas arcillosas (SC), arcillas limosas orgánicas con baja plasticidad (OL), suelo orgánico con arena (OH), gravas arcillosas (GC) y arenas densas arenosas (CH). A una profundidad de 1.50 m y en función a su granulometría, límites de Atterberg, proctor, peso específico, contenido de humedad, se obtuvieron el ángulo de fricción y de cohesión de los suelos del sector Anexo Lucmacucho Alto, y considerando además como datos asumidos para el cálculo una profundidad de 1.50 m y un ancho de 0.80 m de cimiento corrido, cimentación más común en la construcción de viviendas unifamiliares, se obtuvo que la capacidad portante admisible de diseño varía de 0.19 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.03 Kg/cm<sup>2</sup>.

### **Recomendación:**

(Briones & Irigoín, 2016) Se recomienda realizar investigaciones comparando las capacidades portantes obtenidas a través SUCS y las tablas de los parámetros característicos del suelo con los Ensayos de Corte directo y triaxial. Se recomienda realizar investigaciones de zonificación geotécnica teniendo en cuenta las formaciones geológicas.

Se recomienda realizar investigaciones sobre el tipo de cimentación más apropiada para dichos suelos estudiados. Se recomienda realizar estudios para determinar la capacidad portante con la teoría de Meyerhof.

**Universidad:** Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería escuela de Ingeniería Civil.

**Tema:** Determinación de los coeficientes para la correlación entre ensayo spt y la capacidad de carga de los suelos en el barrio “nuevo amanecer”.

**Autor:** Juan Fernando Romero Herrer

**Fecha:** Riobamba – Ecuador 2015

### **Resumen.**

(Romero, 2016)Esta tesis fue realizada con el fin de tener datos más exactos en el momento de realizar cálculos referentes a la capacidad portante del suelo y su ángulo de fricción específicamente de las arenas cuando tomamos como punto de partida el Ensayo de Penetración Estándar o también llamado S.P.T. Se realizó la modificación de los factores de las fórmulas para obtener el ángulo de fricción de dos diferentes autores partiendo de un ensayo triaxial. Para esto se tomaron muestras alteradas del suelo en estudio tanto para la realización del ensayo triaxial como también los respectivos ensayos S.P.T de diferentes puntos del suelo del sector en estudio. Luego de obtenidos estos resultados se procedió a realizar la respectiva correlación de los mismos encontrado diferencias representativas entre las formulas clásicas y las propuestas en esta tesis. El cálculo de correlación de las formulas propuestas se las realizo con la ayuda de la herramienta M. Excel. Encontramos que efectivamente los valores de los factores utilizados en las fórmulas empleadas comúnmente para nuestros cálculos tanto de capacidad admisible de suelos como de ángulo de fricción están alejados de la real capacidad del mismo. El presente estudio se lo realizo en forma específica, es decir, esta base de datos servirá simplemente como guía de estudio, los profesionales encargados del diseño y la construcción de algún proyecto en estos barrios deberán necesariamente

realizar un estudio de suelos en el lugar específico de la edificación y con el método adecuado para el tipo de suelo.

### **Conclusión.**

(Romero, 2016) Se concluye que efectivamente los valores de los factores utilizados en las fórmulas empleadas comúnmente para nuestros cálculos tanto de capacidad admisible de suelos como de ángulo de fricción están alejados de la real capacidad del mismo. La cohesión se acerca a cero en todos los ensayos efectuados dando por sentado que el suelo tratado es una arena. Es lógico que las características de los suelos varíen de un sector a otro, y aún más si la diferencia es entre continentes y regiones. En nuestro caso que utilizamos fórmulas ajustadas a suelos de otros países estaríamos sub-dimensionando la capacidad portante del suelo y por tanto sobre dimensionando nuestras cimentaciones, o siendo demasiado conservadores en los valores calculados.

### **Recomendación.**

(Romero, 2016) Continuar con los estudios referentes a las capacidades y propiedades físicas de los suelos de nuestra región ya que las fórmulas utilizadas en nuestros análisis no reflejan la realidad mecánica de los mismos. Realizar un estudio regional y realizar un Mapa geotécnico de nuestra provincia para una correcta utilización de los conceptos a estudiarse. Exigir la presentación del respectivo estudio de suelos para la construcción de edificaciones en los barrios urbano-marginales de la ciudad de Ingeniería Civil Página 64 Riobamba, por parte de las autoridades relacionadas al control de edificaciones para evitar posible asentamiento en las edificaciones. Este estudio se lo realizó en forma específica, es decir, esta base de datos servirá simplemente como guía de estudio, los profesionales encargados del diseño y la construcción de algún proyecto en estos barrios deberán necesariamente realizar un estudio de suelos en el lugar específico de la edificación y con el método adecuado para el tipo de suelo. Actualizar continuamente los conocimientos referentes al tema de suelos para un trabajo de cálculo y diseño más preciso. El ensayo

S.P.T. se lo debe realizar un número mayor de veces en el caso de que los valores varíen notoriamente para tener valores más acertados en el punto de muestreo. Ampliar el estudio a nivel del cantón y la provincia para poder generalizar de mejor manera las modificaciones propuestas.

### **2.1.3. Conceptos generales y técnicos.**

#### **2.1.3.1. Estudio de suelo.**

Es una importante asignatura del currículo de estudios de la Ingeniería Civil que se encarga de estudiar las fuerzas o cargas que son establecidas en la superficie terrestre y el comportamiento de las mismas para determinar el material aplicado y el suelo utilizado en el relleno, siendo obligatoriamente uno de los pasos preliminares, antes de levantar cualquier edificación, conocer las propiedades del suelo y como se pueden utilizar del modo más satisfactorio y económico, en función de la obra proyectada (ARCUS GLOBAL, 2020)

Karl von Terzaghi y Arthur Casagrande son considerados los fundadores de estos importantes estudios. El estudio de mecánica de suelos en si es un análisis que nos ayuda a conocer el tipo de material del que está compuesto el terreno donde pensamos ejecutar la obra, dentro de estos materiales podemos encontrar distintos tipos de arenas, arcillas y rocas. (ARCUS GLOBAL, 2020)

En base a este estudio puede calcularse y diseñar la cimentación y estructura adecuada para el proyecto, el proceso consiste en tomar muestras del suelo del terreno que posteriormente son analizadas en un laboratorio para descubrir los componentes exactos de los que está compuesto el suelo, con los datos arrojados por el estudio entonces podremos saber a ciencia cierta cuál es la capacidad de carga que tiene el suelo en cuestión así como las precauciones que deben tomarse en el cálculo y diseño estructural de la obra. (ARCUS GLOBAL, 2020)

La Mecánica de Suelos es la disciplina que se ocupa de la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas geotécnicos del terreno, estudia las propiedades, el comportamiento y la utilización del suelo como material estructural, de tal manera que las deformaciones y resistencia de este ofrezcan seguridad, durabilidad y estabilidad a las estructuras. (ARCUS GLOBAL, 2020)

Estudia, además, la firmeza del suelo, su deformación y el flujo de agua hacia su interior y hacia el exterior a través de su masa, tomando en cuenta que resulte económicamente factible usarlo como material de construcción. (ARCUS GLOBAL, 2020).

#### **2.1.3.2. Mejoramiento del suelo**

En ciertas condiciones de suelos destinados a la construcción de obras, tales como de uso industrial, para viviendas o infraestructura pública, entre otros, puede ser necesario ejecutar mejoramientos de suelos, dependiendo de los resultados del estudio realizado. Estos casos pueden tratarse de suelos muy blandos, sueltos o saturados, o ser rellenos artificiales no controlados, por ejemplo escombros o rellenos sin antecedentes, entre otros. Asimismo, puede ser aumento de cota del sitio o de capacidad de soporte de suelos blandos, suelos expansivos o la construcción de las capas de apoyos de avenidas, autopistas, radieres, entre otros. (Ampuero, 2016)

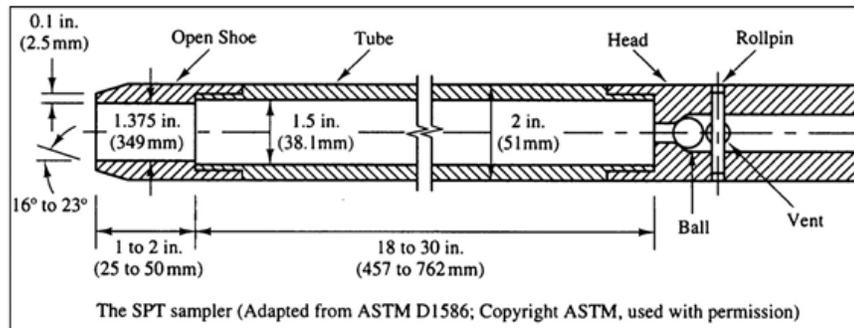
En definitiva, pueden ser muchos los casos en que se requiera realizar labores de tratamiento del suelo antes de comenzar la construcción. (Ampuero, 2016).

#### **2.1.3.3. Ensayo de penetración estándar**

El ensayo de penetración estándar (SPT de la siglas inglesas Standart Penetration Test) consiste en la hinca mediante golpeo de un útil (tomamuestras o cuchara) con geometría de tubo, de 60 cm de longitud, fabricado en acero y seccionado longitudinalmente en dos mitades. Cabe indicar que, al contrario de lo indicado para los ensayos de penetración

dinámica continua, el ensayo SPT cuenta con un recorrido limitado a la longitud del tomamuestras (la hincas se limita a 45 cm o a 60 cm) por lo que se ejecuta en el fondo de la perforación durante la realización de un sondeo geotécnico. (Estudio Geotecnico, 2020).

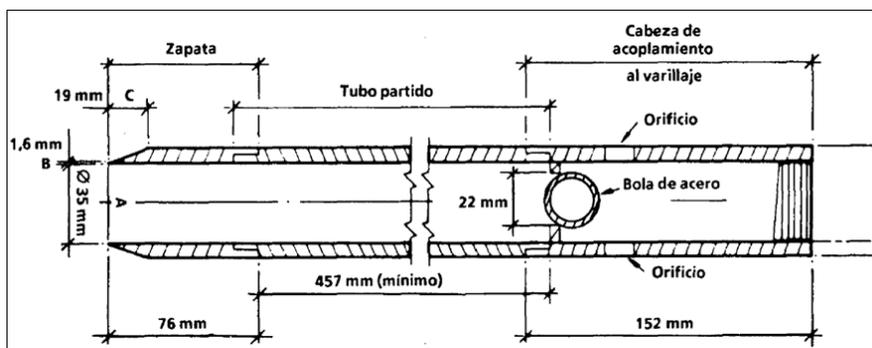
El tomamuestras cuenta con las siguientes dimensiones:



**Figura 8:** S.P.T.

**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)



**Figura 9:** S.P.T.

**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

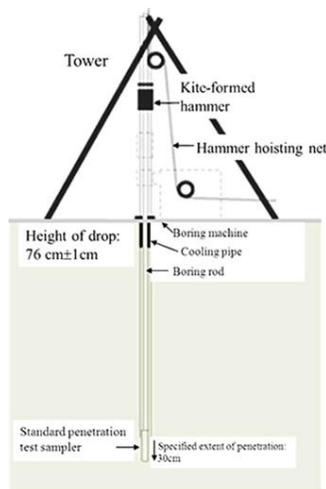
La energía para hincar el tubo se consigue mediante una maza de 63'5 Kg que cae desde 76 cm de altura sobre un yunque, solidario al varillaje que transmite el golpe al útil, situado éste en el fondo de la perforación. (Estudio Geotecnico, 2020)

La longitud de la hincas es de 45 cm, dividiéndose en tres tramos de 15 cm, para cada uno de los cuales se determina el número de golpes necesarios. El primer conteo,

correspondiente a la hincada del primer tramo de 15 cm, se desestima, pues el fondo de la perforación puede encontrarse alterado por la ejecución del sondeo. El resultado del ensayo corresponde a la suma de los conteos de la segunda y tercera tanda (30 cm). (Estudio Geotecnico, 2020)

En algunos países es costumbre añadir un conteo adicional (otra tanda de 15 cm) hincando el tomamuestras hasta los 60 cm, a fin de obtener una valoración cualitativa de la compacidad o consistencia de un tramo más del terreno, e incrementar también la cantidad de la muestra obtenida hasta el límite de capacidad de la cuchara. Una vez realizado el ensayo, se recupera el tomamuestras, del cual se obtiene una muestra representativa (siempre que la granulometría del terreno sea tal que no quede falseada por el diámetro de la cuchara.) (Estudio Geotecnico, 2020)

Para evitar la caída de la muestra del tubo en operaciones bajo el nivel freático por empuje del agua se coloca en la parte superior del tomamuestras una válvula de bola, que hace asiento en la cabeza del tubo e impide que el agua descienda y presione la muestra; por encima de la bola se ubican dos agujeros por donde se expulsa el agua. (Estudio Geotecnico, 2020)



**Figura 10:** toma de muestra.

**Fuentes:** (Lopez & Rivera, 2015)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Para realizar un uso adecuado del valor obtenido del ensayo (NSPT o N30), el mismo debe ser corregido en función de la profundidad a la que se realiza el ensayo, de la eficiencia del dispositivo de golpeo respecto a la eficiencia estándar (estimada del 60 % de la energía cinética teórica), de la situación del nivel freático, así como de otras particularidades del procedimiento de realización. La notación habitual que designa el valor corregido de NSPT es (N1)60. (Estudio Geotecnico, 2020)

El valor obtenido del ensayo SPT (consignado como NSPT o N30, referido a la penetración de 30 cm de suelo) permite establecer vía correlación, con mayor o menor aproximación o rigor, ciertos parámetros referidos a la resistencia o a la deformabilidad del material, a partir de correlaciones empíricas. Es corriente la estimación del ángulo de rozamiento interno, del módulo de deformación (específicamente en suelos granulares), de la resistencia al corte no drenada en suelos cohesivos saturados (esta correlación acostumbra a tomarse con muchas reservas, y debe ser contrastada con una firme experiencia local), o de la densidad relativa (parámetro bastante en desuso, pues la calificación de la compacidad se refiere por lo común al valor directo del ensayo SPT o a la calificación cualitativa que se desprende del mismo.) (Estudio Geotecnico, 2020)

La validez de dichas correlaciones dependerá de la correspondencia entre el tipo de suelo del caso real y el considerado en el estudio que fundamenta la correlación, por lo que en todo caso deberá atenderse de forma cuidadosa a la aplicabilidad de dichas correlaciones a cada situación. (Estudio Geotecnico, 2020)

En función de golpeo obtenido con el ensayo SPT se puede determinar cualitativamente la compacidad de los suelos granulares, según indica la siguiente tabla: (Estudio Geotecnico, 2020)

TABLA 2

Compacidad	NSPT
Muy suelta	< 4
Suelta	4 a 10
Medianamente compacta	10 a 30
Compacta	30 a 50
Muy compacta	> 50

Fuente: (Estudio Geotecnico, 2020)

Al igual que se reseñó en el caso de los ensayos de penetración dinámica continua y de su relación respecto a los parámetros intrínsecos de los suelos, también en el caso del ensayo SPT es imprescindible una firme base sobre la experiencia local para su aplicación en suelos cohesivos. En base a los resultados del ensayo se puede establecer una calificación de la consistencia del terreno coherente, por ejemplo, según la siguiente tabla: (Estudio Geotecnico, 2020)

TABLA 3

Consistencia	NSPT
Muy blanda	< 2
Blanda	2 a 4
Medianamente firme	4 a 8
Firme	8 a 15
Muy firme	15 a 30
Dura	> 30

Fuente: (Estudio Geotecnico, 2020)

#### **2.1.3.4. Arcillas.**

Según Pablo (1964), una arcilla es "Una asociación de minerales arcillosos (silicatos complejos hidratados de aluminio), de pequeño tamaño de partículas originada por la alteración hidrotermal de rocas ígneas (granitos, riolitas, dioritas, basaltos) bajo condiciones propias de presión, temperatura, acidez, etc.," (Cango Apolo, 2017).

#### **2.1.3.5. Limos.**

Según Sowers (1972), "es cualquier suelo de grano fino con un diámetro de partículas que varía de 0.0039 mm a 0.0625 mm con baja plasticidad". (Cango Apolo, 2017).

### **2.1.3.6. Contenido de humedad.**

El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y en el uso del agua que guarda, esto se expresa en término de porcentaje. El contenido de humedad es de gran importancia en la construcción civil, ya que el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción esta rígidos por la cantidad de agua que contiene, (VELASQUEZ, 2016), su ecuación para el cálculo del contenido de humedad es:

$$W = \frac{W_s}{W_w} * 100$$

W = contenido de humedad expresado en %

Ws = peso de las partículas solidas

Ww = peso del agua existente en la masa de suelo

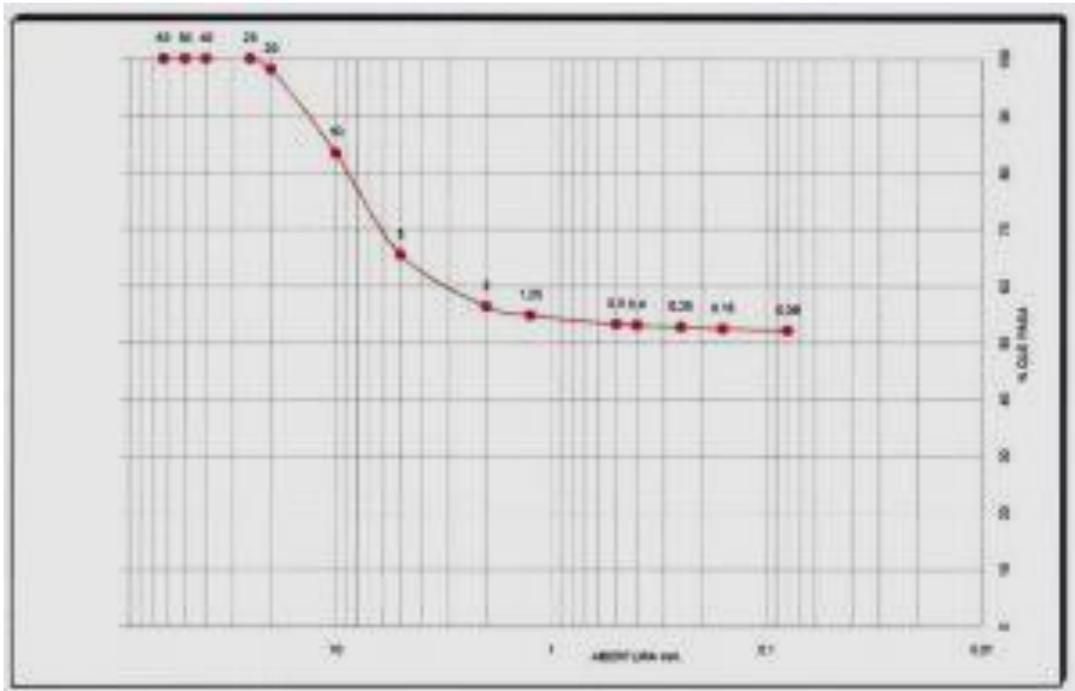
### **2.1.3.7. Análisis granulométrico**

El análisis granulométrico de los suelos o granulometría de suelos es uno de los ensayos más básicos y sencillos para caracterizar un suelo, pero no por ello menos importante. De hecho, únicamente con este ensayo ya podemos aproximarnos a las características geotécnicas principales del suelo como por ejemplo la capacidad portante,

deformabilidad o permeabilidad. En España se rige por la norma UNE 103101. Permite, junto con los límites de Atterberg y los ensayos de estado, identificar claramente un suelo. No obstante, estos ensayos nunca deben sustituir la testificación in situ por un geólogo experimentado. La granulometría por tamizado consiste en confeccionar la curva granulométrica de una muestra, la cual es representativa de la distribución de los tamaños de las partículas. Para ello se hace pasar una muestra ya sea inalterada o alterada por tamices o mallas por vía seca con diferentes aberturas, desde aberturas de 125 mm hasta aberturas de 0,075 mm (tamiz nº200). Para tamaños de partículas inferiores se emplea la granulometría por sedimentación mediante el higrómetro. Este ensayo es menos común que el anterior y normalmente se emplea en casos muy específicos donde es necesario determinar el porcentaje de partículas finas. (GEOTECNIA FACIAL, 2017),

#### **2.1.3.8. Procedimiento granulometría por tamizado**

De forma simplificada la granulometría se ejecuta de la siguiente forma. Primero se toma una cantidad representativa de muestra, se seca, se disgrega y se pesa el conjunto. Posteriormente se hace pasar por los diferentes tamices para granulometría de suelos dispuestos de mayor a menor abertura mediante agitación. Por último, se pesa el material retenido en cada tamiz, con lo que, conocido el peso inicial de la muestra, puede determinarse el porcentaje de material que queda retenido en cada tamiz. A partir de estos datos se confecciona la curva granulométrica tal y como puede verse en la siguiente imagen. (GEOTECNIA FACIAL, 2017)



**Figura 11** Curva granulométrica.  
**Fuentes:** (GEOTECNIA FACIAL, 2017)  
**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

### 2.1.3.8.1. Coeficiente de uniformidad $c_u$

Se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso del material y el diámetro por el que pasa el 10% del material:  $c_u = d_{60}/d_{10}$ . Si el coeficiente de uniformidad es menor de 5 la granulometría es uniforme, si está comprendido entre 5 y 20 el suelo es poco uniforme y si es mayor de 20 se trata de un suelo bien gradado. (GEOTECNIA FACIAL, 2017)

### 2.1.3.8.2. Coeficiente de curvatura $c_c$

Se define como  $c_c = ((D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60}))$  y mide el grado de curvatura de la granulometría. (GEOTECNIA FACIAL, 2017). Un suelo bien gradado tendrá un porcentaje en huecos menor y por tanto tendrá una densidad mayor, serán suelos menos

compresibles, más impermeables y más fáciles de trabajar en obra. (GEOTECNIA FACIAL, 2017)

### **2.1.3.9. Límite de atterberg**

#### **2.1.3.9.1. Límite líquido**

El límite líquido es un ensayo que se determina de forma estandarizada mediante la cuchara de Casagrande. Para ello se mide la humedad de un suelo en un surco que se cierra una distancia aproximada de 13 mm tras dejar caer la cuchara de Casagrande 25 veces desde una altura de 1 cm. El surco se realiza con un acanalador estandarizado. Cabe comentar que el ensayo se realiza aproximadamente con 100 g de muestra que previamente han pasado por el tamiz nº40 de la serie ASTM o 0,40 UNE y se mezcla con agua destilada. El límite líquido se suele representar con las letras LL. (GEOTECNIA FACIAL, 2017)



**Figura 12:** Cuchara de casa grande.  
**Fuentes:** (GEOTECNIA FACIAL, 2017)  
**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

### 2.1.3.9.2. Limite plástico.

El límite plástico se determina mediante la formación de pequeños cilindros en la palma de la mano sobre una superficie lisa de unos 3 mm de diámetro y 25-30 mm de longitud. En el momento en el que los pequeños elipsoides se cuartean en trozos de aproximadamente 6 mm se ha alcanzado la humedad del límite plástico. Al igual que en el ensayo del límite líquido, la muestra debe haber pasado por el tamiz nº40 ASTM o 0,4 UNE. Se suele representar con las siglas LP. (GEOTECNIA FACIAL, 2017)



*Figura 13:* Limite plástico.

