



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**

**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS  
Y QUÍMICAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

## **Tema:**

ANÁLISIS DE LA LICUEFACCIÓN DEL SUELO PRODUCIDO POR EL NIVEL FREÁTICO EN EL SECTOR DEL PUENTE VELASCO IBARRA ENTRE LA CALLE CÓRDOVA Y FAUSTO VÉLEZ DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, LUEGO DEL SISMO DEL 16 A DEL 2016

## **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

### **INTEGRANTES:**

ARIAS ORTEGA HERMES ADRIÁN

RIVERA SÁNCHEZ WELLINGTON ADRIÁN

### **PERIODO:**

2017

**1. TEMA:**

**ANÁLISIS DE LA LICUEFACCIÓN DEL SUELO PRODUCIDO POR EL NIVEL FREÁTICO EN EL SECTOR DEL PUENTE VELASCO IBARRA ENTRE LA CALLE CÓRDOVA Y FAUSTO VÉLEZ DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, LUEGO DEL SISMO DEL 16 ABRIL DEL 2016.**

## **Dedicatoria**

Quiero expresar esta dedicatoria a mi madre que está en cielo y me guio desde allá a perseverar por mi meta, a mi padre que con esfuerzo y sacrificio hizo este logro se haya realizado, este logro es vuestro, gracias por su comprensión y esfuerzo, estoy aquí en la culminación de una grata experiencia, la finalización de mi carrera.

A mi familia (hermanos, hermana, sobrinos(as), parte fundamental de mi vida, por el apoyo y por la confianza brindada, por inculcarme que con humildad esfuerzo paciencia y sabiduría todo es posible.

A mis amigos y compañeros y personas conocidas que en mi proceso estudiantil siempre estuvieron ahí dándome su apoyo y aliento en los momentos difíciles de mi carrera.

A la persona con la que por circunstancias de la vida, eh tenido la dicha de compartir momentos gratos mi compañero de tesis mi amigo y casi hermano Adrián Arias por el apoyo brindado desde que empezamos este camino hasta ahora .

“Queda prohibido no sonreír

A los problemas, no luchar

Por lo que quieres, abandonarlo

Todo por miedo, no convertir en

Realidad tus sueños”.

\_Pablo Neruda.

**ADRIÁN RIVERA**

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a nuestro Dios, que supo guiarme por el camino correcto, y por darme fuerzas para seguir adelante y no renunciar a los problemas presentados, mostrándome para enfrentar la adversidad sin perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres, por sus consejos, la comprensión, el amor, el apoyo en los momentos difíciles, y por ayudarnos con los recursos necesarios para estudiar.

Por darme todo para crecer como una persona con valores, con principios, con determinación y así lograr mis metas.

Para mi familia, porque su apoyo incondicional y estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A cada uno de nuestros amigos, por el apoyo y su aliento en los momentos difíciles.

Por último, me gustaría dar las gracias a nuestros docentes, por su tiempo, por sus enseñanzas y sabiduría transmitida a cada uno de nosotros en el desarrollo de nuestra formación.

**ADRIAN ARIAS**

## **Agradecimiento**

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento.

A Dios por permitirnos llegar a estas instancias de nuestras vidas y compartir con cada una de las personas que nos impartieron sus conocimientos en este arduo camino.

A nuestros familiares, amigos y conocidos quienes constantemente nos motivaron para persistir con nuestras responsabilidades como estudiantes de nivel superior.

A la prestigiosa y distinguida UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ y a sus Docentes por contribuir con nuestra formación profesional.

A nuestro tutor de tesis el Ing. Alain Zambrano y a nuestro inspector de tesis Ing. Eduardo Ortiz quienes nos han guiado y compartido sus conocimientos y experiencias en el desarrollo de titulación.

A los Ing. Arturo Sosa, Edison Espinel, Carlos Centeno por todo el apoyo incondicional proporcionado para el desarrollo del presente trabajo.

A todas y cada una de las personas que nos apoyaron en la presente.

## Índice

<b>1. TEMA:</b> .....	2
<b>Dedicatoria</b> .....	3
<b>Agradecimiento</b> .....	5
<b>Índice de tablas</b> .....	9
<b>Resumen</b> .....	11
Summary .....	12
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	14
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	14
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
3.3 Análisis Foda.....	15
3.4 Análisis del Problema .....	16
3.5 Descripción del Problema.....	16
<b>4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	17
4.1 ESPACIAL .....	17
4.2 TEMPORAL.....	18
<b>5. ANTECEDENTES</b> .....	18
<b>6. JUSTIFICACIÓN</b> .....	21
<b>7. OBJETIVOS</b> .....	22
7.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
<b>8. MARCO REFERENCIAL</b> .....	23
8.1 LICUEFACCIÓN.....	23
8.2 CAUSAS DE LOS SISMOS.....	24
8.3 TIPOS DE DAÑOS DEBIDO A SISMOS .....	25
8.5 NIVEL FREÁTICO .....	26
8.5.1 Variaciones en el nivel freático .....	27
8.5.2 Tipos de licuefacción .....	27
8.5.2.1 La licuefacción de los gases.....	27
8.5.2.2 Licuefacción de los suelos .....	28
8.5.3 FACTORES QUE DETERMINAN EL FENÓMENO DE LICUEFACCIÓN.....	28