*Fuentes:* (GEOTECNIA FACIAL, 2017)

*Elaborado por:* Arauz, C.. (2021)

### 2.1.3.9.3. Carta de plasticidad.

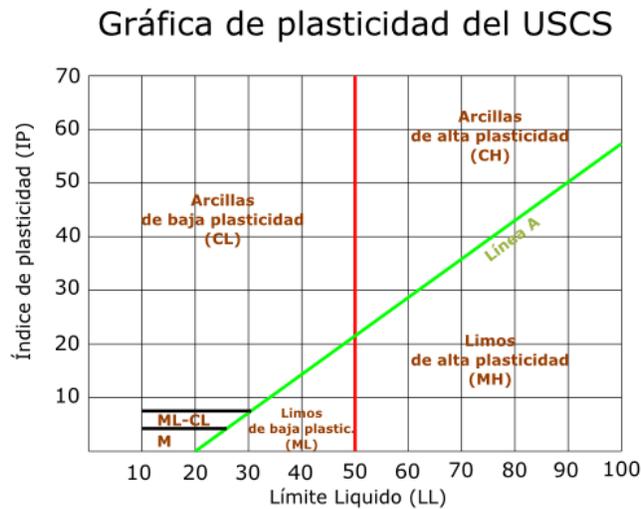
Esta carta es utilizada sistemáticamente en la clasificación unificada de suelos. El límite líquido y límite plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos arcillosos (cohesivos). Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo. (GEOTECNIA ONLINE, 2020)

Casagrande (1932) estudió la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad, basada en los Límites de Atterberg. La característica

importante de esta carta es la línea A empírica, dada por la ecuación: (GEOTECNIA ONLINE, 2020)

$$PI = 0.73(LL - 20)$$

La línea A separa la arcilla inorgánica del limo inorgánico. **Norma ASTM D-2487**



**Figura 14:** Carta de plasticidad.  
**Fuentes:** (GEOTECNIA ONLINE, 2020)  
**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

### 2.1.3.10. Ensayo de Consolidación.

En una situación real, donde es preciso resolver un problema de consolidación de suelos, es necesario determinar no solo el tiempo en el cual se produce la consolidación sino también la magnitud del asentamiento que tendrá lugar debido a la deformación del suelo. La muestra a utilizar será inalterada ya que la consolidación depende de la estructura del suelo. La muestra a utilizar en el ensayo es cilíndrica con una altura pequeña en comparación al diámetro de la misma. Esta muestra se coloca dentro de un anillo metálico que impide la deformación transversal de la misma, por lo tanto el cambio de volumen viene dado únicamente por la disminución de la altura. Dicho anillo, a su vez es colocado entre dos piedras porosas que permiten el drenaje por ambas caras. El anillo con la muestra y las piedras porosas, es colocado en un recipiente con agua, para que la muestra está saturada durante la totalidad del ensayo.

En contacto con el dispositivo descrito, llamado consolidometro. Se coloca un fleximetro o LVDT (transductor diferencial de variación lineal) que mide la deformación en sentido vertical. El conjunto se ubica en un marco de carga. La aplicación de la carga se realiza a través de un brazo de palanca. Se somete la probeta a distintos escalones de carga, manteniendo cada uno de ellos el tiempo necesario hasta que la velocidad de deformación se reduzca a un valor despreciable. Por cada escalón de carga, se realizan mediciones de la deformación para diversos tiempos, y luego se traza con los datos obtenidos la gráfica deformación versus el logaritmo del tiempo o la gráfica deformación versus raíz del tiempo, dichas graficas son llamadas curvas de consolidación. (Sierra, 2007)

Antes de aplicar un nuevo escalón de carga, se registra el valor final de la deformación. Con este dato, con la altura inicial, y con el peso seco de la muestra puede determinarse el valor de la relación de vacíos correspondientes al escalón de carga en cuestión. Este proceso se repite en cada incremento de carga. Al final del ensayo, se tiene, para cada uno de ellos, un valor de relación de vacíos, con estos datos, se puede trazar una gráfica en la cual en las abscisas se coloca los valores de presiones (carga sobre el área de la muestra) correspondiente a cada escalón de carga en escala logarítmica, y en las ordenadas las relaciones de vacíos correspondientes. Esta curva es llamada curva de compresibilidad. Con las curvas de consolidación y de compresibilidad se determina los parámetros necesarios para realizar los cálculos de tiempos de consolidación ( $C_v$  y asentamiento ( $C_c$  ;  $C_r$ ), (Sierra, 2007)



**Figura 15 :** Implementos para el ensayo de consolidación.

**Fuentes:** : (Sierra, 2007)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

### 2.1.3.11. Método de Casagrande.

. En el grafico deformación vs log t

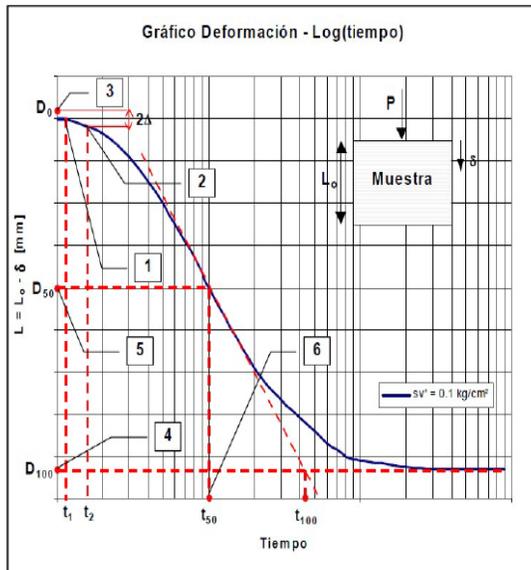
1. En la parte inicial parabólica de la curva marcar  $t_1$  (si la parte inicial no es parabólica, utilizar  $D_0$  asociado a  $t = 0$  y seguir en el paso 4)
2. Marcar  $t_2 = 4 T_1$ . Definidos  $t_1$  y  $t_2$ , ellos determinan sobre la curva la distancia vertical  $\Delta$ .

Dibujar la distancia  $2\Delta$ , y encontrar  $D_e$  de la curva teórica de consolidación se puede demostrar que esta se aproxima a una parábola en el intervalo entre 0 y el 50 % de consolidación, con la realización de los ensayos se puede determinar la curva de consolidación real la cual debería de coincidir con la curva teórica si cumplimos con las hipótesis de la teoría. De esta relación se puede trazar la curva de consolidación con los datos obtenidos del laboratorio en forma descendente, desde el 0% al 100% de la consolidación y los valores de compresión medidos a través del tiempo.

1. Casagrande propone un método grafico para hallar el coeficiente de consolidación ( $C_v$ ) a partir de los datos obtenidos en el ensayo de consolidación. Primero debe calcularse la presión de tapada ( $\sigma'$ ) y la

sobrecarga a aplicarse ( $\Delta\sigma'$ ), después de proceder a trazar el escalón de cada carga que representa la situación in situ del estado de tensiones impuesto, la curva deformación vs Log t., obteniendo la curva de consolidación en escala semilogarítmica, el método consiste en determinar el tiempo en el cual se desarrolla el 50 % de la consolidación primaria, según los siguientes pasos. (Metodo Casagrande y Taylor, 2018)  $D_0$  en el eje de las ordenadas.

2. Dibujar la proyección horizontal del final de la curva de deformación e interseccionarla con el eje de las ordenadas, punto que define  $D_{100}$ .
3. Encontrar  $D_{50}$ , como la distancia entre  $D_0$  y  $D_{100}$  en el eje de las ordenadas.
4. Proyectar  $D_{50}$  en la curva de deformación y encontrar  $t_{50}$  en el eje de las abscisas.



**Figura 16:** Curva Deformación vs Logaritmo de Tiempo.

**Fuentes:** : Mecánica de Suelo II

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Calcular  $C_v$  como:

$$Cv = \frac{Tv(U = 50\%). H^2}{t50}$$

Donde:

- Tv es el factor de tiempo para U = 50%
- H = altura inicial de la muestra (drenaje simple) o ½ altura inicial de la muestra (drenaje doble).

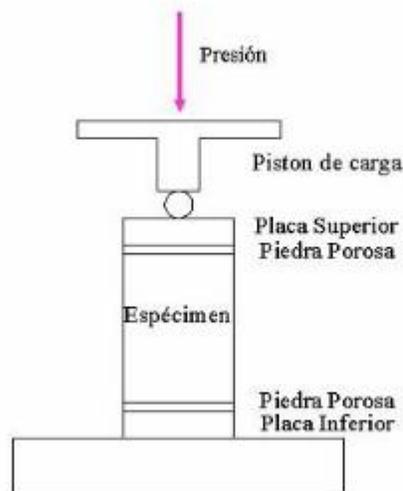
#### **2.1.3.12. Ensayo de compresión simple**

El procedimiento tal vez más intuitivo y más simple de valorar la resistencia de un material consiste en someterlo a un esfuerzo axial llevado hasta rotura. Por lo general, este sistema se utiliza en gran variedad de materiales en el ámbito de la ingeniería, y en especial para aquellos en los que se supone una situación de servicio a compresión y de los cuales llega incluso a desestimarse en un cálculo simplificado su resistencia a tracción, tal cual no es inusual en el caso del hormigón, de los aglomerados asfálticos o de las rocas ornamentales. El ensayo de rotura a compresión se utiliza con profusión como parámetro supervisor en el control de calidad de materiales. (SOLUM DE VENEZUELA C.A., 2018).

Para el caso de suelos, la estimación de la resistencia, y en especial, de la resistencia al esfuerzo cortante, requiere de consideraciones más específicas, por lo que la resistencia a la compresión simple por sí misma únicamente es suficiente para valorar la resistencia al corte no drenado (o cohesión no drenada, ver punto 3.3.) en arcillas saturadas.

En el laboratorio de mecánica de suelos la metodología de ensayo es similar a la que se utiliza en cualquier otro laboratorio de materiales, utilizando una prensa de compresión uniaxial con una resolución de medida y registro adecuados, y consistiendo de forma resumida en las siguientes operaciones: (SOLUM DE VENEZUELA C.A., 2018)

- Obtención de una muestra representativa del terreno (por lo general, correspondiente a una muestra inalterada tomada bien en sondeo, o bien por medios manuales en una calicata o un afloramiento.)
- Tallado cuidadoso de una probeta y refrentado (si procede) de las caras de misma que vayan a estar en contacto con los platos de la prensa. Deberá ponerse especial cuidado en que las condiciones de la probeta no se vean alteradas antes del ensayo, evitando su desecación y su alteración mecánica.
- Rotura a compresión uniaxial, por lo general a velocidad (deformación axial) constante, tomando lecturas de la relación entre la deformación y el valor de la carga aplicada

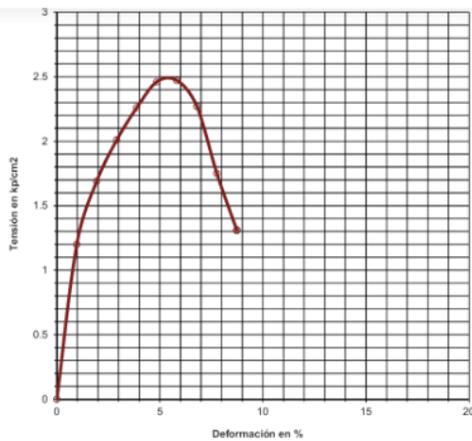


**Figura 17:** Forma típicas de fallas en arenas.

**Fuentes:** : Mecánica de Suelo II

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Esquema del ensayo de compresión simple



**Figura 18:** esquema compresión simple.

**Fuentes:** : (Lopez & Rivera, 2015)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Representación gráfica convencional de la rotura a compresión simple de un suelo (según norma UNE 103.400-93), nótese que en abscisas se indica la deformación en función del porcentaje de la altura inicial de la probeta (cortesía de GEOPAYMA) (SOLUM DE VENEZUELA C.A., 2018)



**Figura 19:** ensayo de compresión simple.

**Fuentes:** : (Lopez & Rivera, 2015)

**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

Como se observa, si bien el procedimiento es muy semejante al que se utiliza en la realización de ensayos de rotura a compresión para probetas de hormigón (por ejemplo) difiere del mismo en que se controla la velocidad de deformación en lugar de la velocidad de carga. El registro de valores deformación / tensión permite la representación de la curva de rotura, de la cual pueden ser obtenidos parámetros adicionales: el módulo de deformación inicial o entre intervalos determinados de la curva, los módulos tangentes y secante, etc. (SOLUM DE VENEZUELA C.A., 2018)

#### **2.1.4. Espuma de poliuretano**

La espuma de poliuretano (PUR) es un polímero termoestable de celda cerrada. Los polímeros de poliuretano se forman tradicional y más comúnmente haciendo reaccionar un di- o poli-isocianato con un polioliol. El aislamiento de espuma de poliuretano está disponible en fórmulas de celda cerrada y de celda abierta. La espuma de poliuretano se puede usar como aislamiento de la pared de la cavidad o como aislamiento del techo, aislamiento del piso, aislamiento de tuberías, aislamiento de instalaciones industriales. Los paneles aislantes hechos de PUR se pueden aplicar a todos los elementos de la envolvente del edificio. Otro aspecto importante es que el PUR también se puede inyectar en las paredes de la cavidad existente, utilizando las aberturas existentes y algunos agujeros adicionales. (Thermal Engineering, 2019)

##### **2.1.4.1. Conductividad térmica de espuma de poliuretano**

Se define como la cantidad de calor (en vatios) transferida a través de un área cuadrada de material de espesor dado (en metros) debido a una diferencia de temperatura . Cuanto menor sea la conductividad térmica del material, mayor será la capacidad del material para

resistir la transferencia de calor y, por lo tanto, mayor será la efectividad del aislamiento. Valores de conductividad térmica típicas para espumas de poliuretano son entre 0.022 y 0.035W / m · K. (Thermal Engineering, 2019)

En general, el aislamiento térmico se basa principalmente en la muy baja conductividad térmica de los gases. Los gases poseen malas propiedades de conducción térmica en comparación con los líquidos y los sólidos, y por lo tanto son un buen material de aislamiento si pueden quedar atrapados (por ejemplo, en una estructura similar a la espuma). El aire y otros gases son generalmente buenos aislantes. Pero el principal beneficio es la ausencia de convección. Por lo tanto, muchos materiales aislantes (por ejemplo, espuma de poliuretano) funcionan simplemente al tener una gran cantidad de bolsas llenas de gas que evitan la convección a gran escala. La alternancia de la bolsa de gas y el material sólido hace que el calor se transfiera a través de muchas interfaces, lo que provoca una disminución rápida del coeficiente de transferencia de calor. (Thermal Engineering, 2019)

#### **2.1.4.2. Usos y aplicación**

- Funciona como sustancia de aislamiento en techos, sótanos, paredes y áticos.
- Se utiliza en paneles de aislamiento.
- Como aislamiento en el sector industrial en cámaras frigoríficas, tanques, etcétera.
- Es efectivo en lanchas, diques flotantes y barcos.
- Sirve para potenciar la estructura de las alas de los aviones.
- También se utiliza en carrocerías. (RAI. PINTORES, 2018)

#### **2.1.4.3. Otros usos**

- La espuma de poliuretano evita que los techos se levanten e incrementa la resistencia de los marcos de madera en el interior de las paredes.

- Sirve para arreglar irregularidades en las paredes, así como arreglar tuberías de PVC.
- Se emplea en techos, siendo muy útil en la construcción de drenajes y para aumentar la resistencia a la abrasión. (RAI. PINTORES, 2018)

#### **2.1.4.4. Las principales ventajas de la espuma de poliuretano**

- La espuma de poliuretano contribuye con el medio ambiente. Se utiliza para ahorrar energía, por lo que modera el calentamiento global al reducir el consumo de combustibles fósiles.
- El poliuretano fortalece cualquier estructura y la hace resistente ante las vibraciones, el viento y las tormentas.
- Utilizado en el interior de los edificios supone un ahorro considerable de dinero en refrigeración y calefacción.
- Como sellador de estructuras es un magnífico aislante de ruidos.
- Sus propiedades perduran en el tiempo sin que se produzca apenas desgaste.
- Reduce potencialmente el crecimiento de las bacterias y el moho que suelen cobijarse en el interior de las estructuras.
- Su empleo es muy sencillo y su adherencia es magnífica, sin necesidad de utilizar otros métodos o sistemas como adhesivos extra.
- Reduce efectivamente la filtración de ciertos elementos exteriores que resultan contaminantes como los gases.
- Es muy fácil de transportar, pues no se trata de una sustancia voluminosa que requiera un almacenaje especial. (RAI. PINTORES, 2018)

## 2.2. Marco conceptual

**Espuma de poliuretano:** La espuma de poliuretano (PUR) es un polímero termoestable de celda cerrada. Los polímeros de poliuretano se forman tradicional y más comúnmente haciendo reaccionar un di- o poli-isocianato con un polioliol. El aislamiento de espuma de poliuretano está disponible en fórmulas de celda cerrada y de celda abierta

**Capacidad portante:** Es la que permite calcular la presión máxima que puede darse al cimiento por unidad de longitud, sin provocar su falla, se expresa en unidades de presión.  $N_c$ ,  $N_q$  y  $N_\gamma$ , son factores de capacidad de carga, función del ángulo de fricción interna del suelo  $\phi$ .

**Esfuerzo cortante:** Es una fuerza interna que desarrolla el suelo, en respuesta a una fuerza cortante, y que es tangencial a la superficie sobre la que actúa.

**Resistencia al esfuerzo cortante:** Es la tensión que se desarrolla en el plano de corte y en el momento de la falla

**Parámetro de resistencia al suelo:** La cohesión y el ángulo de fricción son los parámetros de la resistencia cortante de un suelo y son determinados en el laboratorio principalmente con dos tipos de ensayo: LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO Y LA PRUEBA TRIAXIAL.

**Contenido de humedad:** El contenido de humedad es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en el horno a una temperatura entre los 105-110 C.

**Límite líquido:** Cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

**Límite plástico:** Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

**Límite de contracción:** Se define como el contenido de humedad al cual un material al ser secado cesa de perder volumen.

**Ensayo de granulometría:** El ensayo consiste en dividir y separar el material mediante una serie de tamices en varias fracciones granulométricas de tamaño decreciente. El método consiste en un lavado del árido y su posterior tamizado vía seca

**Coefficiente de uniformidad:** Se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso del material y el diámetro por el que pasa el 10% del material:  $c_u = d_{60}/d_{10}$

**Coefficiente de curvatura:** Se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso del material y el diámetro por el que pasa el 10% del material:  $C_u = d_{60}/d_{10}$ .

**Compresión simple:** El ensayo de compresión simple o no confinada es un ensayo relativamente sencillo que nos permite medir la carga última a la que un suelo sometido a una carga compresión falla.

**Ensayo endometrio:** ENSAYO EDOMETRICO O DE CONSOLIDACION Su finalidad es determinar la velocidad y grado de asentamiento que experimentará una muestra de suelo arcilloso saturado al someterla a una serie de incrementos de presión o carga

**Ensayo de triaxial:** El ensayo triaxial clásico consiste en someter a una probeta cilíndrica, preparada con una relación altura-diámetro de dos y que se encuentra confinada por medio de una presión hidráulica constante, a una carga vertical creciente hasta producir su rotura.

**Suelo expansivo:** El concepto “Suelo Expansivo” es un término generalmente empleado a cualquier suelo o material rocoso que tiene la capacidad de encogerse e hincharse bajo cambios en las condiciones de humedad. La historia de los suelos expansivos comenzó hace millones de años, durante períodos de volcanismo intenso.

**Tipo esfuerzo:** Las cargas que tienen que soportar las estructuras producen en sus elementos fuerzas que tratan de deformarlos denominadas esfuerzos. Hay 5 tipos de esfuerzos: compresión, tracción, flexión, torsión y cortante. Cuando las fuerzas tienden a chafarlo o aplastarlo.

**Asentamiento del suelo:** Es la deformación vertical en la superficie de un terreno proveniente de la aplicación de cargas o debido al peso propio de las capas

**Asentamiento diferencial:** Los asentamientos diferenciales son los movimientos o desplazamientos relativos de las diferentes partes de una estructura a causa de un asentamiento irregular de la misma, provocados por un desequilibrio de esfuerzos en el suelo.

### **2.3. Marco Legal**

#### **Normas de los ensayos a estudiar.**

Todos los ensayos se los realiza, mediante sus normas respectivas como son la Norma A.S.T.M. (Asociación Americana de Ensayos de Materiales), AASHTO (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), NLT (No Less Than, no menor a ) y INV ( Instituto Nacional de Vías) :

Perforación con broca de diamante para investigación en el sitio **A.S.T.M. D 213, INV E 108**

Muestreo de suelos mediante tubo con camisa interior de anillos **A.S.T.M. D 3550, INV E 109**

Investigación y muestreo de suelos mediante barrenas con vástago hueco **A.S.T.M. D 251 - 77, INV E 110**

Ensayo de penetración normal y muestreo con tubo partido de los suelos **A.S.T.M. D 1586, A.A.S.H.T.O. T 206. INV E 111**

Toma de muestras superficiales de suelo inalterado **N.L.T. 203 - 77, INV E 112**

Contenido de humedad **A.S.T.M. D 2216, INV E 122**

**Granulometría A.S.T.M. D 422 - 77, INV E 123**

**Limite Líquido A.A.S.H.T.O. T 89, INV E 125**

**Limite plástico A.A.S.H.T.O. T 90, INV E 126**

**Compresión Simple A.S.T.M. D 2166, A.A.S.H.T.O. T 208, INV E 152**

**Consolidación A.S.T.M. D 2435, A.A.S.H.T.O. T 216, INV E 151.**

También consideramos las normas **N.E.C. (Norma Ecuatoriana de la Construcción)**, en su capítulo NEC – SE – GC : Geotecnia y Cimentaciones, todas estas **NORMAS** estará en los anexos de este estudio.

## CAPÍTULO III

### 3. Metodología de la investigación

#### 3.1. Metodología de estudio.

Una investigación es un proceso que se lleva a cabo mediante la aplicación de un método científico o experimental encaminado a conseguir información valorable para concebir, comprobar o corregir o el conocimiento del tema de estudio. Para lograr un efecto claro y precisa es necesario emplear algún método de investigación a seguir, ya que la misma posee una serie de diversos caminos para lograr un objetivo programado o para conseguir la información requerida. (Web y Empresas, 2018).

La investigación tiene como principal herramienta el método científico, que es el método de estudio sistemático por excelencia, el cual incluye técnicas de observación, razonamiento y predicción. Para todo tipo de investigación existe un proceso y objetivos puntuales. Todo buen trabajo de investigación debe tener en cuenta algunos elementos básicos en la enunciación de un proyecto, fundamentados en interrogantes como: ¿qué se va a realizar?, ¿con qué?, ¿Cómo se va a realizar?, ¿Cuánto cuesta?, ¿Cuánto dura? entre otras. Reflejadas en pasos posteriores de justificación, además teniendo en cuenta la perspectiva social y económica, los objetivos, la metodología a seguir, el presupuesto y recursos de la misma. (Web y Empresas, 2018).

El método aplicado en el presente estudio es el Descriptivo con enfoque cuantitativo, por el medio del cual se recabará la información necesaria que permita llegar a conclusiones que den respuesta a los objetivos planteados en la presente investigación. El objetivo principal de este informe es mejorar la capacidad portante del estrato de suelo donde se edificara las viviendas.

### 3.2. Tipo de investigación.

Existen varios tipos de investigación, y dependiendo de los fines que se persiguen, los investigadores se decantan por un tipo de método u otro o la combinación de más de uno. En este artículo describiremos tres tipos o métodos de investigación: la descriptiva, la exploratoria y la explicativa. Clasificar una investigación de tipo descriptiva, exploratoria o explicativa tiene que ver con la profundidad de esta; es decir, según el nivel de conocimiento que se desea alcanzar (TIPOS DE INVESTIGACION, 2017)

**Investigación Exploratoria** Las investigaciones de tipo exploratorias ofrecen un primer acercamiento al problema que se pretende estudiar y conocer. La investigación de tipo exploratoria se realiza para conocer el tema que se abordará, lo que nos permita “familiarizarnos” con algo que hasta el momento desconocíamos. Los resultados de este tipo de tipo de investigación nos dan un panorama o conocimiento superficial del tema, pero es el primer paso inevitable para cualquier tipo de investigación posterior que se quiera llevar a cabo. Con este tipo de investigación o bien se obtiene la información inicial para continuar con una investigación más rigurosa, o bien se deja planteada y formulada una hipótesis (que se podrá retomar para nuevas investigaciones, o no). (TIPOS DE INVESTIGACION, 2017)

**Investigación Descriptiva** La investigación descriptiva es la que se utiliza, tal como el nombre lo dice, para describir la realidad de situaciones, eventos, personas, grupos o comunidades que se estén abordando y que se pretenda analizar. En este tipo de investigación la cuestión no va mucho más allá del nivel descriptivo; ya que consiste en plantear lo más relevante de un hecho o situación concreta. De todas formas, la investigación descriptiva no consiste únicamente en acumular y procesar datos. El investigador debe definir su análisis y los procesos que involucrará el mismo. A grandes rasgos, las principales etapas a seguir en una investigación descriptiva son: examinar las características del tema a investigar, definirlo y formular hipótesis, seleccionar la técnica para la recolección de datos y las fuentes a consultar. (TIPOS DE INVESTIGACION, 2017).

**Investigación Explicativa** La investigación de tipo explicativa ya no solo describe el problema o fenómeno observado, sino que se acerca y busca explicar las causas que originaron la situación analizada. En otras palabras, es la interpretación de una realidad o la explicación del por qué y para qué del objeto de estudio; a fin de ampliar el “¿Qué?” de la investigación exploratoria y el “¿cómo?” de la investigación descriptiva. La investigación de tipo explicativa busca establecer las causas en distintos tipos de estudio, estableciendo conclusiones y explicaciones para enriquecer o esclarecer las teorías, confirmando o no la tesis inicia (TIPOS DE INVESTIGACION, 2017).

Se realizará una investigación del tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, en donde se estudiará el esfuerzo cortante que tendrá la espuma de poliuretano para utilizarlo en mejorar el suelo a cimentar, y determinar el espesor adecuado que tendría este material para mejorar los suelos.

### **3.3. Enfoque**

El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. (Fernandez, 2016).

En esta investigación el enfoque es cuantitativo, dado que se realizará una amplia recolección, toma de información, ensayos, datos y magnitudes numéricas entre las cuales podemos nombrar resistencia que tendría este material como es la espuma de poliuretano y mejorar la capacidad portante de este estrato. Al final se medirán las variables y se analizarán los datos obtenidos en la investigación, todo este proceso se debe realizar de

conformidad a lo establecido en las normas y procedimientos, sin relajar la observancia de las mismas, siguiendo un rígido proceso de toma de muestras.

### **3.4. Técnicas de la investigación.**

Las técnicas de investigación son procesos e instrumentos que se utilizan al iniciar el estudio de un fenómeno determinado. Estos métodos permiten recopilar, examinar y exponer la información, de esta forma se logra el principal objetivo de toda investigación, que es adquirir nuevos conocimientos. La elección de la técnica de investigación más adecuada depende del problema que se desea resolver y de los objetivos planteados, motivo por el cual esta elección resulta ser un punto fundamental en todos los procesos investigativos. (lifeder, 2020).

Las técnicas que se van a utilizar en esta investigación son los ensayos de correspondientes de laboratorio. Transportadas las muestras al laboratorio, se llevó a cabo el programa de ensayos siguiente, siguiendo las normas ASTM:

- Contenido natural de humedad D 2487
- Límites de Atterberg D 2216 y D 4318
- Granulometría D 422
- Compresión simple D 2166
- Consolidación D 4186

Los instrumentos utilizados en la investigación son:

- Laboratorio de mecánica de suelo y concreto
- Equipo de laboratorio
- Formatos de laboratorio
- Fichas de observación

Para esta investigación, la primera etapa sería determinar el tipo de estrato a realizar las pruebas de laboratorio de suelo respectivo de acuerdo a las normas especificadas. Para considerar el mejorar la capacidad portante del suelo utilizando la espuma de poliuretano.

### **3.5. Población**

Para la realización de la encuesta es necesario obtener datos estadísticos actuales de la población en el entorno a desarrollar el proyecto, además que dicha encuesta servirá para dar información sobre el tema de la investigación en general a la población, su posible aceptación al mismo y su posible preferencia en relación a los métodos actuales.

Cabe recalcar que dicha encuesta también nos servirá como punto de inicio de la investigación y su justificación para la realización del mismo. Según proyecciones estadísticas del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en la ciudad de Guayaquil existe una población actual de 2,671.801.00 habitantes de los cuales en el último censo del año 2010 el 43.60 % de estos se encuentran entre los 20 y 49 años.

### **3.6. Validez y confiabilidad**

#### **3.6.1. Validez**

“La validez, en términos generales, se refiere al índice en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir” (HERNANDEZ, 2014)

En esta investigación los instrumentos de la recolección de datos que se utilizarán serán 100% válidos ya que se encuentran calibrados y acreditados por la universidad estatal de Guayaquil lo que garantiza la precisión de los instrumentos de ensayo.

### **3.6.2. Confiabilidad**

La confiabilidad de un medidor se refiere al grado en que la aplicación repetida a la misma persona o elemento da como resultado los mismos resultados. (HERNANDEZ, 2014)

Para el presente trabajo de investigación se realizarán ensayos con equipos y herramientas totalmente calibrados y ajustado del laboratorio de la facultad de ingeniería civil de la universidad estatal de Guayaquil lo cual brinda resultados totalmente confiables y que garantiza la veracidad en el presente proyecto de investigación.

### **3.7. Análisis de resultados.**

El análisis consiste básicamente en dar respuesta a los objetivos o hipótesis planteadas a partir de las mediciones efectuadas y los datos resultantes. Para plantear el análisis es conveniente plantear un plan de análisis o lo que se conoce como un plan de explotación de datos. En él se suele detallar de manera flexible cómo vamos a proceder al enfrentarnos a los datos, cuáles serán las principales líneas de análisis, qué orden vamos a seguir, y qué tipo de pruebas o técnicas de análisis aplicaremos sobre los datos. (tecnica de investigacion social, 2017).

Los análisis a realizar serán los estipulados para este tipo de diseño de acuerdo a las normas respectivas, de la misma manera se obtendrá y evaluara los ensayos realizados para obtener el mejoramiento del estrato a cimentar utilizando la espuma de poliuretano para mejorar su capacidad portante.

## **CAPITULO IV**

### **4. LA PROPUESTA**

#### **4.1. Objetivo general de la propuesta**

Se realizó el estudio de la aplicación de un material alternativo para mejorar la capacidad portante del suelo en viviendas de índole popular, entregando una caracterización y evaluación del comportamiento de los mismos, usando como materia prima la espuma de poliuretano sobre suelos.

#### **4.2. Objetivos Específicos**

- Se realizó los estudios de suelo para determinar la capacidad de cada estrato así como los ensayos respectivos de clasificación.
- Se determinó el estrato expansivo por medio del ensayo de expansión controlada y así poder reemplazarlo por la espuma de poliuretano.
- Se realizaron el ensayo para determinar la capacidad de carga que tendrá la espuma de poliuretano por medio de la compresión simple.

#### **4.3. Desarrollo experimental**

Para el desarrollo de este capítulo, se determinó el tipo de material adecuado para elaborar los análisis respectivos para mejorarlo con la espuma de poliuretano y así obtener una mejor capacidad portante del suelo para la edificación de vivienda popular.

#### **4.4. Investigación de campo.**

Para la realización del presente estudio nos basamos en los estudios de suelo realizados en el solar 6, manzana 51, se va a construir la residencia de la Sra. Patricia Tierra Vilema. Ubicado en las calle Coronel y Brasil, el nivel del terreno se encuentra a unos 0.20 metros del bordillo, tiene un área de 213,90 mts. La muestra tomada de los fueron llevadas para los ensayos respectivos a realizarse, se ejecutaron de acuerdo a las Norma ASTM respectivas y siguiéndolas Especificaciones del MTOP para determinar la clasificación de estos suelos.

Adicionalmente se realizó ensayos de clasificación, proctor y C.B.R. para determinar el porcentaje de hinchamiento que tiene un estrato expansivo, los ensayos de esta clasificación está en anexo 2.

Se adjunta fotos de la realización de los ensayos.



***Figura 20: Tendida del material arcilloso.  
Elaborado por: Arauz, C.. (2021)***



**Figura 21:** Tendida del material arcilloso.  
**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

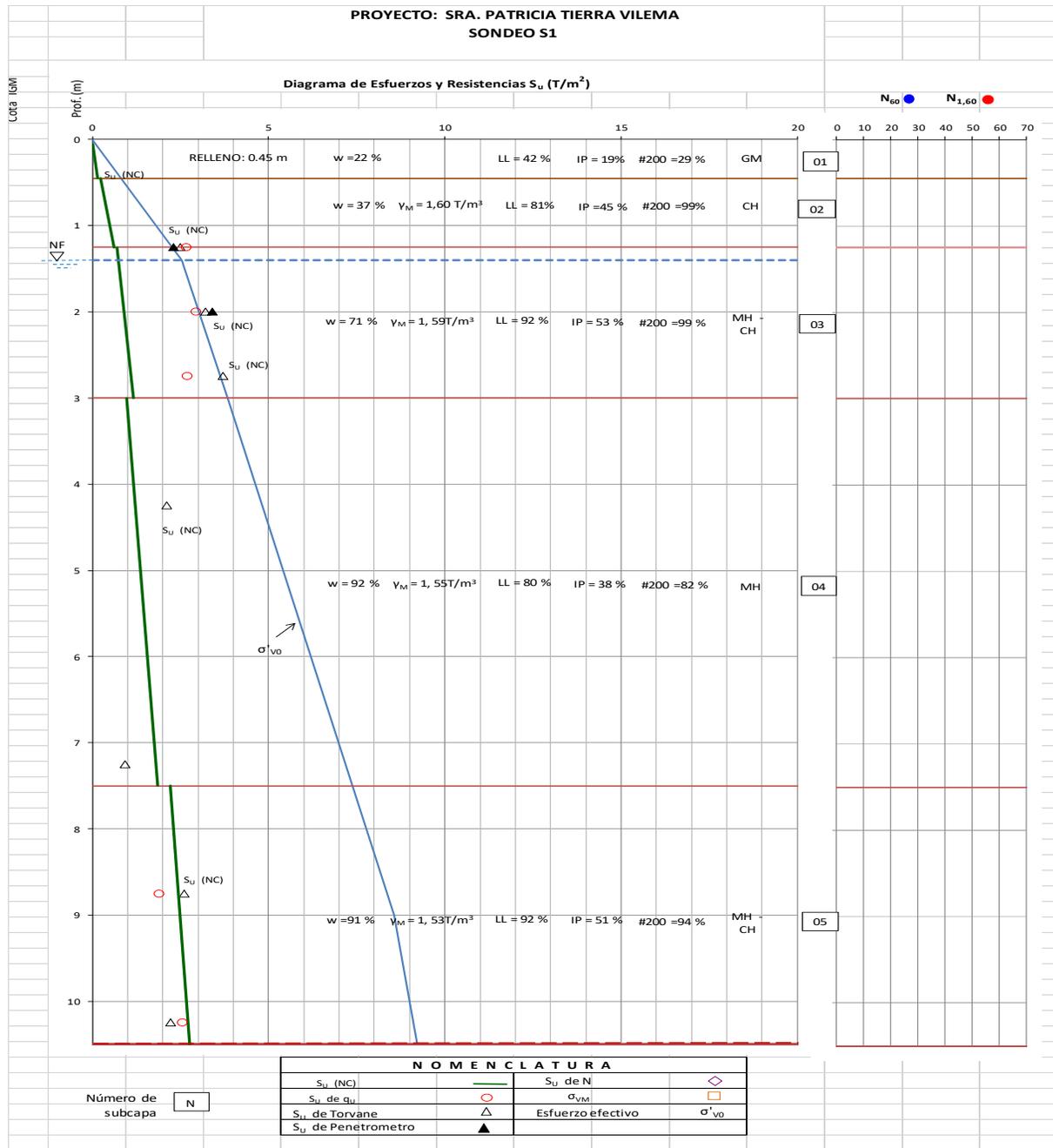


**Figura 22:** Realización de los ensayos.  
**Elaborado por:** Arauz, C.. (2021)

#### **4.5. Perfil estratigráfico.**

##### **❖ SONDEO S1**

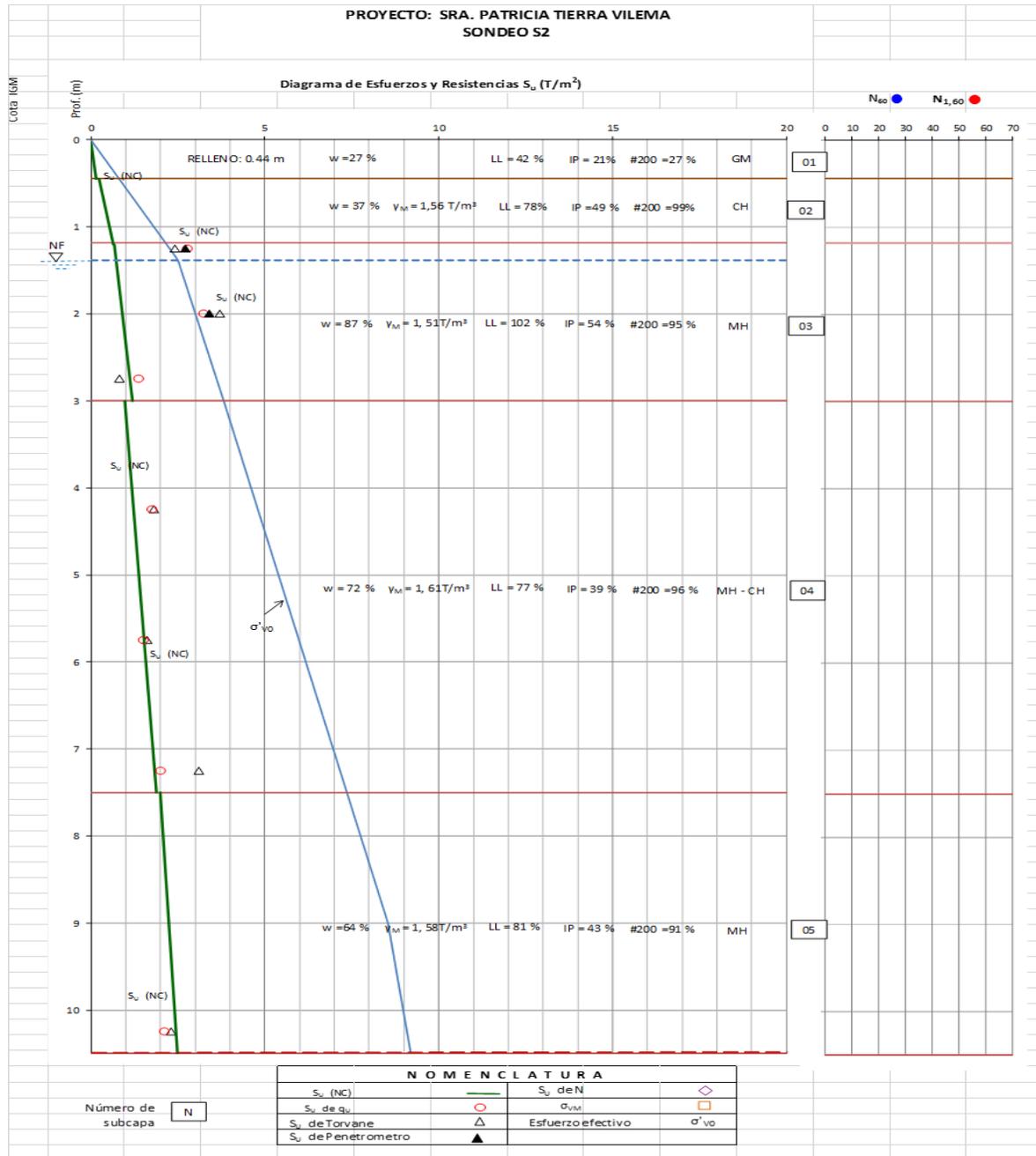
- Hasta 0.08 m de profundidad, se presenta un contra piso de hormigón simple.
- Hasta 0.43 m de profundidad, se presenta un relleno con material de préstamo importado, color café claro (GM). La humedad natural 22%, índice de plasticidad 19% y cantidad de finos 29%.
- A continuación, hasta los 1,25 m, se presenta una arcilla limosa negra (CH), de consistencia blanda a firme. La humedad natural 37%, índice de plasticidad 45% y cantidad de finos 99%.
- Subyace hasta los 3,00 m, una arcilla limosa (MH - CH), color verdoso con pintas amarillas, de consistencia suave a firme. La humedad varía entre 66 y 76%, plasticidad de 48 a 57%, y su contenido de finos entre 99 y 98%.
- Continúa hasta 10,50 m, un limo arcilloso con capitas de arena fina gris verdoso (MH) de consistencia suave a firme. La humedad natural varía entre 74 y 102%, plasticidad de 27 y 61%, y cantidad de finos de 71 y 95%.



**Figura 23:** Diagrama esfuerzo vs deformación.  
Elaborado por: Arauz, C.. (2021)

## ❖ SONDEO S2

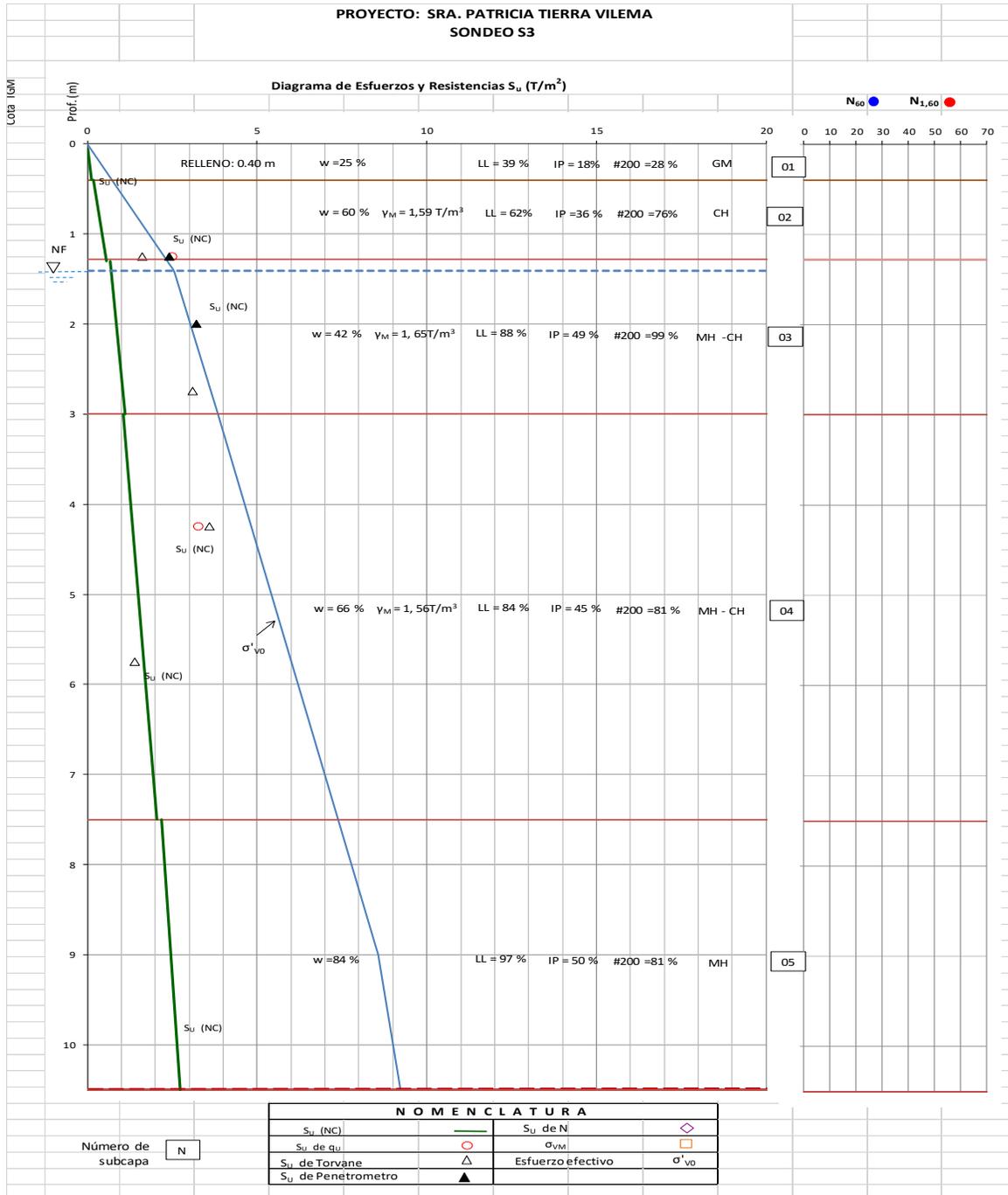
- Hasta 0.08 m de profundidad, se presenta un contra piso de hormigón simple.
- Hasta 0.44 m de profundidad, se presenta un relleno con material de préstamo importado, color café claro (GM). La humedad natural 27%, índice de plasticidad 21% y cantidad de finos 27%.
- A continuación, hasta los 1,18 m, se presenta una arcilla limosa negra (CH), de consistencia blanda a firme. La humedad natural 37%, índice de plasticidad 49% y cantidad de finos 99%.
- Subyace hasta los 3,00 m, un limo arcilloso (MH), color verdoso con pintas amarillas, de consistencia suave a firme. La humedad varía entre 65 y 110%, plasticidad de 48 a 59%, y su contenido de finos entre 92 y 99%.
- Continúa hasta 10,50 m, un limo arcilloso con capitas de arena fina gris verdoso (MH - CH) de consistencia suave a firme. La humedad natural varía entre 51 y 92%, plasticidad de 16 y 64%, y cantidad de finos de 83 y 99%.