8.5.3.1	Magnitud del movimiento sísmico .....	28
8.5.3.2	Duración del movimiento sísmico .....	29
8.5.3.3	Granulometría del suelo.....	29
8.5.3.4	Densidad relativa.....	29
8.5.3.5	Profundidad del nivel freático.....	30
8.5.4	EFFECTOS DAÑINOS QUE PRODUCEN LA LICUEFACCIÓN .....	30
8.5.4.1	Falla de flujo .....	30
8.5.4.2	Desplazamiento lateral .....	30
8.5.4.3	Oscilación del terreno .....	30
8.5.4.4	Pérdida de la capacidad portante .....	31
8.5.4.5	Volcanes de arena .....	31
8.5.4.6	Asentamientos .....	31
8.5.5	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL FENÓMENO DE LICUEFACCIÓN .....	32
8.5.6	Suelos susceptibles a la licuefacción.....	33
8.5.7	Suelos resistentes a la licuefacción .....	35
8.5.8	La licuefacción directa del carbón.....	36
8.5.9	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN .....	36
8.5.9.1	Evaluación de la resistencia basada en el ensayo de penetración estándar .....	37
8.5.9.2	Descripción general del ensayo de penetración Estándar .....	37
8.5.10	METODOLOGÍA GENERAL DE LA EVALUACIÓN DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS .....	37
8.5.10.1	Caracterización de las solicitaciones sísmica .....	38
8.5.10.2	Caracterización de la resistencia a la licuefacción .....	38
8.5.11	Evaluación de la iniciación de la licuefacción.....	39
9.	VISUALIZACIÓN DEL ALCANCE DEL ESTUDIO .....	40
9.1	Aporte social.....	40
9.2	Aporte económico.....	40
9.3	Aporte científico.....	40
10.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	41
10.1	HIPÓTESIS.....	41
10.2	<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Licuefacción del suelo.....	41
10.3	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Nivel Freático .....	42
11.	<b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> .....	43
12.	<b>MÉTODO</b> .....	44
13.	<b>TÉCNICAS</b> .....	44
14.	RESULTADOS ESPERADOS .....	53
15.	CRONOGRAMA.....	54

16.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
16.1	Conclusiones.....	93
16.2	Recomendaciones .....	94
17.	GLOSARIO .....	95
18.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
19.	Anexos.....	101



## **Índice de tablas**

<b>VARIABLE DEPENDIENTE: Licuefacción del suelo.....</b>	<b>41</b>
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE: Nivel Freático.....</b>	<b>42</b>

## **Índice de Ilustraciones**

Ilustración 1 Amenaza sísmica y de tsunami en el Ecuador .....	19
Ilustración 2 Historial Sísmico del Ecuador.....	20
Ilustración 3 Esquemas de algunos fenómenos asociados a la licuación Fuente: Youd, 1992 ...	32
Ilustración 4 Figura esquemática del proceso de licuefacción Fuente: Nicolás Lara, 2013.....	33

## **Resumen**

La presente investigación se desarrolló con el fin de analizar si la licuefacción de suelos es el principal factor que influyó en el colapso de las estructuras específicamente en las calles Córdova y Fausto Vélez del Cantón Portoviejo, provincia de Manabí, teniendo en cuenta los suelos granulares saturados presentes en las zonas de estudio cuando son sometidos a solicitaciones sísmicas. En numerosas partes del mundo se suscitan sismos de grandes intensidades originando que las estructuras fallen por un problema común en el suelo que es la licuefacción.<sup>1</sup> Es necesario realizar estudios especializados que permitan conocer el comportamiento más probable de este fenómeno para poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo. En esta investigación se planteó un análisis y su respectivo cálculo sobre la licuefacción de los suelos que permita evaluar, identificar y delimitar, si este fenómeno es el que provoco daños estructurales específicamente en el lugar ya antes mencionado y de la misma manera saber si los suelos son potencialmente licuables en las áreas de estudio. Finalmente con los ensayos realizados a partir del SPT y obtenida la información necesaria, llegamos a la conclusión que la zona evaluada es vulnerable y esta propensa a sufrir licuefacción de suelos.