**Figura 24:** Diagrama esfuerzo vs deformación.  
Elaborado por: Arauz, C.. (2021)

### ❖ SONDEO S3

- Hasta 0.08 m de profundidad, se presenta un contra piso de hormigón simple.
- Hasta 0.40 m de profundidad, se presenta un relleno con material de préstamo importado, color café claro (GM). La humedad natural 25%, índice de plasticidad 18% y cantidad de finos 28%.
- A continuación, hasta los 1,28 m, se presenta una arcilla limosa negra (CH), de consistencia blanda a firme. La humedad natural 60%, índice de plasticidad 36% y cantidad de finos 76%.
- Subyace hasta los 3,00 m, un limo arcilloso (MH - CH), color verdoso con pintas amarillas, de consistencia suave a firme. La humedad varía entre 39 y 44%, plasticidad de 47 a 52%, y su contenido de finos 99%.
- Continúa hasta 10,50 m, un limo arcilloso con capitas de arena fina gris verdoso (MH - CH) de consistencia suave a firme. La humedad natural varía entre 57 y 87%, plasticidad de 37 y 56%, y cantidad de finos de 58 y 99%.



**Figura 25: Diagrama esfuerzo vs deformación.**  
**Elaborado por: Arauz, C.. (2021)**

#### 4.6. Compresión simple espuma de poliuretano.

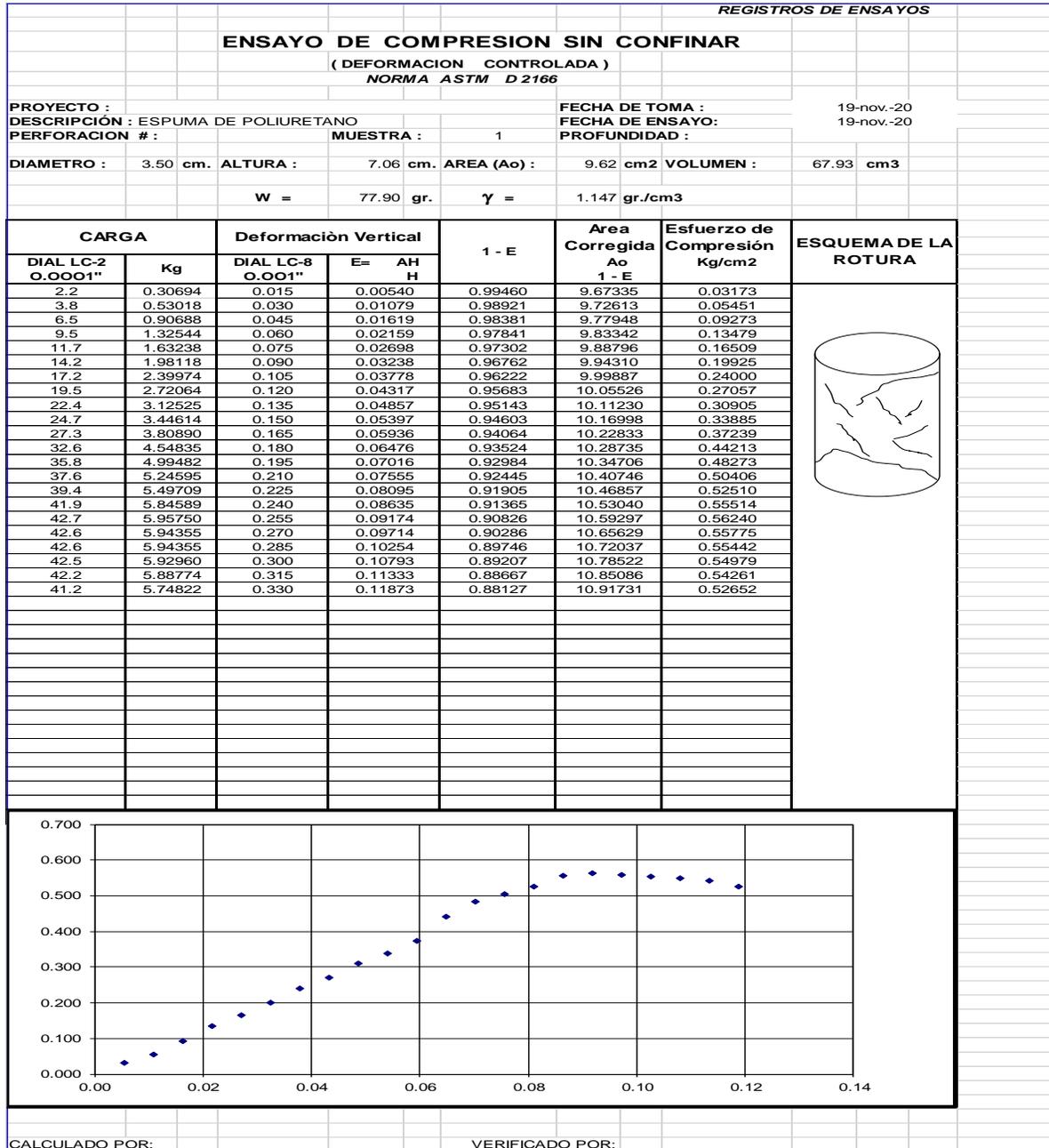


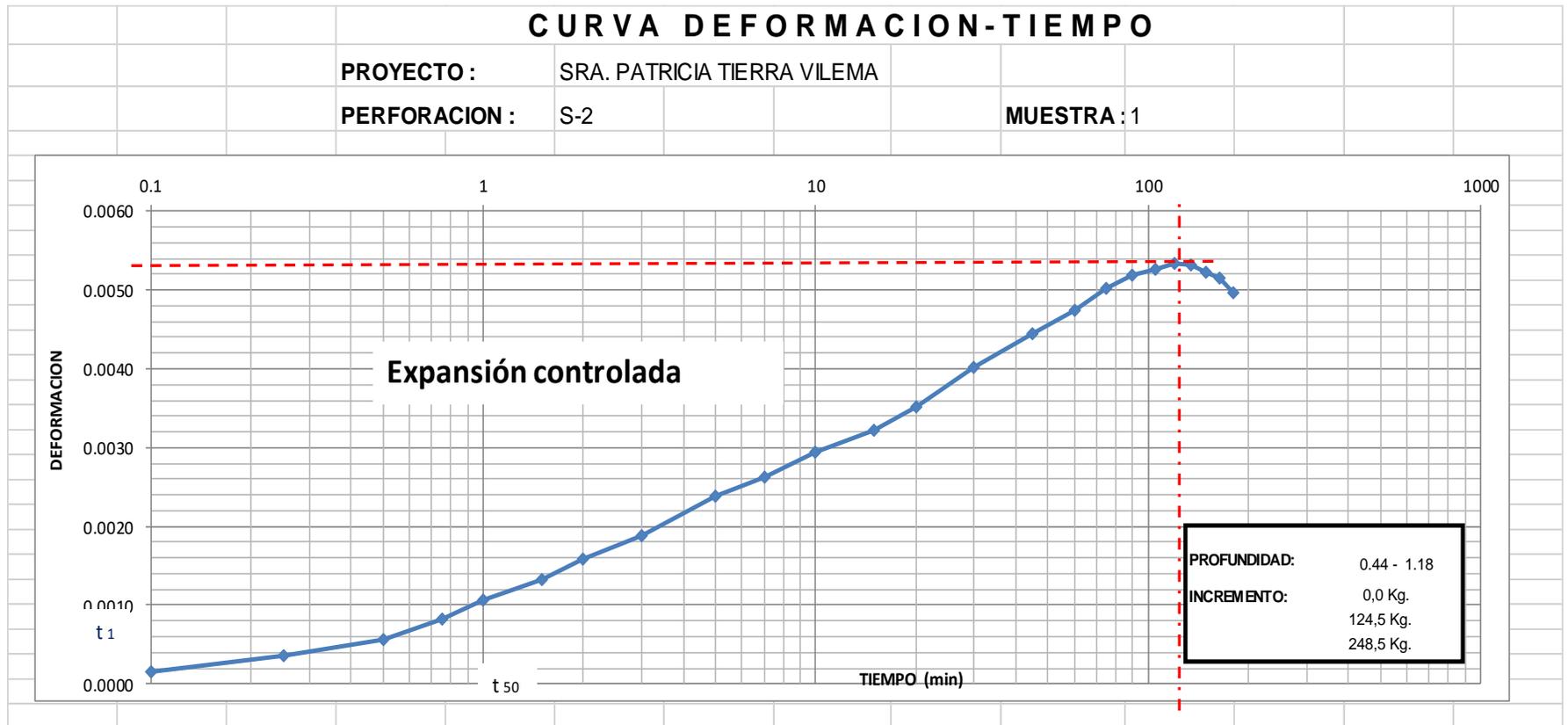
Figura 26: Compresión simple.  
Elaborado por: Arauz, C.. (2021)

#### 4.7. Expansión controlada.

EXPANSIÓN CONTROLADA							
( REGISTRO DE ENSAYO )							
PROYECTO :		SRA. PATRICIA TIERRA VILEMA			Fecha :		16/10/2019
Muestra Nº :		1			Perforacion:		S-2
Descripción :					Profundidad:		0,44 - 1,18
Consolidometro Nº :		1					
PERIODO	CARGA: 0		CARGA: 124.5		CARGA: 248.5		
	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"	
0 seg.	8:00	0.00000	9:00	0.00474	10:00	0.00533	
6 "		0.00015					
15 "		0.00035					
30 "		0.00057					
45 "		0.00083					
1 min.	8:01	0.00107	9:01		10:01		
1.5 "		0.00132					
2 "	8:02	0.00159	9:02		10:02		
3 "	8:03	0.00188	9:03		10:03		
5 "	8:05	0.00238	9:05		10:05		
7 "	8:07	0.00263	9:07		10:07		
10 "	8:10	0.00294	9:10		10:10		
15 "	8:15	0.00322	9:15	0.00502	10:15	0.00531	
20 "	8:20	0.00352	9:20		10:20		
30 "	8:30	0.00401	9:30	0.00518	10:30	0.00523	
45 "	8:45	0.00445	9:45	0.00527	10:45	0.00516	
1 hora	9:00	0.00474	10:00	0.00533	11:00	0.00497	
1.5 "							
2 "							
3 "							
4 "							
6 "							
9 "							
12 "							
24 "							
36 "							
48 "							

Figura 27: Expansión controlada..

Elaborado por: Arauz, C.. (2021)



*Figura 28: Expansión controlada..*  
*Elaborado por: Arauz, C.. (2021)*

#### **4.8. ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS**

Para determinar el análisis del asentamiento que tendría la edificación a construir y que tipo de cimentación sería la más adecuada queda a criterio del ingeniero estructural, que debe proporcionar la capacidad de carga que tendría esa edificación, el esfuerzo ultimo del suelo de cada estrato se encuentra en la hoja de resumen de los ensayos.

#### **4.9. POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN**

En zonas de alta sismicidad como la del llamado cinturón de fuego, dentro de la cual se halla nuestro país, cuando se producen movimientos tectónicos o sísmicos, de cierta intensidad y duración, las aceleraciones que se transmiten a sitios donde subyacen depósitos de material granular saturados, de compacidad suelta, provoca la pérdida de su resistencia al corte, produciéndose deformaciones que pueden llegar a la superficie y dañar las edificaciones presentes. Este fenómeno se lo conoce como licuefacción. Para propósitos ingenieriles, no es la ocurrencia de licuefacción misma la que debe determinarse sino los efectos que se manifiestan en la superficie. En este proyecto la parte superior del depósito ubicado entre 3.00 y 10.50 m., es proclive a la licuefacción. El análisis determinó que considerando criterios empíricos según los cuales estas manifestaciones en la superficie dependen de la relación entre los espesores de las capas licuables y las sobreyacentes, sismos con aceleraciones menores a 0.25 g. no son capaces de reflejar daños en la superficie. Al nivel de la información actual tal valor de aceleración tiene un periodo de retorno que excede a la vida útil del proyecto

#### 4.10. Conclusiones.

Se realizaron 3 sondeos a 10 metros de profundidad cada uno para realizar los estudios de suelo de cada estrato, las muestras extraídas se las realizó cada 1.50 mt. Por medio de tubo shelby (extracción de muestra inalterada), se les realizó los ensayos respectivos de humedad, clasificación, compresión simple y penetrometro. Se realizó los cálculos de los ensayos y se determinó el diagrama esfuerzos y resistencias, la estratigrafía del suelo presenta un relleno aproximado de 0.44 mt. Después tenemos una arcilla negra (ch) hasta 1.25mt. de consistencia blanda a firme, Subyace hasta los 3,00 m, un limo arcilloso (MH - CH), color verdoso con pintas amarillas, de consistencia suave a firme, Continua hasta 10,50 m, un limo arcilloso con capitas de arena fina gris verdoso (MH - CH) de consistencia suave a firme. El nivel freático esta 1.40 mt.

Se realizó la compresión simple a la espuma de poliuretano con la finalidad de determinar la resistencia al esfuerzo último que tendría este elemento para su utilización como parte de la capacidad de carga del suelo; para su elaboración colocamos la espuma en el molde para elaborar la probeta y así realizar la compresión simple dando como su resultado un  $q_u$  de  $0.5624 \text{ Kg/cm}^2$ , realizando las transformaciones respectivas para obtener la resistencia al esfuerzo último de este material que fue de  $2.81 \text{ T/m}^2$ , la espuma de poliuretano tiene una capacidad portante muy óptima para utilizar como parte del estrato de suelo.

El estrato de arcilla negra (CH) que tiene un espesor aproximado de 0.85 mt. tiene una capacidad o esfuerzo ultimo aproximadamente de  $1.60 \text{ T/m}^2$ , una estructura de una casa tiene una descarga que varía aproximadamente de 0.7 a  $1.0 \text{ T/m}^2$ , analizando esta consideración se puede determinar que se puede cimentar sobre este estrato por su esfuerzo último que tiene, pero sabemos que este estrato como es la arcilla negra es un material expansivo, en estado seco se comporta muy bien pero al estar en contacto con el agua tiene sus partículas de suelo tiende a expandirse

provocando deterioro muy considerable a las edificaciones asentadas sobre este estrado.

Analizando el ensayo de expansión controlada en el consolidometro procurando los peso a incrementar para su control sean mínimo hasta obtener su uniformidad, esto lo podemos apreciar en el gráfico de curva con el incremento de carga que se le aplica y los cálculos respectivo se determina que para un incremento de carga de 124.5 Kg nos da una capacidad de carga de 0.39 T/m<sup>2</sup> y para 248.5 Kg nos da una capacidad de carga de 0.78 T/m<sup>2</sup> en este punto ya la curva tiende a caer, con esto determinamos la carga para contrarrestar esta expansión, por eso estructuras con capacidad menor a 0.78 T/m<sup>2</sup> tiende a deformarla, este es el motivo de este estudio reemplazar este material arcilloso por la espuma de poliuretano que cuenta con un esfuerzo ultimo considerable para poder cimentar sobre este elemento la capacidad de carga es de 2.81 T/m<sup>2</sup>

El inconveniente que podría tener la espuma de poliuretano expandido es el estar expuesto sobre este material que podría deteriorarlo con los agentes químicos del medio ambiente o por los roedores, seria forrarlo con un geo textil para darle una durabilidad mayor.

#### **4.11. Recomendaciones.**

Se recomienda realizar varios ensayos al material arcilloso de color negro (CH), la finalidad tener varios datos para realizar una determinación más real del grado de expansión que posee este estrato, para poder crear parámetros que nos guíen para elaborar varias alternativas que ayuden a controlar las deformaciones que tienen las edificación asentadas sobre este suelo y así obtener construcciones más segura que estén dentro de los parámetros requeridos.

Se recomienda realizar o elaborar varias probetas de diversas formas con la espuma de poliuretano que cumplan con las dimensiones adecuadas, para realizar los ensayos a compresión, flexión y C.B.R. con la finalidad de tener más datos confiables y poder elaborar varios parámetros de resistencia para este material y poder así recomendar su utilización de este material en las obras que ameriten su utilización de acuerdo a los proyectos que se vallan a realizar sobre los estratos expansivos.

Realizar varios ensayos de expansión controlada así como también ensayos de límites de contracción para determinar el grado de expansión que tendría ese estrato para darle soluciones adecuadas para su mejoramiento y así evitar que este estrato tienda a dañar o colapsar ciertas estructuras. Adicionalmente también hay que considerar los estudios de suelos que hay que realizarlos porque en la urbe tenemos capas limo arenoso que puede afectar también a la edificación en el estudio presentado se aprecia estos estratos que en un movimiento telúrico como son los sismos puede presentarse el fenómeno de la licuefacción provocando asentamiento y deterioro a la estructura.

## Bibliografía

- Ampuero, A. (8 de julio de 2016). *emb.cl*/. Recuperado el 2020, de <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=3580&ni=movimientos-de-tierra-aspectos-relevantes-para-un-proceso-exitoso-de-mejoramiento-de-suelos>
- ARCUS GLOBAL. (20 de abril de 2020). *arcus-global.com*/. Recuperado el 2020, de <https://www.arcus-global.com/wp/mecanica-de-suelos-que-es-y-como-funciona/>
- Ayaipoma, O., & Jymmi, H. (13 de diciembre de 2016). *TP%20-%20UNH%20CIVIL%200053*. Recuperado el 30 de agosto de 2020, de <file:///C:/Users/Marcos/Downloads/TP%20-%20UNH%20CIVIL%200053.pdf>
- Briones, M., & Irigoin, N. (10 de octubre de 2016). *repositorio.upn.edu.pe*/. Recuperado el 30 de agosto de 2020, de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/6679/Briones%20Alva%20CMar%C3%ADa%20Em%C3%A9rita%20%20Irigoin%20Gonzales%20C%20Nel%20Ulises.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cango Apolo, L. J. (2017). *Estudio de asentamientos por consolidación instantánea, primaria y secundaria en suelos limosos y arcillosos de la Ciudad de Zamora*. Loja. Recuperado el 6 de mayo de 2018
- Díaz, J. (11 de marzo de 2015). *repositorio.uide.edu.ec*/. Recuperado el 30 de agosto de 2020, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2142/1/T-UIDE-1220.pdf>
- Estudio Geotécnico. (13 de abril de 2020). *estudiosgeotecnicos.info*/. Recuperado el 2020, de <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/el-spt-ensayo-de-penetracion-estandar/>
- Fernández, J. (12 de julio de 2016). *jorgelfdez.wordpress*. Recuperado el JUNIO de 2020, de <https://jorgelfdez.wordpress.com/2016/07/12/el-enfoque-cuantitativo/>
- GEOTECNIA FACIAL. (20 de NOVIEMBRE de 2017). *geotecniafacil.com*/. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2020, de <https://geotecniafacil.com/ensayo-de-penetracion-estandar-spt/>
- GEOTECNIA ONLINE. (8 de JUNIO de 2020). *diccionario.geotecnia.online*/. Recuperado el 31 de agosto de 2020, de <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/carta-de-plasticidad-de-casagrande/>
- Guía práctica para la ejecución de estudios. (7 de octubre de 2016). *habitatyvivienda.gob.ec*/. Recuperado el 30 de agosto de 2020, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-6-GEOTECNICA.pdf>
- HERNANDEZ. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 6TA EDICIÓN*. MEXICO.
- lifeder. (5 de mayo de 2020). *lifede*. Recuperado el mayo de 2020, de <https://www.lifeder.com/tecnicas-de-investigacion/>
- Lopez, G., & Rivera, R. (21 de enero de 2015). *capcargav1*. Recuperado el 30 de agosto de 2020, de [file:///C:/Users/Marcos/Downloads/capcargav1%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Marcos/Downloads/capcargav1%20(2).pdf)

*Metodo Casagrande y Taylor*. (2018). Recuperado el 15 de mayo de 2018, de <https://xdoc.tips/download/pdf-ebook-metodo-casagrande-y-taylor>

*noticias.universia.c*. (4 de septiembre de 2017). Recuperado el mayo de 2020, de <https://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html>

Núñez, L., & Nicolay, R. (23 de enero de 2016). */T-UCE-0011-197*. Recuperado el 30 de agosto de 2020, de </Users/Marcos/Downloads/T-UCE-0011-197.pdf>

Perez, J., & Merino, M. (28 de febrero de 2020). *definicion.de*/. Recuperado el 2020 de abril, de <https://definicion.de/hormigon/>

RAI. PINTORES. (13 de noviembre de 2018). *raipintores.com*/. Recuperado el 2020, de <https://www.raipintores.com/blog/espuma-poliuretano>

Romero, J. (11 de enero de 2016). <http://dspace.unach.edu.ec/>. Recuperado el 30 de agosto de 2020, de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/586/1/UNACH-EC-IC-2015-0014.pdf>

Sierra, M. P. (2007). *consolidacion unidimensional de suelos*. Recuperado el 15 de mayo de 2018, de [https://www.fceia.unr.edu.ar/.../Consolidacion%20unidim%20de%20suelos\\_2011s2.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/.../Consolidacion%20unidim%20de%20suelos_2011s2.pdf)

SOLUM DE VENEZUELA C.A. (22 de agosto de 2018). *solumvenezuela.epizy.com*/. Recuperado el 2020, de <http://www.solumvenezuela.epizy.com/2018/08/22/ensayos-compresion-simple/?i=1>

*tecnicadeinvestigacion social*. (12 de octubre de 2017). *tecnicadeinvestigacion social*. Recuperado el junio de 2020, de <https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-1-la-investigacion-social/fases-de-la-investigacion-social/analisis-e-interpretacion-de-resultados>

Thermal Engineering. (11 de septiembre de 2019). *thermal-engineering.org*/. Recuperado el 2020, de <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-espuma-de-poliuretano-definicion/>

VELASQUEZ, U. A. (2016). *CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO*. Recuperado el 8 de martes de 2018, de <https://es.slideshare.net/guidocespedescondori/informe-contenido-de-humedad>

Web y Empresas. (6 de marzo de 2018). *webyempresas*. Recuperado el junio de 2020, de <https://www.webyempresas.com/metodologia-de-la-investigacion/>

## **ANEXOS 1**

### **NORMAS DE LOS ENSAYOS**

## **TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE SUELO INALTERADO**

### **I.N.V. E - 112**

#### **1. OBJETO**

En esta norma se describe la forma de obtener muestras de suelos cohesivos que conserven la estructura y humedad que tienen en su estado natural, cuando pueden tomarse superficialmente o de una profundidad a la que se llega por excavación a cielo abierto o de una galería.

Las dimensiones, forma y demás características de las muestras inalteradas, dependen del tipo de ensayo al cual van a estar sometidas.

Básicamente hay tres procedimientos generales para tomar este tipo de muestras:

- 1.1 Muestras en bloque o muestra-trozo, tomadas de la superficie del terreno, del fondo de un pozo o del piso de una galería.
- 1.1 Muestras en bloque, tomadas de una pared vertical de un pozo o galería.
- 1.2 Muestras cilíndricas.

#### **2. EQUIPO Y MATERIALES**

Se deben elegir las herramientas cortantes más adecuadas para cada tipo de suelo:

- 2.1 Herramientas para tallar la muestra, (paleta, cuchillos, martillo, cincel, palustres, sierra de alambre, etc).
- 2.2 Hornillo, para calentar la parafina.
- 2.3 Recipientes, de diferentes tamaños y formas.
- 2.4 Herramientas para excavar.
- 2.5 Moldes cilíndricos o latas, con borde afilado y firme.
- 2.6 Parafina, vendas de malla abierta y brocha para aplicar la parafina.
- 2.7 Estopilla de algodón, aserrín, paja húmeda, etc, para empacar la muestra.
- 2.8 Tela plástica, papel parafinado, cuerda y demás elementos para envolver.

### 3. PROCEDIMIENTO

3.1 Muestras en bloque de la superficie del terreno, fondo de un pozo o piso de una galería.

3.2 Se descubre la capa de la que se pretende tomar la muestra, bajando la excavación a la profundidad precisa para que el terreno descubierto esté completamente fresco y no haya pérdida de humedad. Se alisa la superficie marcando el contorno de que ha de ser la cara superior de la muestra.

3.3 Se excava una pequeña zanja alrededor de la marca, dejando entre el borde de la muestra y el borde interior de la zanja unos 10 cm con el propósito de que esta operación de excavación no afecte la muestra. La zanja deberá ser suficientemente ancha para permitir las operaciones de tallado, parafinado "in situ" y corte.

3.4 Con las herramientas apropiadas, se le da forma cúbica y el tamaño final que ha de tener, cuidando la muestra, a medida que el tallado se acerca a la cara superior y las cuatro caras laterales.

3.5 Una vez que la zanja esté suficientemente honda y las caras perfiladas, se extrae la muestra, cortándola con un cuchillo, paleta, u hoja de sierra, y se retira cuidadosamente.

3.6 Si la muestra tiene suficiente consistencia, se talla la cara inferior antes de proceder a parafinarla aplicando con una brocha, una primera capa de parafina y a continuación se cubre con venda. Se repite el proceso hasta obtener un recubrimiento impermeable de 3 mm de espesor como mínimo.

3.7 Si la muestra no tiene suficiente consistencia, antes de retirarla de la excavación, una vez tallada la cara superior y las cuatro caras, laterales, deben parafinarse, en la forma indicada en el párrafo anterior. Se confina con la caja de empaque prevista y luego se corta retirándola de la excavación, parafinando la última cara una vez perfilada.

3.8 Cuando por circunstancias de clima o acción directa del sol, se puede presentar pérdida apreciable de humedad, se deberá parafinar cada cara en forma inmediata a su talla, terminando estas labores de parafinado, cuando se desprenda la muestra por su cara inferior.

3.9 Antes de cerrar el empaque se debe colocar a la muestra una etiqueta con la siguiente información:

Procedencia, situación (se marcan las caras superior e inferior), profundidad y ubicación dentro de la obra; se cierra la caja y se coloca exteriormente otra etiqueta con los mismos datos, indicando adicionalmente advertencias de las precauciones requeridas.

### 3.2.1 Muestras en bloque de la pared del pozo o galería. -

. Se rebaja la pared escogida, hasta que el terreno descubierto se encuentre cerca del suelo que conformará la muestra, previendo que este último conserve sus condiciones originales de humedad y estructura. Se alisa la superficie y se marca el contorno.

. Se excava alrededor y por detrás, dando forma al trozo, afinándolo hasta donde sea posible.

. Se corta el trozo y se retira del hoyo, procediendo a su parafinado y empaque como se describió anteriormente.

### 3.3.2 Muestras cilíndricas. -

Estas muestras se pueden tomar directamente usando un anillo tomamuestras de filo cortante que se ajusta al molde que tenga las dimensiones requeridas, o también con un pote de hojalata común, con un trozo de tubo o con cualquier otro recipiente metálico que tenga dimensiones adecuadas. La secuencia es la siguiente:

. Se alisa la superficie del terreno y se aprieta el molde con el anillo contra el suelo, aplicando una presión moderada.

. Se excava la zanja alrededor del cilindro; manteniendo la presión hacia abajo. Se corta el suelo del lado exterior del anillo con el cuchillo, haciendo el corte hacia abajo y hacia afuera, para evitar afectar la muestra y para que el suelo continúe penetrando dentro del cilindro.

. Se excava la zanja más profunda y se repite el proceso hasta que el suelo penetre bien dentro del cilindro.

. Se corta la muestra por la parte baja del cilindro con una pala, cuchillo o sierra y se retira del hoyo.

. Tanto la superficie superior como la inferior deben recortarse a ras. Se protegen los extremos con discos de madera y se rebordean y atan con cinta aislante u otro material adecuado.

. Cuando se utilice como molde un pote de hojalata, el fondo se agujerea antes de hincarlo y luego de llenarlo con muestra, se sellan los agujeros con parafina, así como la superficie superior, cuando se haya cortado la muestra.

#### **4. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS**

NLT 203

#### **DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO-AGREGADO**

#### **I.N.V. E - 122**

##### **1. OBJETO**

1.1 Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

1.2 El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o "agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

1.3 Este método no da resultados verdaderamente representativos para materiales que contengan cantidades significativas de haloisita, montmorillonita, o minerales de yeso; suelos altamente orgánicos o materiales en los cuales el agua de los poros contiene sólidos disueltos (como sales en el caso de depósitos marinos). Para los materiales antes

mencionados, un método modificado de ensayo o el cálculo previo de algunos datos pueden ejecutarse para obtener resultados consistentes con el propósito de este ensayo.

## 2. RESUMEN DEL MÉTODO

2.1 La aplicación práctica de la determinación del contenido de agua en un material, es poder conocer el peso del agua removida al secar dicho material cuando está húmedo (espécimen de prueba) hasta peso constante, en un horno controlado a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ); y usar este valor como el peso del agua en el espécimen de prueba. El peso del material remanente después de secado en el horno, corresponde al peso de las partículas sólidas.

## 3. USO Y SIGNIFICADO

3.1 Para muchos tipos de suelo, el contenido de agua es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de dicho suelo y otras propiedades índices.

3.2 El contenido de agua de un suelo se usa en casi todas las ecuaciones que expresan las relaciones de fase entre aire, agua y sólidos, en un volumen dado de material.

3.3 En suelos de grano fino (cohesivos), la consistencia depende de su contenido de agua. El contenido de agua de un suelo, junto con sus límites líquidos y plástico, son usados para expresar su consistencia relativa, o índice de liquidez.

3.4 El término "agua" como se usa en Ingeniería Geotécnica, se asume típicamente como el agua de "poros" o agua "libre" y no aquél que está hidratando las superficies minerales (agua de constitución).

Por lo tanto, el contenido de agua de materiales que tienen cantidades significativas de agua hidratada, (agua de constitución), a temperatura ambiente o menor de  $110^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ}\text{F}$ ) puede ser engañoso.

3.5 El término de "partículas sólidas" como se usa en Ingeniería Geotécnica, se asume típicamente como las partículas minerales que se encuentren en su estado natural que no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, el contenido de agua de los materiales que contienen materias extrañas (como cemento), materiales solubles en agua (como sal) y materia altamente orgánica, normalmente requieren de un tratamiento especial, o de una definición calificada del contenido de agua.

#### 4. EQUIPO

4.1 Horno, controlado termostáticamente, preferiblemente del tipo de corriente de aire y que mantenga una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) en toda la cámara de secado.

4.2 Balanzas, que tengan una precisión de  $\pm 0.01$  g para muestras que tengan un peso de 200 g o menos;  $\pm 0.1$  g para muestras que tengan un peso entre 200 y 1000 g, y  $\pm 1$  g para muestras que tengan un peso mayor a 1000 g.

4.3 Recipientes. Vasijas apropiadas hechas de un material resistente a la corrosión y a cambios en su peso al ser sometidas a repetidos calentamientos y enfriamientos, y a operaciones de limpieza.

Para muestras con peso menor o próximo a 200 g, se usarán recipientes con tapas de cierre hermético; mientras que para muestras de peso mayor que 200 g se usarán recipientes sin tapa (Nota 1). Se necesita un recipiente para cada determinación del contenido de agua.

Nota 1: El propósito de las tapas de cierre hermético es doble: prevenir las pérdidas de humedad de las muestras antes del pesaje inicial y para evitar la absorción de humedad proveniente de la atmósfera después del secado y antes del pesaje final.

## 5. MUESTRAS

5.1 Manténganse las muestras que estén almacenadas, antes del ensayo, en recipientes no corrosivos, herméticos, a una temperatura entre 3 y 30°C y en un área, en la que no tengan contacto directo con la luz solar (cuarto oscuro).

5.2 La determinación del contenido de agua, deberá hacerse tan pronto como sea posible, después de la preparación de la muestra, especialmente si se usan recipientes potencialmente oxidables (como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc).

## 6. ESPECIMEN DE ENSAYO

6.1 Para la determinación del contenido de agua, hecho en conjunto con otros ensayos, el método de selección de la muestra está gobernado por el ensayo más elaborado.

6.2 La manera como se selecciona dicha muestra y el peso requerido, básicamente dependen del propósito (aplicación) del ensayo, del tipo de material que está siendo probado, y del tipo de muestra.

En todos los casos, sin embargo, una porción representativa de la muestra total debe ser seleccionada. Si un suelo está estratificado o se encuentra más de un tipo de suelo, selecciónese una porción promedio o porciones individuales o ambas, y especifíquese en el informe de resultados cual porción fue utilizada.

- a) Para suelos gruesos, selecciónese la muestra del material después de que éste haya sido mezclado completamente. El peso del material húmedo escogido debe responder a la siguiente tabla:

Tamiz que retiene más del 10% de la muestra	Peso recomendado de la muestra húmeda (g)
2.00 mm (No. 10)	100 a 200
4.75 mm (No. 4)	300 a 500
19.00 mm (¾")	500 a 1000
37.50 mm (1 ½")	1500 a 3000
75.00 mm (3")	5000 a 10000

b) Para muestras pequeñas, selecciónese una porción representativa de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Para suelos no cohesivos, mézclase completamente el material, luego selecciónese un espécimen de prueba que tenga un peso de material húmedo de acuerdo con la tabla anterior (Véase Nota 2).

- Para suelos cohesivos, remuévase aproximadamente 3 mm de material del perímetro expuesto de la muestra y secciónese éste a la mitad (para ver si el material está estratificado) antes de seleccionar el espécimen de muestra. Si el suelo está estratificado (véase 6.2), la masa del material húmedo seleccionado no debe ser menor de 25 g; o debe estar de acuerdo con la tabla del artículo 6.2.a), si se notan partículas de grano grueso (Nota 2).

6.3 Usar una muestra de ensayo, más pequeña que el mínimo peso indicado previamente, requiere discreción. Sin embargo, esto puede ser adecuado para el propósito del ensayo. Si una muestra tiene un peso menor que aquél previamente indicado, el hecho debe ser registrado en el informe de resultados.

Nota 2: En muchos casos, cuando se está trabajando con una muestra pequeña que contiene una cantidad relativamente grande de partículas de grano grueso, es apropiado

no incluir estas partículas en el espécimen de prueba. Si esto ocurre, se debe anotar en el informe de resultados.

## 7. PROCEDIMIENTO

7.1 Escójase una muestra de ensayo representativa de acuerdo con la sección 6.

7.1 Colóquese la muestra húmeda en un recipiente limpio, seco, de peso conocido (Nota 3); colóquese la tapa firmemente en posición, y determine el peso del recipiente y la muestra de material usando una balanza apropiada (4.2). Anótese los valores.

7.3 Remuévase la tapa y colóquese el recipiente con el material húmedo en un horno, manteniendo la temperatura a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) y séquese hasta obtener peso constante. (Notas 4, 5 y 6)

Nota 3: Para facilitar el secado al horno de muestras de ensayo muy grandes, éstas deben ser colocadas en recipientes que tengan un área superficial amplia (como una bandeja) y el material separado en pequeños grupos.

Nota 4: El tiempo requerido para obtener un peso constante variará dependiendo del tipo del material, tamaño de la muestra, tipo del horno, su capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede establecerse con un buen juicio, y experiencia con los materiales que se están ensayando y el aparato que se está usando.

En la mayoría de los casos, el secado de una muestra durante la noche (16 horas), es suficiente. En los casos donde existan dudas concernientes a lo adecuado del procedimiento de secado, éste debe conducirse hasta que el peso, después de dos períodos de secamiento consecutivos (mayores de 1/2 h) indique un cambio insignificante (menor al 0.1%). Las muestras de arena se pueden frecuentemente secar a un peso constante después de periodos de 4 horas, cuando se usa un horno de corriente de aire forzada.

Nota 5: Del secado en horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) no siempre resultan valores del contenido de agua relacionados al uso que pretende dársele o la definición básica, especialmente para materiales que contienen yeso u otros minerales que incluyan una cantidad significativa de agua hidratada (agua de constitución), o para suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En muchos casos, y dependiendo del uso que se pretende dar a estos materiales, puede ser mejor mantener el horno de secado a una temperatura de  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $140 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) o usar un secador de vacío a una presión de vacío de 133Pa (10 mm de Hg) y a una temperatura que varíe entre 23 y  $60^{\circ}\text{C}$  (73 y  $140^{\circ}\text{F}$ ). Si se usa cualquiera de estos métodos de secado, se debe anotar en el informe de resultados.

Nota 6: Ya que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes húmedos, dichos materiales deben removerse antes de colocar aquellos en el horno. Sin embargo, este requerimiento no será necesario si los especímenes secos van a permanecer en el horno por un período de secado adicional de 16 horas.

7.4 Después que el material se haya secado a peso constante, remuévase el recipiente del horno y colóquese la tapa. Permítase que el material y el recipiente se enfríen a la temperatura ambiente, o hasta que el recipiente pueda ser manejado fácilmente con ambas manos y la operación de pesaje no esté afectada por corrientes convectivas.

Determinése el peso del recipiente y de la muestra secada en el horno usando la misma balanza que usó en 7.2. Consérvese este valor.

Si el recipiente no tiene tapa, pésese el material inmediatamente para que la temperatura del recipiente sea tal que la operación del pesaje no sea afectada por corrientes convectivas o después de enfriarlo en un secador.

Nota 7: El enfriamiento en secador es recomendable ya que esto previene absorción de humedad proveniente de la atmósfera durante dicho proceso.

## 8. CÁLCULOS

8.1 Calcúlese el contenido de agua de la muestra así:

$$w = \frac{(W1-W2)}{(W2-Wc)} \times 100 = \frac{Ww}{Ws} \times 100$$

Donde:

w = Contenido de agua %

W1= Peso del recipiente y del espécimen húmedo, g.

W2= Peso del recipiente y del espécimen seco, g.

Wc= Peso del recipiente, g.

Ww= Peso del agua, g, y

Ws= Peso de las partículas sólidas, g.

## 9. **INFORME**

9.1 El informe (hoja de datos) debe incluir lo siguiente:

- Identificación de la muestra (material), por número de perforación, número de muestra, ensayo número, etc.
- El contenido de agua del espécimen, aproximado al 0.1% ó 1% dependiendo del propósito del ensayo.
- Indicación del espécimen de muestra que tenga un peso menor al mínimo indicado en la sección 6.
- Indicación del espécimen de muestra que contenga más de un tipo de suelo (por capas, etc).
- Indicación del método de secado si es diferente al de horno a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).
- Indicación de cualquier material (tamaño y cantidad) excluido del espécimen de prueba.

## 10. **OBSERVACIONES**

Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas de la humedad.

- a. Muestra demasiado pequeña: mientras más grande es la muestra, más precisa es la determinación, debido a que se usan pesos mayores.
- b. Pérdida de humedad antes del pesado de la muestra húmeda: aún en el recipiente cubierto, la muestra puede perder una cantidad significativa de agua, a menos que la pesada se realice pronto.

- c. La muestra se saca del horno antes de obtener la condición de peso constante.
- d. Ganancia de humedad antes de que la muestra secada al horno se haya pesado.
- e. Pesarse la muestra secada al horno cuando aún está caliente. La precisión de una balanza sensible puede ser afectada, por estar caliente la muestra y/o el recipiente al realizar la pesada.
- f. Peso incorrecto del recipiente.
- g. Temperatura incorrecta del horno.

## 12. **CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS**

ASTM D-2216

MOP E-122 (Venezolano).

# ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

**I.N.V. E – 123**

## **1. OBJETO**

1.1 El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

1.2 Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75  $\mu\text{m}$  (No.200).

## **2. EQUIPO**

2.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 2 mm (No.10). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2 mm (No.10).

2.2 Tamices de malla cuadrada:

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1-1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.00 mm (No.10) 850  $\mu\text{m}$  (No.20), 425  $\mu\text{m}$  (No.40), 250  $\mu\text{m}$  (No.60), 106  $\mu\text{m}$  (No.140) y 75  $\mu\text{m}$  (No.200).

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes:

75 mm (3"), 37.5 mm (1-1/2"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.36 mm (No.8), 1.10 mm (No.16), 600  $\mu\text{m}$  (No.30), 300  $\mu\text{m}$  (No.50), 150  $\mu\text{m}$  (No.100), 75 mm (No.200).

2.3 Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F).

2.4 Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.

2.5 Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

### 3. MUESTRA

3.1 Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices, se puede efectuar sin previo lavado.

3.2 Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico Norma INV E-106, la cual estará constituida por dos fracciones: Una retenida sobre el tamiz de 2 mm (No.10) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.

3.3 El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en la Norma INV E-106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

- Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No.10) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla No.1.

TABLA No.1

Diámetro Nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción Gramos, g
(3/8")	500
(3/4")	1000
(1")	2000
37.5 (1 1/2")	3000
(2")	4000
75.0 (3")	5000

- El tamaño de la porción que pasa tamiz de 2 mm (No.10) será aproximadamente de 115 g, para suelos arenosos, y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

3.4 En la Norma INV E-106, se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el Tamiz de 2 mm (No.10) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el Tamiz de 2 mm (No.10), pueden calcularse de acuerdo con el numeral 6.1.

- Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el Tamiz de 2 mm (No.10) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

#### **4. ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 2.00 mm (No.10)**

4.1 Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No.10) en una serie de fracciones usando los tamices de:

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1-1/2"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4) y 2.00 mm (No.10), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o dependiendo de las especificaciones para el material que se ensaya.

4.2 En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apesadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Quando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente; el resultado se puede verificar usando el método manual.

4.3 Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 % La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %

## 5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA FRACCION FINA

5.1 El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

- Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.

- Los materiales limo arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

- Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Norma de Ensayo INV E-124.

- Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.

- La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200) se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200)

5.2 Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200).

- Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0.01 g.

- Humedad higroscópica. - Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 + 9$  °F). Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.

- Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

- Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
- Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F) y se pesa.
- Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 4.2 y 4.3

## 6. CÁLCULOS

6.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el Tamiz de 2 mm (No.10).

- Para comprobar el peso total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), se agrega al peso del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y que queda retenida en el de 2 mm (No.10). Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4.75 mm (No.4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa (sección 6.1.2) por el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

6.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200) de la siguiente forma:

Peso total - Peso Ret. en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$

$$\% \text{ Pasa } 75 \mu\text{m} = \frac{\text{Peso Total}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Ret.} = \frac{\text{Peso ret. en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Ret. Acumulado}$$

6.3 Porcentaje de humedad higroscópica.- La humedad higroscópica se considera como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente.

$$\% \text{ humedad higroscópica} = \frac{W - W1}{W1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire

W1 = Peso de suelo secado en el horno

## 7. **OBSERVACIONES**

7.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.

- Los porcentajes retenidos y/o que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica; siendo esta última forma, la indicada cada vez que el análisis comprenda un ensayo completo de sedimentación.

Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

7.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.
- Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar esto las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- Los tamices han sido agitados por un periodo demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.
- Errores en las pesadas y en los cálculos.

## 8. **CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS**

ASTM D 422

AASHTO T 88  
MOP E 115 (Venezuela)  
NLT 104

## **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS**

### **I.N.V. E - 125**

#### **1. OBJETO**

1.1 El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

1.2 Para los fines de esta especificación, cualquier valor observado o calculado deberá aproximarse al centésimo.

#### **2. EQUIPO**

2.1 Vasija de evaporación. - Una vasija de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente.

2.2 Espátula. - Una espátula de hoja flexible de 75 mm (3") de longitud y 20 mm (3/4") de ancho aproximadamente.

2.3 Aparato del Límite Líquido

- De operación manual. - Es un aparato consistente en un cazuela de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura No. 1.

- De operación mecánica. - Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Consta de una cazuela de bronce con los aditamentos y las dimensiones de la Figura No. 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

2.4 Ranurador. - Un ranurador, conforme con las dimensiones críticas indicadas en las Figuras Nos. 1.y 2.

2.5 Calibrador. - Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura No. 1 y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de  $10.00 \pm 0.2$  mm ( $0.394 \pm 0.008$ ") de espesor y de 50 mm (2") de largo aproximadamente.

2.6 Recipientes. - Hechos de material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.

2.7 Balanza. - una balanza con una sensibilidad de 0.01 gr.

2.8 Horno. - Un horno termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) para secar la muestra.

## **MÉTODO MANUAL**

### **3. MUESTRA**

Tómese una muestra que pese aproximadamente 100 g. de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (No.40) obtenido de acuerdo con el método descrito en las Normas INV E-106 e INV E-107.

### **4. AJUSTE DEL APARATO**

4.1 Deberá inspeccionarse el aparato de límite líquido para verificar que se halle en buenas condiciones de trabajo. El pin que conecta la cazuela no debe estar tan gastado que tenga juego lateral, ni el tornillo que conecta la cazuela hallarse gastado por el largo uso. Inspecciónese, además, el ranurador para verificar que las dimensiones límites son las indicadas en las Figuras Nos. 1.y No 2.

- Se considera desgaste excesivo, cuando el diámetro del punto de contacto sobre la base de la cazuela excede de 13 mm (0.5") o cuando cualquier punto sobre el borde de la cazuela se ha desgastado aproximadamente en la mitad del espesor original. Aun cuando se aprecie una ligera ranura en el centro de la cazuela, ésta no es objetable. Pero si la

ranura se pronuncia antes de que aparezcan otros signos de desgaste debe considerarse que la cazuela está excesivamente gastada y deberá reemplazarse.

- Una base que esté excesivamente desgastada puede pulirse pero hasta cuando la tolerancia mostrada en la Figura No. 1 no exceda de -2.5 mm (0.1") y la distancia entre la excéntrica de la cazuela y la base se mantenga dentro de la tolerancia especificada en la Figura No. 1.

4.2 Por medio del calibrador del mango del ranurador y la platina de ajuste H (Figura No. 1), ajústese la altura a la cual levanta la cazuela, de tal manera que el punto en la cazuela que hace contacto con la base esté exactamente a 1 cm (0.394") sobre ésta.

Asegúrese la platina de ajuste H, apretando los tornillos I con el calibrador, aún colocado, compruébese el ajuste girando la manija rápidamente varias veces. Si el ajuste es correcto, un sonido de roce se oirá cuando la excéntrica golpea contra la cazuela. Si la cazuela se levanta del calibrador o no se oye ruido, hágase un nuevo ajuste.

## 5. PROCEDIMIENTO

5.1 Colóquese la muestra de suelo en la vasija de evaporación y mézclese completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Mézclese completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.

- Algunos suelos son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicionen los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y durante un mayor tiempo, (1 hora aproximadamente).