---

<sup>1</sup> Fuentealba, J. G., & Alvarado, R. V. SITIOS AFECTADOS POR LICUEFACCIÓN A CAUSA DEL TERREMOTO 27-F.

## **Summary**

The present investigation was developed in order to analyze if the liquefaction of soils is the main factor that influenced the collapse of the structures specifically in the streets Cordova and Fausto Vélez of the Canton Portoviejo, province of Manabí, since in great part of the Coastal areas of this province is characterized by having a clay or silty gravel soil taking into account the saturated granular soils present in the study areas when subjected to seismic stress. In many parts of the world earthquakes of great intensities arise causing the structures to fail due to a common problem in the soil that is liquefaction. It is necessary to carry out specialized studies that allow to know the most probable behavior of this phenomenon to be able to plan and to mitigate the great effects that brings with it. In this investigation an analysis and its respective calculation on the liquefaction of the soils that allow to evaluate, identify and delimit were proposed, if this phenomenon is the one that caused structural damages specifically in the already mentioned place and in the same way to know if the soils are potentially liquefiable in the study areas. Finally, with the tests performed from the SPT and obtained the necessary information, we conclude that the evaluated area is vulnerable and is prone to soil liquefaction.

## **2. INTRODUCCIÓN**

El país está pasando por una situación muy difícil debido al terremoto surgido en tierras ecuatorianas el 16 de abril del 2016, y como consecuencia dejó muchas obras civiles en estado de demolición y reconstrucción; es por eso, que surge la necesidad de analizar cuál ha sido una de las causas de mayor efecto producido por este desastre natural, este proyecto de investigación que aportará con el análisis de la licuefacción del suelo producida por el nivel freático en el sector del puente Velasco Ibarra ubicado entre la calle Córdova y Fausto Vélez en la ciudad de Portoviejo, luego del sismo del 16 A del 2016; ya que el estudio del suelo es uno de los principales puntos antes de empezar una obra civil que consiste en determinar por procedimientos directos o de laboratorio las características físicas y mecánicas del suelo donde se desplantará una estructura, se obtienen la zonificación, resistencia al esfuerzo cortante, límites. Debido a eso es muy importante en una construcción y requiere de mucha atención en su desarrollo ya que depende el tipo del terreno si es estable o no.

Con este trabajo de investigación se pretende proporcionar a las autoridades nacionales y municipales información básica sobre la importancia de conocer la temática de la licuación de suelos, a partir de los factores que originan su peligrosidad y los efectos que genera sobre las personas, la infraestructura y el ambiente. Así mismo, la necesidad de establecer medidas de prevención y mitigación que permitan reducir el riesgo en el ámbito territorial.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En la provincia de Manabí como en el resto del país se ha venido evidenciando un sin número de obras civiles destruidas por terremotos anteriores y con el de ahora, es por esto que las normas de construcción cada vez cambian para mejorar la seguridad de las edificaciones, la NEC <sup>2</sup> por lo general se reestructura cada vez que existe un percance de esto, como se ha podido notar, los movimientos telúricos son de mayor intensidad; es por esto que se exige respetar la Norma Ecuatoriana de la Construcción; muchas veces se han evadido y se ha construido casas y edificaciones; como por ejemplo: sin estudios de suelo, mala compactación, medidas de elementos principales como viga, losa, columna y cimientos, menores a lo permitido, como también muchas veces se siguen recomendaciones tanto de maestros o arquitectos, que buscan darle forma, fondo y factibilidad es por ello que se ha observado en los desastres que ocurridos durante muchos años, la importancia del estudio de suelos depende del tipo de proyecto que se realizara y de la magnitud del mismo; con los resultados que arroje el estudio de suelos se pueden tomar decisiones del tipo de cimentación a utilizar y hasta que profundidad debe de cimentar; dependiendo del tipo de suelo es la capacidad de soporte del suelo (resistencia de la tierra) y eso se puede determinar únicamente con el estudio de que se llevará acabo.

Depende del tratado, se podrá determinar cuánto vas a gastar o cuanto vas a ahorrar en cimentación; ya que muchos proyectos realizados no se efectúan disertación de suelos, resulta que cuando están ya construidos se dan cuenta que tienen hundimientos y eso acarrea más costos, ya que se debe degastar mucho en reparar o tratar de estabilizar el terreno y todo por no hacer el estudio de suelo. Como primordial en una edificación se debe de hacer el estudio pertinente del terreno para saber cuál es la cimentación adecuada para ejecutarla en el lugar requerido, también se debe compactar bien el terreno para que en un futuro no traiga consecuencias, ya que al no estar bien

---

<sup>2</sup> NEC: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

compactado tiende a ver asentamientos provocando ciertas veces el volcamiento de la edificación.<sup>3</sup>

### 3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Analizar la licuefacción del suelo producido por el nivel freático mediante ensayos, en el sector del puente Velasco Ibarra en la ciudad de Portoviejo, luego del sismo del 16 de agosto del 2016.