5.2 Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, colóquese una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que

ésta reposa en la base, y comprímase hacia abajo, extiéndose el suelo hasta obtener la posición mostrada en la Figura No. 3, (con tan pocas pasadas de la espátula como sea posible), teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa.

Nivélase el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjese hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Regrésese el exceso de suelo a la vasija de evaporación. Divídase el suelo en la cazuela de bronce por pasadas firmes del ranurador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas, de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el ranurador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Hágase una ranura con el menor número de pasadas posible.

5.3 Elévase y golpéese la cazuela girando la manija F., a una velocidad de dos (2) revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5"). Anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

- En lugar de fluir sobre la superficie de la cazuela algunos suelos tienden a deslizarse. Cuando esto ocurra, deberá agregarse más agua a la muestra y mezclarse de nuevo, se hará la ranura con el ranurador y se repetirá el aparte 5.3.; si el suelo sigue deslizándose sobre la cazuela a un número de golpes inferior a 25, no es aplicable este ensayo y deberá indicarse que el Límite Líquido no se puede determinar.

5.4 Sáquese una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto, y colóquese en un recipiente adecuado.

Pésese y anótese. Colóquese el suelo dentro del recipiente en el horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) hasta obtener peso constante y vuélvase a pesar tan pronto como se haya enfriado pero antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Anótese este peso, así como la pérdida de peso debida al secamiento y el peso del agua.

5.5 Transfiérase el suelo sobrante en la cazuela de bronce a la cazuela de porcelana. Lávese y séquese la cazuela y el ranurador, y ármese de nuevo el aparato del Límite Líquido para repetir el ensayo.

5.6 Repítase la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera el alcance de las 3 determinaciones debe ser de 10 golpes.

## 6. CÁLCULOS

6.1 Calcúlese el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje del peso del suelo secado en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado en el horno}} \times 100$$

- Calcúlese el porcentaje de humedad, con aproximación a un entero.

6.2 Preparación de la curva de fluidez.- Trácese una "curva de fluidez" que represente la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la cazuela de bronce, en un gráfico de papel semilogarítmico. Con el contenido de humedad como abscisa sobre la escala aritmética, y el número de golpes como ordenada sobre la escala logarítmica. La curva de flujo es una línea recta promedia, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos dibujados.

6.3 Límite Líquido. - Tómesese el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como Límite Líquido del suelo y aproxímese este valor a un número entero.

## **MÉTODO MECÁNICO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO**

### **7. MUESTRA**

7.1 Tómese una muestra que pese aproximadamente 50 g como se explica en el numeral 3.1

### **8 PROCEDIMIENTO**

8.1 El procedimiento será igual al descrito en los apartes 5.1 a 5.5, a excepción de que la muestra húmeda tomada de acuerdo con el numeral 5.4 se tomaría sólo para el ensayo aceptado.

8.2 Deberán observarse por lo menos dos cierres de la ranura antes de que se acepte una de ellas para anotarla, con el fin de verificar que el número de golpes es verdaderamente característico del suelo que se está ensayando

8.3 Para lograr una precisión igual a la obtenida por el método normal de los tres (3) puntos se reducirá el número de golpes para cerrar la ranura de 22 a 28.

8.4 Se aceptarán cierres de la ranura que requieran de 15 a 40 golpes siempre y cuando que se toleren variaciones de  $\pm 5\%$  con el verdadero Límite Líquido.

### **9. CÁLCULOS**

9.1 El contenido de humedad se calcula en la forma indicada en el aparte 6.1

### **10. LÍMITE LÍQUIDO**

10.1 El Límite Líquido se determinará por uno de los siguientes métodos: mediante el nomograma (Figura. No. 4); por medio del diagrama de la Figura No. 5; mediante regla de cálculo con una escala especial para "golpes" (Figura. No .6), o por cualquier otro método de cálculo que de valores de Límite Líquido con la misma precisión. Se usa el método normal de los tres (3) puntos como ensayo de referencia para resolver cualquier duda.

10.2 La clave de la Figura No. 4 indica el modo de usar el nomograma. (Pendiente media).

10.3 El diagrama de la Figura No. 5. (Curva de fluidez múltiple), se usa dibujando sobre el mismo, un punto que represente el contenido de humedad. vs. el número de golpes y trazando una línea por dicho punto y que sea paralela a la curva más cercana del diagrama. El Límite Líquido será el contenido de humedad correspondiente a la intersección de esta línea con la de 25 golpes.

## **ENSAYOS DE COMPROBACIÓN**

### **11. MÉTODOS QUE SE PUEDEN USAR**

11.1 En caso de desacuerdos importantes y donde sea necesario hacer ensayos de comprobación, úsese el método mecánico anteriormente descrito. Los resultados de los ensayos de Límite Líquido son afectados:

- Por el tiempo requerido para hacerlo
- Por el contenido de humedad con el cual se inicia el ensayo.
- Por la adición de suelo seco a la muestra preparada.

### **12. PROCEDIMIENTO**

12.1 Al hacer el ensayo mecánico del Límite Líquido para propósitos de comprobación, usar las siguientes duraciones de tiempo:

- Mezcla de suelo con agua, 5-10 minutos, empleándose el periodo más largo para los suelos más plásticos.
- Manténgase en el humedecedor por 30 minutos.
- Remezclado antes de colocar el material en la cazuela de bronce: Agregar 1 ml de agua y mezclar durante 1 minuto
- Colocación de la cazuela de bronce, ensayo y pesada: 3 minutos.
- Lavado de la cazuela y ranurador, agregando agua y volviendo a mezclar: 3 minutos.

12.2 No se debe reportar ningún ensayo que haya requerido más de 35 o menos de 15 golpes de la cazuela de bronce.

En ningún caso, debe agregarse material seco a la muestra húmeda en la cazuela, para disminuir la humedad o para aumentar la cantidad de muestra.

#### 14. **CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS**

AASHTO	T 89
NLT	105

### **LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

#### **I.N.V. E - 126**

##### **1. OBJETO**

1.1 El objeto de este ensayo es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo.

1.2 Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desmoronen.

##### **2. EQUIPO**

2.1 Espátula, de hoja flexible, de unos 76.2 mm (3") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

2.2 Cápsula para evaporación, de porcelana, o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.

2.3 Balanza, de 100 g de capacidad con aproximación a 0.01 g.

2.4 Horno, termostáticamente controlado regulable a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

2.5 Tamiz, de 425  $\mu\text{m}$  (No.40).

2.6 Agua destilada.

2.7 Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.

2.8 Superficie lisa, para amasado y enrollamiento. - Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

### 3. **PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

3.1 Si se quiere determinar sólo el límite plástico, se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No.40), obtenidos de acuerdo con las Normas INV E-106 o INV E-107 (Preparación en seco y en húmedo de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas). Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de unos 6 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.

- El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

3.2 Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma INV E-125 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

### 4. **PROCEDIMIENTO**

4.1 Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

4.2 Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmora aproximadamente con dicho diámetro.

- El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto en los diversos tipos de suelo:

En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños. En otros suelos se forma una capa tubular exterior que comienza a hendirse en ambos extremos y progresa hacia el centro hasta que, finalmente, el suelo se desmora en partículas lajasas.

4.3 La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o recipientes tarados, y se continúa el proceso hasta reunir unos 5 g de suelo, se determina la humedad de acuerdo con la Norma INV E-122.

4.4 Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 4.1, 4.2 y 4.3.

## 5. RESULTADOS

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con una cifra decimal y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

## 6. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Se puede definir el Índice de Plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

- Índice de Plasticidad = Límite Líquido - Límite Plástico.
- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el Índice de Plasticidad se informará con la abreviatura NP (No plástico).
- Asimismo cuando el límite plástico resultante igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP.

## 7. PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

Investigaciones realizadas han demostrado que los resultados se repiten muy bien para un mismo operador, con tal de que posea experiencia aceptable. La principal fuente de incertidumbre radica en las diferencias en la apreciación del punto crítico por operadores diferentes.

Si los resultados obtenidos en las dos determinaciones del límite plástico dan una dispersión apreciable, el ensayo deberá repetirse. Como una guía práctica, cuando la diferencia entre las dos determinaciones resulte mayor o igual al 2%, repita de nuevo el procedimiento y promedie los dos valores cuya diferencia sea menor del 2%.

## 8. **CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS**

NLT            106

AASHTO      T 90

### **RELACIONES DE PESO UNITARIO-HUMEDAD EN LOS SUELOS EQUIPO MODIFICADO**

#### **I.N.V. E - 142**

#### 1. **OBJETO**

1.1 Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado con un martillo de 4.54 kg (10 lb) que cae desde una altura de 457 mm (18"). Se han previsto cuatro procedimientos alternativos en la siguiente forma:

Método A.- Un molde de diámetro 102 mm (4"): material de suelo que pasa un tamiz de 4.75 mm (No.4) (Numerales 3 y 4).

Método B.- Un molde de diámetro 152 mm (6"): material de suelo que pasa tamiz de 4.75 mm (No.4) (Numerales 5 y 6).

Método C.- Un molde de diámetro 102 mm (4"): material de suelo que pasa tamiz de 19.0 mm (3/4") (Numerales 7 y 8).

Método D.- Un molde de diámetro 152 mm (6"): material de suelo que pasa el tamiz de 19 mm (3/4") (Numerales 9 y 10).

1.2 Se indicará en las especificaciones el Método que deberá usarse para el material que se va a ensayar. Si no se especifica ninguno, registrará el Método A.

## 2. EQUIPO

2.1 Moldes. - Los moldes deberán ser cilíndricos de paredes sólidas, fabricados con metal y con las dimensiones y capacidades mostradas adelante. Deberán tener un conjunto de collar ajustable aproximadamente de 60 mm (23/8") de altura, que permita la preparación de muestras compactadas de mezclas de suelo con agua de la altura y volumen deseado. El conjunto del molde y del collar deberán estar contruídos de tal manera que puedan ajustarse libremente a una placa del mismo material. (Nota 1).

Nota 1: Pueden emplearse tipos de moldes similares a los estipulados aquí, pero advirtiéndolo que los resultados se correlacionen con los de los moldes de pared sólida, obtenidos sobre varios tipos de suelo y con los mismos resultados de peso unitario. Deberán mantenerse los registros de dicha correlación y deberá disponerse de ellos para su inspección, cuando se usen tipos de moldes similares.

- Un molde con una capacidad de  $943 \pm 8 \text{ cm}^3$  (1/30 pie<sup>3</sup>), con un diámetro interior de  $101.6 \pm 0.406 \text{ mm}$  ( $4.000 \pm 0.016$ ") y una altura de  $116.43 \pm 0.127 \text{ mm}$  ( $4.584" \pm 0.005$ ") (Véase Figura No. 1).

- Un molde que tenga una capacidad de  $2124 \pm 21 \text{ cm}^3$  (equivalente a 1/13.33 pies<sup>3</sup>), con un diámetro interior de  $152.4 \pm 0.6604 \text{ mm}$  ( $6" \pm 0.026$ ") y una altura de  $116.43 \pm 0.127 \text{ mm}$  ( $4.584" \pm 0.005$ ") (Véase Figura No. 2).

- Moldes que no cumplen con la tolerancia debido al uso. Un molde que no cumpla las tolerancias de fabricación después de un servicio continuado, puede permanecer en uso, siempre y cuando dichas tolerancias no sean excedidas en más de 50 por ciento y que se emplee el volumen del molde, calibrado de acuerdo con la Norma para calibración de Medidas de peso unitario para Agregados INV E-217.

## 2.2 Martillo

- Operado manualmente. - Un martillo metálico que tenga una cara plana circular de  $50.8 \pm 0.127 \text{ mm}$  ( $2.00" \pm 0.005$ ") de diámetro, una tolerancia por el uso de 0.13 mm (0.005") y que pese  $4.536 \pm 0.009 \text{ kg}$  ( $10.00 \pm 0.02 \text{ lb}$ ). El martillo deberá estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de caída del golpe desde una altura libre de

457.2 ± 1.524 mm (18.0" ± 0.06" ó 1/16") por encima de la altura del suelo. La guía deberá tener al menos 4 agujeros de ventilación no menores de 9.5 mm (3/8") de diámetro y espaciados aproximadamente a 90° (1.57 radianes) y a 19 mm (3/4"), de cada extremo; y deberá tener suficiente luz libre, de tal manera que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones.

- Operado mecánicamente. - Un martillo de metal que esté equipado con un dispositivo para controlar la altura de caída del golpe hasta una altura libre de 457.2 ± 1.524 mm (18.0" ± 0.06" ó 1/16") por encima del suelo y que distribuya uniformemente los golpes sobre la superficie de éste. El martillo deberá tener una cara plana circular de 50.8 ± 0.127 mm (2.0 ± 0.005"); una tolerancia por el uso de 0.13 mm (0.005") y un peso de fabricación de 4.539 ± 0.081 kg (10.0 ± 0.02 lb).

Nota 2: El martillo mecánico deberá comprobarse con diferentes suelos y ajustar su peso si fuera necesario, para que dé los mismos resultados de humedad-peso unitario que los obtenidos con martillos de operación manual.

Puede ser impráctico ajustar el aparato mecánico de tal manera que la caída libre sea de 457 mm (18") cada vez que caiga el martillo, como con el martillo operado manualmente. Para efectuar el ajuste de la caída libre, la porción del material suelto que recibe los golpes iniciales deberá comprimirse levemente con el martillo para establecer el punto de impacto a partir del cual se determina la caída de 457 mm (18"). Los golpes subsiguientes sobre la capa de suelo que está siendo compactada pueden aplicarse dejando caer el martillo desde una altura de 457 mm (18") por encima de la altura inicial de asentamiento o, cuando el aparato mecánico está diseñado con un ajuste de altura para cada golpe, todos los golpes subsiguientes deberán tener una caída libre para el martillo de 457 mm (18"), medidos a partir de la altura del suelo como quedara compactado mediante el golpe previo.

- Cara del martillo. - Deberá emplearse el martillo con cara circular, pero podrá usarse como alternativa uno con cara de sector circular. Deberá indicarse en el informe el tipo de cara empleada diferente a la circular de 50.8 mm (2") de diámetro, pero ésta deberá tener un área igual al de la cara circular.

2.3 Dispositivo para extrusión de las muestras.- Un gato, un extractor, u otro dispositivo adecuado que permita sacar por extrusión las muestras del molde.

2.4 Balanzas y Básculas, de 11.5 kg cuando se usan para pesar moldes de 152 mm (6") con suelos húmedos compactados; cuando se usa el molde de 102 mm (4"), puede emplearse una balanza o báscula de menor capacidad, si la sensibilidad y aproximación son de 5 g.

2.5 Horno, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F) para el secado de las muestras.

2.6 Regla Metálica, de acero endurecido, de borde recto y al menos de 254 mm (10") de largo. Deberá tener un borde biselado y al menos una cara plana en sentido longitudinal (usada para el corte final del suelo).

- El borde deberá usarse para el alisamiento final, si éste es plano dentro de una tolerancia de 0.1 % (0.01" por cada 10") del largo; sin embargo, con el uso continuado, el borde cortante podrá desgastarse excesivamente, en cuyo caso no sería adecuado para alisar el suelo hasta el nivel del molde. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se alise el suelo con su borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la muestra.

2.7 Tamices, de 50, 19.0 y 4.75 mm (2"; 3/4" y No.4).

2.8 Herramientas misceláneas para mezclado, tales como cucharas, espátulas, cazuelas, o un dispositivo mecánico adecuado para mezclar las muestras de suelo con diversas cantidades de agua.

2.9 Recipientes, para determinar la humedad de las muestras, elaborados en metal u otro material adecuado, con cierres que ajusten herméticamente para evitar la pérdida de humedad durante el pesaje.

## **MÉTODO A**

### **3. MUESTRA**

3.1 Si la muestra de suelo está húmeda cuando se recibe del terreno, deberá secarse hasta que llegue a hacerse friable según se vea al introducir en ella una espátula. El secamiento puede efectuarse al aire o por medio de aparatos de secado de manera que la temperatura de la muestra no sobrepase de 60 °C (140 °F). Rómpanse entonces los terrones del material de una manera tal que se evite reducir el tamaño natural de las partículas individuales de la muestra.

3.2 Tamícese una cantidad representativa adecuada de suelo pulverizado sobre el tamiz de 4.75 mm (No.4). Si lo hubiere, descártese el material grueso retenido sobre dicho tamiz.

3.3 Escójase una muestra representativa con un peso aproximado de 3 kg (6.6 lb) o más, del suelo preparado como se describe en los numerales 3.1 y 3.2.

#### 4. PROCEDIMIENTO

4.1 Mézclese perfectamente la muestra representativa escogida, con agua suficiente para humedecerla hasta aproximadamente 4 puntos de porcentaje por debajo del contenido óptimo de humedad.

4.2 Prepárese un espécimen compactando el suelo humedecido en el molde de 102 mm (4") de diámetro (con el collar ajustado) en cinco capas aproximadamente iguales y que den una altura total compactada de alrededor de 127 mm (5"). Compáctese cada capa mediante 25 golpes uniformemente distribuidos con el martillo de caída libre de 457 mm (18") por encima de la altura aproximada del suelo compactado, cuando se usa un martillo operado manualmente. Durante la compactación, el molde deberá permanecer firme sobre un soporte denso, uniforme, rígido y estable.

- Bases satisfactorias para colocar el molde durante la compactación del suelo pueden ser: un bloque de concreto, que pese no menos de 91 kg (200 lb), sostenido por una fundación relativamente estable como un piso sano de concreto, y en el caso de hacer el ensayo en el campo, superficies como los muros de alcantarillas de concreto, los puentes y los pavimentos.

- Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente el suelo excedente compactado en la parte superior del molde, usando la regla con borde recto. Pésese el molde y el suelo húmedo en kilogramos con aproximación de 5 g (en libras con aproximación de 0.01 lb).

Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en la sección 2.1 y cuyos pesos se hayan anotado en libras, multiplíquese el peso del suelo compactado en el molde, menos el peso del molde, por 30, y anótese el resultado como el peso unitario húmedo,  $\hat{1}$ , en lb/pie<sup>3</sup>, de suelo compactado. Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en el

numeral 2.1 y cuyos pesos se registren en kg, multiplíquese el peso del suelo compactado y del molde, menos el peso del molde, por 1059.43 y regístrese el resultado como peso unitario húmedo,  $\gamma_1$ , en kg/m<sup>3</sup>, de suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia del 50 %, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

4.3 Sáquese la muestra compactada del molde y córtese verticalmente a través del centro de la misma. Tómese una muestra representativa del material de una de las caras del corte; pésele inmediatamente y séquese en un horno a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F), por un tiempo mínimo de 12 horas o hasta peso constante, para determinar el contenido de agua. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 100 g.

4.4 Rómpase completamente la porción restante de la muestra moldeada hasta cuando se considere a ojo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) y reúname con la porción restante de la muestra que se está ensayando. Agréguese agua en cantidad suficiente para aumentar la humedad del suelo en 1 ó 2 puntos de porcentaje, y repítase el procedimiento anterior para cada incremento de agua. Continúese esta serie de determinaciones, hasta que haya disminución ó no haya cambio en el peso húmedo,  $\gamma_1$ , en lb/pie<sup>3</sup>, o kg/m<sup>3</sup>, del suelo compactado.

- Este procedimiento se ha encontrado satisfactorio en la mayoría de los casos. Sin embargo en algunos casos, en los cuales el suelo es de carácter frágil y se reduce significativamente en su tamaño debido a la compactación repetida y en casos en los cuales el suelo está constituido por un material arcilloso de textura grasosa, dentro del cual es difícil incorporar agua, deberá emplearse una muestra diferente del mismo material para cada punto del ensayo de compactación. En estos casos, las diferentes muestras deberán mezclarse perfectamente con cantidades suficientes de agua para que la humedad de las mismas varíe aproximadamente en 2 puntos de porcentaje.

Los puntos de humedad escogidos deberán encerrar el valor del contenido óptimo de humedad, proporcionando de esta manera muestras que, cuando se compactan aumentan su peso hasta el peso unitario máximo deseado y luego de alcanzado éste, disminuyen.

Las muestras de mezclas de suelo con agua deberán colocarse en recipientes cubiertos y deberá permitírseles que permanezcan por lo menos 12 horas antes de efectuar la determinación del ensayo de humedad-peso unitario.

- Sin embargo, cuando sea necesario agregar o remover una cantidad predeterminada de agua, podrán emplearse los siguientes tiempos mínimos de reposo para que la humedad se distribuya uniformemente, de acuerdo con el tipo de suelo.

Suelo (USC)	Horas
GW, GP, SW, SP	No se exige
GM, SM	3
ML, CL, OL, GC, SC	18
MH, CH, OH, Pt.	36

## **MÉTODO B**

### **5. MUESTRA**

5.1 Escójase la muestra representativa de acuerdo con el numeral 3.3, excepto que deberá tener un peso de aproximadamente 7 kg (15 lb).

### **6. PROCEDIMIENTO**

6.1 Sígase el mismo procedimiento descrito para el Método A en el numeral 4, excepto en lo siguiente:

Prepárese una muestra compactando el suelo humedecido en el molde de 152 mm (6"), de diámetro (con el collar ajustado), en cinco capas aproximadamente iguales de tal manera que proporcionen una altura total compactada de alrededor de 125 mm (5"), siendo compactada cada capa por medio de 56 golpes de martillo uniformemente distribuidos.

Para moldes que cumplen con las tolerancias del numeral 2.1 y con los pesos anotados en libras, multiplíquese el peso de la muestra compactada y el molde, menos el peso del

molde por 13.33, y anótense el resultado como peso unitario húmedo,  $\hat{1}$ , en lb/pie<sup>3</sup>, de suelo compactado. Para moldes que cumplen las tolerancias citadas en el numeral 2.1 y con los pesos registrados en kilogramos, multiplíquese el peso de la muestra compactada y el molde, menos el peso del molde, por 470.74, y anótense los resultados como el peso unitario húmedo,  $\hat{1}$ , en kg/m<sup>3</sup>, del suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia del 50 %, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

## **MÉTODO C**

### **7. MUESTRA**

7.1 Si el suelo está húmedo cuando se recibe del campo, séquese hasta que se note friable al introducir en él una espátula. El secamiento puede efectuarse en el aire, o mediante el uso de aparatos de secado, siempre que la temperatura no exceda de 60°C (140°F). Rómpanse luego perfectamente los terrones pero de tal manera que se evite la reducción del tamaño natural de las partículas individuales.

7.2 Tamícese una cantidad representativa de suelo pulverizado sobre el tamiz de 19.0 mm (3/4"). Descártese el material grueso si lo hubiere, retenido sobre dicho tamiz, si lo hubiere.

- Cuando fuere aconsejable mantener en la muestra el mismo porcentaje de agregado grueso que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y que queda retenido en el tamiz de 4.75 mm (No.4), para humedad-peso unitario, que en la muestra original de campo, el material retenido sobre el tamiz 19.0 mm (3/4") deberá reemplazarse en la forma siguiente: tamícese una cantidad adecuada de suelo representativo pulverizado sobre los tamices de 50 mm (2") y 19.0 mm (3/4"). Pésese el material que pase el tamiz de 50 mm (2") y queda retenido en el tamiz de 19.0 mm (3/4") y reemplácese con un peso igual de material que pasa dicho tamiz y que quede retenido en 4.75 mm (No.4). Tómese el material para la sustitución, de la porción sobrante de la muestra.

7.3 Selecciónese una muestra representativa, que tenga un peso de 5 kg (11 lb), de suelo preparado como se describió en los numerales 7.1 y 7.2.

## 8. PROCEDIMIENTO

8.1 Mézclase completamente la muestra representativa seleccionada con suficiente agua para humedecerla hasta aproximadamente 4 puntos de porcentaje por debajo del contenido óptimo de humedad.

8.2 Prepárese una muestra mediante compactación del suelo humedecido, en el molde de 102 mm (4") de diámetro (con el collar ajustado), en cinco capas aproximadamente iguales que den una altura total de material compactado de alrededor de 127 mm (5"). Compáctese cada capa mediante 25 golpes uniformemente distribuidos dados por el martillo de caída libre, desde una altura de 457 mm (18") por encima de la altura aproximada del suelo, cuando se usa un martillo del tipo con guía, o de 457 mm (18") por encima de la altura aproximada de cada capa finalmente compactada cuando se usa un martillo de tipo de montaje estacionario. Durante la compactación, el molde deberá permanecer firmemente apoyado sobre un soporte estable, denso, uniforme y rígido. (Véase el numeral 4.2).

- Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente el suelo excedente compactado en la parte superior del molde, mediante la regla con borde recto. Los huecos que se hayan desarrollado en la superficie por la remoción de material grueso deberán rellenarse con material de tamaño más pequeño. Pésese el molde y el suelo húmedo en kg con aproximación de 5 g (o en libras con aproximación a 0.01 lb). Para moldes que cumplen con las tolerancias dadas en el numeral 2.1, y cuyos pesos estén registrados en libras, multiplíquese el peso de la muestra compactada y el del molde, menos el peso del molde, por 30, y regístrese el resultado como peso unitario húmedo,  $\rho_1$ , en lb/pie<sup>3</sup>, de suelo compactado. Para moldes que cumplen con las tolerancias dadas en el numeral 2.1 y cuyos pesos estén registrados en kilogramos, multiplíquese el peso de la muestra compactada y el del molde, menos el peso del molde, por 1059.43, y anótese el resultado como peso unitario húmedo,  $\rho_1$ , en kg/m<sup>3</sup>, del suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia del 50%, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

8.3 Sáquese el material del molde y córtese verticalmente por el centro. Tómese una muestra representativa del material de una de las caras del corte, pésele inmediatamente, séquese en un horno a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F) por lo menos durante 12 horas o hasta obtener un peso constante, para determinar el contenido de humedad. La muestra para esta determinación no deberá ser menor de 500 g.

8.4 Rómpase completamente la cantidad restante del material hasta cuando se considere que pasa el tamiz de 19.0 mm y para el cual el noventa (90 %) de los terrones de suelo pasan un tamiz de 4.75 mm juzgado a ojo, y agréguese a la parte restante de la muestra que se va ensayar. Añádase agua en cantidad suficiente para aumentar la humedad de la muestra en uno o dos puntos de porcentaje, y repítase el procedimiento anterior para cada incremento de agua. Prosígase con esta serie de determinaciones hasta que disminuya o no cambie el peso húmedo ( $\gamma_1$  en kg/m<sup>3</sup> (o lb/pie<sup>3</sup>) del suelo compactado. (Véase numeral 4.4).

## **MÉTODO D**

### **9. MUESTRA**

9.1 Escójase la muestra representativa de acuerdo con el numeral 7.3, excepto que ésta deberá tener un peso de aproximadamente 11 kg. (24 lb).

### **10. PROCEDIMIENTO**

10.1 Sígase el mismo procedimiento descrito para el Método C en el numeral 8, excepto en lo siguiente: fórmese una muestra compactando el suelo humedecido en el molde de 152 mm (6") de diámetro (con el collar ajustado) en cinco capas aproximadamente iguales, que den una altura total compactada alrededor de 127 mm (5"), compactándose cada capa mediante 56 golpes del martillo distribuidos uniformemente. Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en el numeral 2.1 y con los pesos dados en libras, multiplíquese el peso de la muestra compactada y del molde menos el peso del molde por 13.33, y anótese el resultado como el peso unitario, ( $\gamma_1$  en lb/pie<sup>3</sup> del suelo compactado. Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en el numeral 2.1 y con los pesos registrados en kilogramos, multiplíquese el peso de la muestra compactada y del molde

menos el peso del molde por 470.74, y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo, del suelo compactado,  $\hat{\rho}_1$ , en kg/m<sup>3</sup>. Para moldes usados fuera de las tolerancias del 50%, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

## CÁLCULOS E INFORME

### 11. CÁLCULOS

11.1 Calcúlese la humedad y el peso unitario seco del suelo compactado para cada prueba, así:

$$w = \frac{A - B}{B - C} \times 100$$

$$\hat{\rho} = \frac{\hat{\rho}_1}{W + 100} \times 100$$

Donde:

$w$  = Porcentaje de humedad en la muestra con base en el peso seco del suelo en el horno.

$A$  = Peso del recipiente y del suelo húmedo.

$B$  = Peso del recipiente y del suelo seco.

$C$  = Peso del recipiente.

$\hat{\rho}$  = Peso unitario seco, en kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>) del suelo compactado.

$\hat{\rho}_1$  = Peso unitario húmedo de kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>) del suelo compactado.

### 12. RELACIONES DE HUMEDAD-PESO UNITARIO

12.1 Los cálculos del numeral 11.1 deberán efectuarse para determinar la humedad y el correspondiente peso unitario de la muestra del suelo, secado en el horno, en kg/m<sup>3</sup>

(lb/pie<sup>3</sup>). Los pesos unitarios se dibujarán como ordenadas y las humedades correspondientes como abscisas.

12.2 Humedad óptima.- Cuando los pesos unitarios y las correspondientes humedades para el suelo han sido determinados para conformar una curva, el contenido de humedad que corresponda al pico de la curva, se llamará contenido óptimo de humedad del suelo bajo la compactación mencionada atrás.

12.3 Peso Unitario Máximo.- El peso unitario del suelo secado al horno en kg/m<sup>3</sup> o en lb/pie<sup>3</sup>, correspondiente al contenido óptimo de humedad, bajo la compactación mencionada arriba, se llamará peso unitario máximo.

### 13. **INFORME**

13.1 El informe deberá incluir:

- Método empleado (A, B, C o D).
- Humedad óptima, como porcentaje, aproximada al entero más próximo.
- Peso unitario máximo en kg/m<sup>3</sup>, con aproximación a 0.5 kg. (o en lb/pie<sup>3</sup> con aproximación al entero más próximo).
- En los métodos C y D indíquese el material retenido en el tamiz de 19.0 mm (3/4") que fue removido y reemplazado.
- Tipo de cara del pisón si se usó una diferente a la circular de 50.8 mm (2") de diámetro.

### 14. **PRECISIÓN**

14.1 Dos resultados obtenidos por el mismo operador sobre la misma muestra en el mismo laboratorio, empleando el mismo aparato, y en días diferentes, deberá considerarse dudoso si difiere en más del 10 % en su contenido medio óptimo de humedad y en 35.2 kg/m<sup>3</sup> (2.2 lb/pie<sup>3</sup>) del peso unitario máximo.

14.2 Dos resultados obtenidos por operadores diferentes en diferentes laboratorios deberán considerarse dudosos si difieren en más del 15 % de su valor medio para el contenido óptimo de humedad y en 72 kg/m<sup>3</sup> (4.5 lb/pie<sup>3</sup>) para el peso unitario máximo.

## 15. **CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS**

AASHTO    T 180

ASTM        D 1557

### **RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO)**

#### **I.N.V. E - 148**

##### **1. OBJETO**

1.1 Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

1.2 Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub base y de afirmado.

1.3 Esta Norma hace referencia a los ensayos para Determinación de las Relaciones de Peso Unitario-Humedad, usando un equipo normal (estándar) o un equipo modificado, normas INV E-141 y E-142, también conocidos como ensayos de compactación o ensayos Proctor Normal y Proctor Modificado, respectivamente.

## 2. EQUIPO Y MATERIALES

2.1 Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. El pistón se aloja en el cabezal y sus características deben ajustarse a las especificadas en el numeral 2.7.

El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1,27 mm (0.05") por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44.5 kN (10000lbf) ó más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44N o menos.

2.2 Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4 mm  $\pm$  0.66 mm (6  $\pm$ 0.026") de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0.66 mm (7  $\pm$  0.026") de altura, provisto de un collar suplementario de 51 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1,6 mm de diámetro (Figura No.1a). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

2.3 Disco espaciador, circular, de metal, de 150.8 mm de diámetro y de 50.8 mm (2") de espesor (Figura No.1b), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

2.4 Martillos de compactación como los descritos en las normas de ensayo INV E-141 (equipo normal) e INV E-142 (equipo modificado).

2.5 Aparato medidor de expansión compuesto por:

- Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura (Figura No.1d).

- Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm(0.001").(Ver Figura No.1c).

2.6 Sobrecargas metálicas, unas diez por cada molde, una anular y las restantes ranuradas, con peso de 2,27 Kg (5 lb) cada una, 149.2 mm de diámetro exterior y la anular con 54 mm de diámetro en el orificio central (Figura No.1b).

- 2.7 Pistón de penetración, cilíndrico, metálico de 49.6 mm de diámetro (1,95"), área de 19.35 cm<sup>2</sup> (3 pulg<sup>2</sup>) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas de acuerdo con el numeral 3.4, pero nunca menor de 101.6 mm (4").
- 2.8 Dos diales (deformímetros) con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones en 0.025 mm (0.001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- 2.9 Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- 2.10 Horno, termostáticamente controlado, regulable a  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ )
- 2.11 Balanzas, una de 20 kg de capacidad, y otra de 1000 g con sensibilidades de 2 g y 0.1 g respectivamente.
- 2.12 Tamices, de 4.75 mm (No.4) y de 19.0 mm (3/4").
- 2.13 Material diverso de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

### 3. PROCEDIMIENTO

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

- 3.1 Preparación de la muestra.- Se procede como se indica en las normas INV E-141 o E-142 (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo normal o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19.1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una

proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19.1 mm (3/4") y de 4.75 mm (No.4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía del Proctor Normal, la del Proctor modificado y una energía inferior al Proctor Normal. De esta forma, se puede estudiar la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que la afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la Norma INV E-122.

Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

3.2. Elaboración de Especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos INV E-141 o E-142, idem Proctor Normal o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas. (Ver Figura No. 2a). Es frecuente utilizar tres o nueve moldes por cada

muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes y humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Nota 1: En este procedimiento queda descrito cómo se obtiene el índice CBR para el suelo colocado en un solo molde, con una determinada humedad y densidad. Sin embargo, en cada caso, al ejecutar el ensayo deberá especificarse el número de moldes a ensayar, así como la humedad y peso unitario a que habrán de compactarse.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500 g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del suelo de acuerdo con la Norma INV E-122. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier hueco superficial producido al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula.

Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel de filtro entre el molde y la base. Se pesa.

3.3 Inmersión.- Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que

hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 kg (5.5 lb) correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg. (10lb). (ver Figura No.2b).

Nota 2: A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación, o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4,54 kg (10 lb) de sobrecarga.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua aproximadamente constante. Es admisible también un periodo de inmersión más corto si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que ésto no afecta los resultados. (Ver Figura No.2c).

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del período de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente, se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

Es importante que no transcurra más tiempo que el indispensable desde cuando se retira la sobrecarga hasta cuando vuelve a colocarse para el ensayo de penetración.

3.4 Penetración.- Se aplica una sobrecarga que sea suficiente para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con  $\pm 2.27$  kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 lb). Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, Llévese el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50 N (5 kgf) para que el pistón asiente. Seguidamente, se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. (Ver Figura No.2d). Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

## PENETRACIÓN

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400 *
12.70	0.500 *

Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

### 4. CÁLCULOS

4.1 Humedad de Compactación.- El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = [(H-h) / (100+h)] \times 100$$

Dónde: H = Humedad prefijada

h = Humedad natural

4.2 Densidad o Peso Unitario.- La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo INV E-141 o E-142, idem Proctor Normal o Modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

4.3 Agua absorbida.- El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta (numerales 3.2 y 3.4), la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.

4.4 Presión de Penetración.- Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (Ver Figura No 3)

4.5 Expansión.- La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 3.2. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Siendo

L1 = Lectura inicial en mm.

L2 = Lectura final en mm.

4.6 Valor de la relación de soporte (Índice resistente CBR).- Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
mm	Pulgadas	MN/m <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto, (0 corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.
- De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2.54 mm y 5.08 mm y calcúlense los valores de Relación de Soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa (1000lb/plg<sup>2</sup>) y 10.3 MPa (1500 lb/plg<sup>2</sup>) respectivamente, y multiplíquese por 100.

La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2.54 mm (0.1") de penetración. Cuando la relación a 5.08 mm (0.2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5.08 mm (0.2") de penetración.

## 5. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO SOBRE MUESTRAS INALTERADAS.

En el caso de muestras inalteradas se procede como sigue:

Se clava el molde en el suelo poco a poco, con ayuda de herramientas apropiadas, hasta llenarlo, haciendo uso de la técnica para la toma de muestras inalteradas que se describe en la Norma INV E-112.

Una vez lleno el molde, se parafinan sus caras planas y, cuidando de no golpearlo, se traslada al laboratorio. Cuando se vaya a efectuar el ensayo se quita la parafina de ambas caras y, con ayuda de la prensa y el disco espaciador, o de un extractor de muestras, se deja un espacio vacío en el molde equivalente al del disco espaciador, enrasando el molde por el otro extremo. A continuación, se procede como con las muestras preparadas en el laboratorio.

La operación para dejar ese espacio vacío no es necesaria ( $7.0'' \pm 0.16''$ ) si se utiliza un molde con 127 mm (5") de altura, en vez de los 177,8 mm, y se monta el collar antes de proceder al ensayo de penetración.

## 6. INFORME

Los datos y resultados de la prueba que deberán suministrarse son los siguientes:

- Procedimiento y esfuerzo de compactación.
- Humedad al fabricar el espécimen.
- Peso unitario.
- Sobrecarga de saturación y penetración.
- Expansión del espécimen.
- Humedad después de la saturación.
- Humedad óptima y densidad máxima determinados mediante la norma.

INV E-142.

- Curva Presión-Penetración.
- Valor de Relación de Soporte.

## 7. **CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS**

NLT	111
ASTM	D 1883
AASHTO	T 193

### **PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA**

#### **I.N.V. E - 161**

##### **1. OBJETO**

Este método de ensayo se usa para determinar el peso unitario (densidad) de los suelos en el terreno. El empleo del aparato descrito aquí está restringido a suelos que contengan partículas no mayores de 50 mm (2") de diámetro.

##### **2. EQUIPO**

2.1 Aparato del cono de arena.- El aparato del cono de arena consistirá de un frasco de aproximadamente un galón (3.785 lts) y de un dispositivo ajustable que consiste de una válvula cilíndrica con un orificio de 12.7 mm (½") de diámetro y que tiene un pequeño embudo que continúa hasta una tapa de frasco de tamaño normal en un extremo y con un embudo mayor en el otro.

La válvula deberá tener topes para evitar su rotación cuando esté en posición de completamente abierta o de completamente cerrada. El aparato deberá estar de acuerdo con las exigencias indicadas en la Figura No.1.

Nota 1: El aparato descrito aquí representa un diseño que ha comprobado ser satisfactorio. Otros aparatos de proporciones similares se comportarán igualmente bien en tanto que se observen los principios básicos de la determinación del volumen con arena.

Este aparato, cuando está lleno, puede usarse con agujeros que tengan hasta un volumen de aproximadamente 0.003 m<sup>3</sup> (0.1 pies<sup>3</sup>).

La placa de base mostrada en el dibujo es opcional; su uso puede hacer más difícil la nivelación pero permite en el ensayo abrir agujeros de diámetros mayores y puede reducir la pérdida de suelo al pasarlo del agujero de ensayo al recipiente, así como también ofrece una base más constante para ensayos en suelos blandos. Cuando se usa la placa de base deberá considerarse como una parte del embudo en el procedimiento de este método de ensayo.

2.2 Arena.- La arena que se utilice deberá ser limpia, seca, uniforme, no cementada, durable y que fluya libremente. Además, deberá tener un coeficiente de uniformidad (D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>) menor que 2 y no contener partículas que queden retenidas en el tamiz de 2 mm (No.10).

Debe ser uniforme y preferiblemente de forma redondeada o sub-redondeada para favorecer que fluya libremente y desprovista de partículas o arena fina (menor que 250 μm, No.60), para prevenir segregación en almacenamiento o uso, y cambios de peso unitario aparente como consecuencia de variaciones en la humedad atmosférica.

Al seleccionar una arena para ser usada, deberán hacerse, como mínimo, cinco (5) determinaciones de peso unitario aparente de cada bulto y para que la arena sea aceptable, no deberá existir entre cada uno de los resultados individuales y el promedio una variación mayor que el 1 % del promedio.

Antes de usar una arena, deberá secarse y dejarse luego en reposo hasta que obtenga la condición de "seca al aire", en la zona en que va a ser usada.

Nota 2: La arena no debe reutilizarse sin antes remover cualquier fracción de suelo que la contamine, verificar la gradación y secarla. Además, deberá verificarse el peso unitario aparente en períodos no mayores de 14 días y con mayor frecuencia, en zonas de alta humedad o de variaciones frecuentes de la misma.

La necesidad de esta verificación aumenta con el contenido de partículas finas en la arena ya que éstas tienen tendencia a absorber humedad de la atmósfera y con muy pequeñas variaciones de humedad pueden producirse cambios significativos en el peso unitario aparente de la arena.

2.3 Balanzas.- Una balanza de capacidad de 10 kg y sensibilidad de 2 g y otra de capacidad de 200 g y sensibilidad de 0.1 g.

2.4 Equipo para el secamiento.- Estufa, horno u otro equipo adecuado para secar muestras con el fin de determinar su contenido de humedad.

2.5 Equipo misceláneo.- Pequeña pica, cinceles y cucharas para excavar el agujero de ensayo, cazuela para freír de 224 mm (10") o cualquiera otro recipiente adecuado para secar muestras; canastillas con tapas, canecas con tapas, sacos de lona u otros recipientes adecuados para que contengan las muestras de peso unitario y humedad o para el peso unitario de la arena respectivamente, termómetro; pequeña brocha de pintura, cuaderno y cartera, etc.

### 3. PROCEDIMIENTO

3.1 Determínese el volumen del frasco y del conjunto, incluido el volumen del orificio de la válvula en la siguiente forma (Nota 3):

- Pésese el conjunto del aparato y anótese. Colóquese el aparato hacia arriba y ábrase la válvula. Llénese el aparato con agua hasta que aparezca ésta sobre la válvula. Cíerrese la válvula y remuévase el exceso de agua. Pésese el aparato y el agua y determínese la temperatura del agua.

- Repítase este procedimiento por lo menos dos veces. Conviértase el peso del agua de gramos a mililitros, para corregir la temperatura como se indica en el numeral 4.1. El volumen que se empleará será el promedio, con una variación máxima de 3 ml.

Nota 3: El volumen determinado en este procedimiento es constante en tanto que el frasco y el dispositivo se hallen en la misma posición relativa; si los dos han de separarse deberán hacerse marcas de referencia que permitan nuevamente armarlos en esta posición.

3.2 Determínese el peso unitario aparente de la arena que va a ser usada en el campo en la siguiente forma: (Notas 4 y 5).

- Colóquese el aparato vacío hacia arriba sobre una superficie firme y a nivel, ciérrase la válvula y llénese el embudo con arena.
- Abrase la válvula y, manteniendo el embudo con arena por lo menos hasta la mitad, llénese el aparato. Ciérrase la válvula bruscamente y vacíese el exceso de arena.
- Pésese el aparato con arena y determínese el peso neto de la arena quitando el peso del aparato.

Nota 4: La vibración de la arena durante cualquier determinación del peso y del volumen, puede aumentar el peso unitario aparente de la arena y disminuir la precisión de la determinación. Intervalos considerables de tiempo entre la determinación del peso unitario aparente de la arena y su empleo en el campo pueden traducirse en el cambio del peso unitario aparente debido al cambio en la humedad o en la gradación efectiva.

Nota 5: Es posible determinar el peso unitario aparente de la arena en otros recipientes de un volumen conocido que dimensionalmente se aproximen al hueco de mayor tamaño que será excavado. El procedimiento general usado es el dado en el numeral 3.4, para determinar el volumen del agujero de ensayo. Si se ha de seguir este procedimiento deberá comprobarse que el peso unitario aparente resultante iguale a la dada mediante la determinación con el frasco.

3.3 Determínese el peso de la arena necesaria para llenar el embudo en la siguiente forma (Notas 6 y 7):

- Colóquese la arena en el aparato y obténgase el peso del aparato con la arena.
- Colóquese el aparato invertido sobre una superficie plana, limpia y a nivel.
- Abrase la válvula y manténgase abierta hasta que cese de fluir la arena.
- Ciérrase bruscamente la válvula, pésese el aparato con la arena restante y determínese la disminución de la arena. Esta disminución representa la arena necesaria para llenar el embudo.
- Reemplácese la arena removida en la determinación del embudo y ciérrase la válvula.

Nota 6: Esta determinación puede omitirse si se sigue el procedimiento dado en la Nota 8. Cuando se use la placa de base deberá considerarse ésta como parte del embudo.

Nota 7: Cuando se deseen agujeros del máximo volumen posible, después de determinado el peso unitario aparente, deposítase la arena por medio de vibración y aumentese el peso de la arena en el aparato. Si este procedimiento se sigue, el total de la arena disponible deberá determinarse pesándola nuevamente.

3.4 Determínese el peso unitario del suelo en el sitio en la siguiente forma:

- Prepárese el sitio de la superficie para ser ensayada de tal manera que quede en un plano a nivel.
- Colóquese el aparato invertido sobre la superficie preparada y márquese el límite del contorno del embudo (Nota 8).

Nota 8: En suelos en los que la nivelación no pueda efectuarse deberá hacerse un ensayo preliminar midiendo el volumen delimitado por el embudo y la superficie del terreno.

Esta etapa requiere balanzas en el sitio del ensayo o vaciar y llenar nuevamente el aparato. Después de que se complete esta medida, cuidadosamente cepílese la arena empleada.

- Cávese el orificio del ensayo, dentro de la marca del embudo, teniendo cuidado de evitar la alteración del suelo que limita al hueco. Suelos esencialmente granulares requieren extremo cuidado. Colóquese todo el suelo suelto en un recipiente teniendo cuidado de evitar cualquier pérdida de material.
- Colóquese el aparato en la posición previamente marcada, ábrase la válvula y después que haya dejado de fluir la arena, ciérrase la válvula. (Nota 4).
- Pésese el aparato con la arena restante y determínese el peso de la arena usada para el ensayo.
- Pésese el material que fue removido del hueco de ensayo.
- Mézclese completamente el material y asegúrese de lograr una muestra representativa para la determinación de la humedad.
- Pésese y séquese la muestra del suelo para humedad.
- Los volúmenes mínimos sugeridos para los orificios de ensayo, para la determinación del peso unitario en el sitio, de mezclas de suelos, se hallan en la Tabla 1.

Esta tabla muestra el peso mínimo sugerido de la muestra empleada para la determinación del contenido de humedad, en relación con el tamaño máximo de las partículas en las mezclas del suelo.

#### 4. CÁLCULOS

4.1 Calcúlese el volumen del aparato de peso unitario de la siguiente forma:

$$V1 = GT$$

Donde:

V1 = Volumen del aparato del cono de arena, en cm<sup>3</sup>.

G = Gramos de agua requeridos para llenar el aparato,

T = Corrección por temperatura del volumen de agua, indicado en la columna 3 de la Tabla 2.

- Calcúlese el volumen del aparato del cono de arena con aproximación de 3 cm<sup>3</sup> (0.0001 pie<sup>3</sup>).

TABLA No.1

VOLÚMENES MÍNIMOS DE LOS ORIFICIOS DE ENSAYO Y DE LAS MUESTRAS PARA HUMEDAD CON BASE EN EL TAMAÑO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS

Tamaño máximo de partículas		Volumen mínimo del orificio de ensayo cm <sup>3</sup> (pies <sup>3</sup> )	Muestra para humedad g
mm	Alterna		
4.75	No. 4	700 (0.025)	100
12.5	½"	1.400 (0.050)	250
25.0	1"	2.100 (0.075)	500
50.0	2"	2.800 (0.100)	1000

TABLA No.2  
 VOLÚMEN DE AGUA POR GRAMO CON BASE  
 EN LA TEMPERATURA

Temperatura, °C (°F)	Volumen de agua, cm <sup>3</sup> /gramo
12 (53.6)	1.00048
14 (57.2)	1.00073
16 (60.8)	1.00103
18 (64.4)	1.00138
20 (68.0)	1.00177
22 (71.6)	1.00221
24 (75.2)	1.00268
26 (78.8)	1.00320
28 (82.4)	1.00375
30 (86.0)	1.00435
32 (89.6)	1.00497

4.2 Calcúlese el peso unitario (densidad) aparente de la arena en la siguiente forma:

$$\hat{\rho}_1 = W_2 / V_1$$

Donde:

$\hat{\rho}_1$  = Peso unitario de la arena en g/cm<sup>3</sup>.

W<sub>2</sub> = Gramos de arena requeridos para llenar el aparato, (3.2)

V<sub>1</sub> = Volumen del aparato en centímetros cúbicos, (4.1.)

- Calcúlese el peso unitario (densidad) aparente de la arena con aproximación a 0.002 g/cm<sup>3</sup>

4.3 Calcúlese el contenido de humedad y el peso seco del material removido del hueco de ensayo en la siguiente forma:

$$w = [(W3 - W4) / W4] \times 100$$

$$W6 = W5 / (w + 100)$$

Donde:

w = Porcentaje de humedad, del material extraído del hueco de ensayo.

W3 = Peso húmedo de la muestra de ensayo para humedad, g.

W4 = Peso seco de la muestra de ensayo de humedad, g.

W5 = Peso húmedo del material extraído del hueco de ensayo, g, y

W6 = Peso seco del material del hueco de ensayo, g.

- Calcúlese el contenido de humedad con aproximación a 0.1%
- Calcúlese el peso seco del material removido del hueco de ensayo con aproximación a 0.1 g.

4.4 Calcúlese el peso unitario seco del material ensayado en la siguiente forma:

$$V = (W1 - W7) / \rho$$

$$W = W6 / V$$

Donde:

V = Volumen del hueco de ensayo, en cm<sup>3</sup>

W1 = Gramos de arena usados (3.4)

W7 = Gramos de arena en el embudo (3.3), y

W = Peso unitario seco (densidad), del material ensayado en gms/cm<sup>3</sup>.

Nota 9: Puede desearse expresar el peso unitario en el sitio como un porcentaje de alguna otra densidad, como por ejemplo del peso unitario máximo de laboratorio determinado de acuerdo con uno de los métodos de Ensayo para Relaciones de Humedad-peso unitario de Suelos (INV E-141 ó INV E-142). Esta relación se determina dividiendo el peso unitario en el sitio por el peso máximo y multiplicando por 100.

4.4.1 Calcúlese el peso unitario (densidad) en el sitio del material ensayado en g/cm<sup>3</sup> con aproximación a 0.01 g/cm<sup>3</sup> o en lb/pie<sup>3</sup> con aproximación a 0.1 lb/pie<sup>3</sup>.

## 5. **CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS**

AASHTO    T 191

ASTM        D 1556

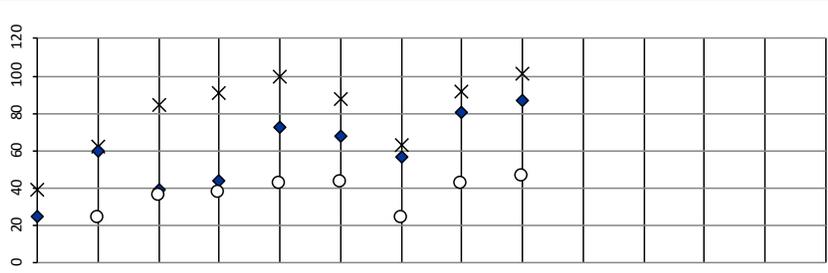
## **ANEXOS 2**

## **ENSAYOS**





RESUMEN DE ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO										RESUMEN DE ENSAYOS													
OBRA: SRA. PATRICIA TIERRA VILEMA										SONDEO N°	S3												
LOCALIZACION: CALLE CORONEL ENTRE BRASIL Y GOMEZ RENDON										HOJA N°	1 de 1												
Coordenadas										FECHA:	Oct-19												
Máquina: Acker										NF:	m.s.n.m.												
Tipo de martillo: Safety $C_E = 1$										C <sub>R</sub> = Corrección por long tubería													
ESTRATI	GRAFA	W	%	IP	%	γ m	T/m <sup>3</sup>	qu	T/m <sup>2</sup>	ε	%	T <sub>orv.</sub>	T/m <sup>2</sup>	P <sub>h</sub>	T/m <sup>2</sup>	N° 4	%	N° 200	%	N	C <sub>R</sub>	N <sub>60</sub>	
0	0,00 - 0,40	Relleno :	0,40 mt.		18																		
1	0,40 - 1,28	Arcilla limosa negra		36	62	1,587	5,00	5,00	1,60	8,55		1,60	2,40	2,40	100	76							
2	1,28 - 2,00	Arcilla limosa verdosa con pintas amarillas		47	85	1,640							3,20	3,20	100	99							
3	2,50 - 3,00			52	91	1,660			3,10						100	99							
4	4,00 - 4,50			56	100	1,568	6,51	6,49	3,60						100	99							
5	5,50 - 6,00	Limo arcilloso con capitas de arena fina gris verdosa		43	88	1,552			1,40						91	86							
6	7,00 - 7,50			37	57	1,558									99	58							
7	8,55 - 9,00			48	81										100	83							
8	10,00 - 10,50			53	87										100	80							
										Emite y aprueba:		Ingeniero Civil											



**GONZALO VELASCO**  
INGENIERO CIVIL

**ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA  
(SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS) SUCS**

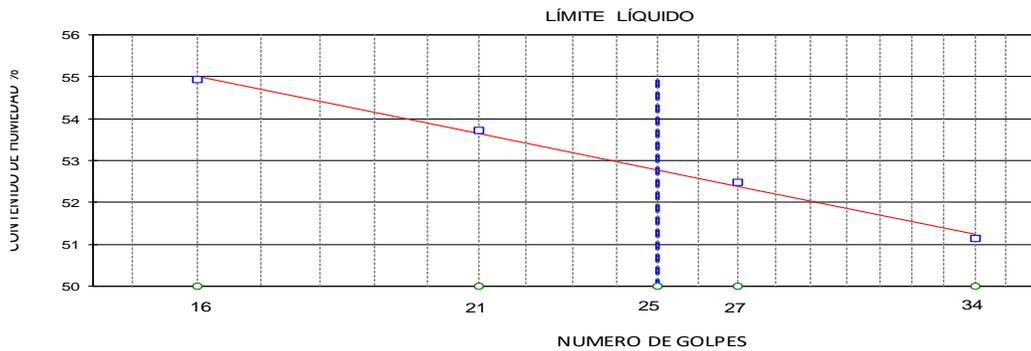
**NORMAS ASTM D 2487, D 2216, D 4318, D 422**

**PROYECTO:** "Utilización de espuma de poliuretano para mejorar capacidad portante de los suelos en viviendas de índole popular" **CALICATA:** 1  
**UBICACIÓN:** \_\_\_\_\_ **MUESTRA:** 1  
**FECHA DE TOMA:** 6-Mar-21 **PROFUND (m):** 0,65 - 1,10  
**FECHA ENSAYO:** 8-Mar-21

ESPECIFICACIONES PARA MEJORAMIENTO: Límite Líquido ≤ 35		Índice de Plasticidad ≤ 9		
Valor de:	P. Húmedo + cápsula	P. Seco + cápsula	Peso cápsula	W%
<b>1. Contenido de agua</b>	85.17	75.57	16.88	16.36
	<b>Golpes</b>			
	34	37.72	30.85	17.42
	27	33.00	27.72	17.66
<b>2. Límite Líquido</b>	21	35.18	28.68	16.58
	16	33.19	27.51	17.17
		17.79	15.75	9.95
<b>3. Límite Plástico</b>		16.76	14.97	9.90
		15.69	13.99	9.24

4. Granulometría					5. Resumen	
Peso inicial húmedo para cálculos =		500.00			% de Grava = <b>3</b>	
Peso inicial seco para cálculos =		429.71			% de Arena = <b>5</b>	
Tamiz	Pes. Ret. parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Especificaciones MEJORAMIENTO	Límite Líquido LL =	<b>53</b>
4"		0.0	100.0	100	Límite Plástico LP =	<b>35</b>
1 1/2"					Índice Plástico IP =	<b>17</b>
1"					% Humedad w =	<b>16</b>
3/4"					<b>6. Clasificación</b>	
3/8"					SUCS:	<b>MH</b>
No. 4	14.00	3.3	96.7		AASHTO:	<b>A-7-5</b>
No. 10					IG(86):	21
No. 40					IG(45):	13
No. 200	20.00	7.9	92.1	2 - 20		

**7. Descripción:** Limo arcilloso negra con pintas verdosa



**8. Observaciones:**

Emite: \_\_\_\_\_  
Laboratorista

Aprueba: \_\_\_\_\_  
Ing. Gonzalo Velasco Cerezo

<b>GONZALO VELASCO</b> INGENIERO CIVIL	<b>CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS USANDO ESFUERZO MODIFICADO (56.000 pie-lbf/pie<sup>3</sup> (2.700 kN/m<sup>3</sup>))</b>
---	--

ASTM D 1557

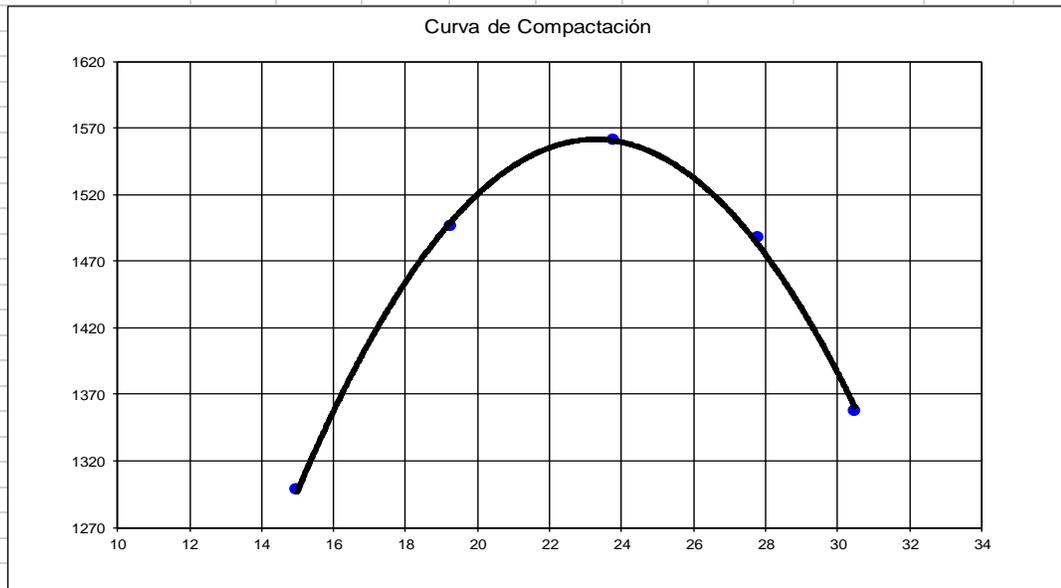
<b>PROYECTO:</b>	"Utilización de espuma de poliuretano para mejorar capacidad portante de los suelos en viviendas de indole popular"	<b>CALICATA:</b>	1
<b>UBICACIÓN:</b>		<b>MUESTRA:</b>	1
<b>FECHA TOMA:</b>	6-Mar-21	<b>PROFUND (m):</b>	0,65 - 1,10
		<b>FECHA ENSAYO:</b>	8-Mar-21

<b>1. Norma y ensayo:</b>	Procedimiento A	<b>2. Datos del molde:</b>	
Golpe/capa:	25	Diámetro:	10.16 cm.
No. De capas:	5	Volumen:	932 cm <sup>3</sup>
Material pasa el tamiz:	# 4	Peso:	3,080 gr
Peso del martillo:	4.5 kg.	<b>3. Descripción/SUCS:</b>	Limo arcilloso negra con pintas verdosa
Altura de caída:	45.7 cm.		MH

<b>4. Datos para la curva:</b>					
Punto No.	1	2	3	4	5
Peso suelo+molde	4,472	4,743	4,881	4,852	4,731
Peso suelo	1,392	1,663	1,801	1,772	1,651
Densidad húmeda	1,493	1,784	1,932	1,901	1,771

<b>5. Contenidos de agua:</b>										
P. Suelo hum+cap	98.25	98.25	91.01	91.01	97.66	97.66	100.90	100.90	97.34	97.34
P. Suelo seco+cap	87.72	87.72	79.08	79.08	82.17	82.17	82.72	82.72	78.65	78.65
P. Cápsula	17.45	17.45	17.14	17.14	17.08	17.08	17.33	17.33	17.34	17.34
w (%)	14.99	14.99	19.26	19.26	23.80	23.80	27.80	27.80	30.48	30.48
w Promedio (%)	14.99		19.26		23.80		27.80		30.48	
Peso Unit. Seco	1,298		1,496		1,560		1,487		1,357	

<b>6. Resultados:</b>	<b>Peso unitario seco =</b>	1,561	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
	<b>Contenido de agua óptimo =</b>	23.3	<b>%</b>



Calculado por :

Verificado por :

<b>GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL</b>		<b>PROYECTO : “ Utilización de espuma de poliuretano para mejorar capacidad portante de los suelos en viviendas de índole popular”</b>						
<b>DATOS DE COMPACTACION DEL SUELO PARA ENSAYOS DE C. B. R.:</b>								
<b>ASTM</b>	<b>D 1557</b>	<b>SOBRE CARGA</b>		<b>4.54 Kgr</b>	<b>HUMEDAD DE LA MUESTRA : 5,18%</b>			
<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>	23.30%	<b>Densidad Máxima Seca</b>	1561	<b>Kgr/m3</b>	<b>Calicata Nº:</b>	1	<b>Muestra No.:</b> 1	
<b>LL=</b> 53	<b>LP=</b> 35	<b>IP=</b> 17			<b>Profundidad:</b>	0,65 - 1,10		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO</b>								
<b>Molde No.</b>	B		D		F			
<b>No. De Capas</b>	5		5		5			
<b>No. De Golpes por Capas</b>	56		25		12			
<b>ESTADO DE LA MUESTRA</b>	<b>ANTES DE SUMERGIR</b>	<b>DESPUES DE SUMERGIR</b>	<b>ANTES DE SUMERGIR</b>	<b>DESPUES DE SUMERGIR</b>	<b>ANTES DE SUMERGIR</b>	<b>DESPUES DE SUMERGIR</b>		
Peso muestra humeda + molde (gr)	12556	12866	12023	12276	11917	12183		
Peso del molde (gr)	8135		7747		7824			
Peso de muestra humeda (gr)	4421	4731	4276	4529	4093	4359		
Volumen muestra (cm3)	2295.92	2394.46	2312.32	2413.48	2349.91	2457.89		
Peso unitario humedo (gr/cm3)	1.926	1.976	1.849	1.877	1.742	1.773		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA</b>	<b>HUMEDAD INICIAL</b>	<b>HUMEDAD FINAL</b>	<b>HUMEDAD INICIAL</b>	<b>HUMEDAD FINAL</b>	<b>HUMEDAD INICIAL</b>	<b>HUMEDAD FINAL</b>		
Recipiente No.	IX	F	D	B	A	H1		
Peso muestra humeda + tarro (gs)	122.58	105.36	145.32	182.15	152.36	119.62		
Peso de la muestra seca + tarro (gs)	102.95	86.16	121.22	146.02	127.21	95.92		
Peso del agua (gs)	19.63	19.20	24.1	36.13	25.15	23.70		
Peso del tarro (gs)	20.22	21.45	19.32	19.56	20.14	18.33		
Peso de la muestra seca (gs)	82.73	64.71	101.90	126.46	107.07	77.59		
Contenido de humedad promedio (%)	23.73%	29.67%	23.65%	28.57%	23.49%	30.55%		
Peso unitario seco (gr/cm3)	1556.31	1523.71	1495.52	1459.55	1410.46	1358.51		
Porcentaje de Compactación:	99.70%	97.61%	95.81%	93.50%	90.36%	87.03%		
<b>DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)</b>								
<b>DIA DEL MES</b>	<b>HORA DEL DIA</b>	<b>INTER. DE TIEMPO EN HORA</b>	<b>MOLDE No. B ESPONJAMIENTO</b>		<b>MOLDE No. D ESPONJAMIENTO</b>		<b>MOLDE No. F ESPONJAMIENTO</b>	
			<b>Lectura del Indicador (pulg)</b>	<b>%</b>	<b>Lectura del Indicador</b>	<b>%</b>	<b>Lectura del Indicador (pulg)</b>	<b>%</b>
9/3/2021	09H00	0	0.0000	0.0%	0.0000	0.0%	0.0000	0.0%
	10H00	1		0.0%		0.0%		0.0%
	11H00	2		0.0%		0.0%		0.0%
	13H00	4		0.0%		0.0%		0.0%
	17H00	8		0.0%		0.0%		0.0%
10/3/2021	09H00	24		0.0%		0.0%		0.0%
	21H00	36		0.0%		0.0%		0.0%
11/3/2021	09H00	48		0.0%		0.0%		0.0%
12/3/2021	09H00	72		0.0%		0.0%		0.0%
13/3/2021	09H00	96	0.1967	4.3%	0.2005	4.4%	0.2106	4.6%
<b>Emite:</b>			<b>Aprueba:</b>					
<b>Laboratorista</b>			<b>Ing. Gonzalo Velasco Cerezo</b>					

**GONZALO VELASCO**  
INGENIERO CIVIL

**PROYECTO :** “Utilización de espuma de poliuretano para mejorar capacidad portante de los suelos en viviendas de índole popular”

**Calicata :** 1  
**Muestra :** 1

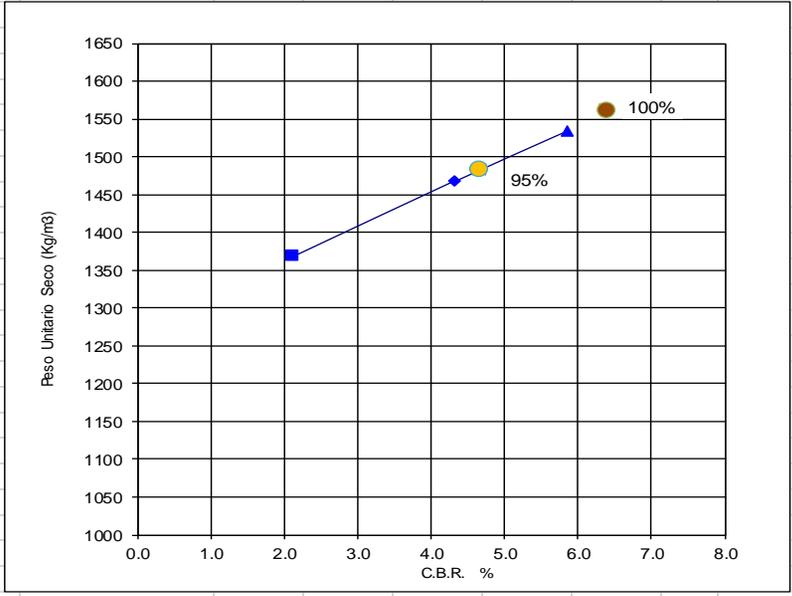
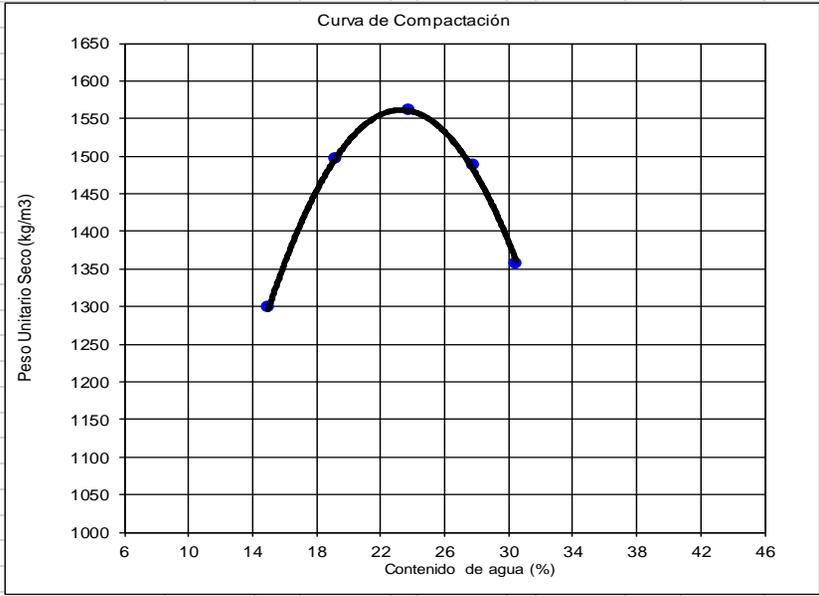
**Fecha :** 14/03/2021  
**Abscisa :**

w Promedio (%)	14.99	19.26	23.80	27.80	30.48
Peso Unit. Seco Kg/m <sup>3</sup>	1,298	1,496	1,560	1,487	1,357

Numero de Golpes	12	25	56	95%	100%
Peso Unit. Seco Kg/m <sup>3</sup>	1,368	1,468	1,535	1,483	1,561
C.B.R. (%)	2.12	4.32	5.85	4.65	6.40

**Resultados: ASTM D 1557**

**Peso unitario seco = 1,561 kg/m<sup>3</sup>**  
**Contenido de agua óptimo = 23.3 %**



**Emite:**

\_\_\_\_\_  
**Laboratorista**

**Aprueba:**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Gonzalo Velasco Cerezo**