#### 3.3 Análisis Foda

<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<p>El presente proyecto de investigación cuenta con ensayos de SPT como método de estimación del fenómeno de la licuefacción.</p> <p>También cuenta como método de diseño un plan que permita mitigar el efecto de la licuefacción, tanto de estructuras sin edificar así como en las ya edificadas, proponiendo técnicas de mejoramiento del terreno, suministrando un aumento de la resistencia, una reducción de la deformabilidad, lo que junto a una disminución de la permeabilidad mitigará el potencial colapso</p>	<p>Los efectos devastadores de la licuefacción atrajeron la atención de ingenieros geotécnicos desde los sismos de Alaska y Niigata, en 1964, con magnitudes de 7.5</p> <p>Es necesario consultar los diferentes métodos existentes para el estudio del potencial de licuefacción, analizando en que forma tienen en cuenta las variables implicadas en el problema, con el objetivo de elaborar un nuevo método de predicción basado en ensayos in situ.</p>
<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<p>La licuefacción de suelos es un fenómeno muy complejo donde intervienen muchos factores y variables, lo que hace que las condiciones bajo las cuales se encuentren los suelos afecten de forma significativa su resistencia.</p>	<p>El mal comportamiento de los suelos flojos ante los sismos y en especial el fenómeno de licuación en los de tipo incoherente, ha ocasionado la pérdida de vidas humanas y económicas en distintos lugares.</p>

<sup>3</sup> Das, B. M., Rojo Hernández, C., Terrón, T. U., Buol, S. W., Agustin, T. R., FD, M.,... & Vargas, M. D. (2006). Principios de ingeniería de cimentaciones (No. 624.15). Cengage Learning,

### **3.4 Análisis del Problema**

La licuefacción es un fenómeno cuya conducta ha sido indagada y estudiada en diversas partes del mundo los últimos 45 años. En el Ecuador, la atención a este fenómeno nace del hecho de que estamos en una zona de alta actividad sísmica, esta información se encuentra disponible en los diferentes catálogos del RENSIG<sup>4</sup>, el sitio oficial de CERESIS<sup>5</sup>, en los cuales constan datos de magnitudes estimadas a partir de la intensidad macro sísmica, el catálogo NEIC<sup>6</sup>.

Sin embargo, la información de la que se dispone en el Ecuador sobre este fenómeno continúa siendo escasa, existe también una falta de estudios dirigidos a entender este fenómeno y su ocurrencia en diferentes localidades del Ecuador. Por tanto, es tarea primordial de la ingeniería el continuar el desarrollo de análisis, investigaciones y mapeos que evalúen el potencial de licuefacción de los suelos en diferentes puntos geográficos del Ecuador.

La forma en la que los distintos tipos de suelos reacciona frente a los efectos de un sismo ha sido investigada desde hace muchas décadas, debido al comportamiento observado se ha determinado que los daños resultantes pueden ser influenciados por diversos factores, como las características propias del terreno en una determinada área, las condiciones climáticas de la zona, entre otras muchas variables.

### **3.5 Descripción del Problema**

Este trabajo de investigación fue realizado de acuerdo con el diseño de investigación descriptivo, porque se proporcionaron resultados precisos en relación con los datos reales que se recogieron y un resumen de la información expuesta, con la realización previa de un análisis cuidadoso.

---

<sup>4</sup> RENSIG: Red Nacional de Sismología del Instituto Geofísico de Quito <http://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-sismografos>

<sup>5</sup> CERESIS (Centro Regional de Sismología para América del Sur) <http://www.ceresis.org/>

<sup>6</sup> NEIC (Centro de Información de Terremotos Nacional) <http://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php>



De acuerdo con el fin que se persigue, se aplicó el conocimiento de las prácticas metodológicas, el cual se utilizó para determinar la evaluación del potencial de licuefacción del suelo.<sup>7</sup>

Debido a esto, las condiciones bajo las cuales los suelos granulares pierden una parte significativa de su resistencia bajo un terremoto no se han entendido completamente y, en consecuencia, representan un magnífico campo de investigación.

#### 4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

##### 4.1 ESPACIAL

El análisis de suelo, de este presente trabajo de investigación se desarrollara en el puente Velasco Ibarra y sus estudios en el Laboratorio de la Universidad Técnica de Manabí.



---

<sup>7</sup> Nocquet, J. M., Mothes, P., & Alvarado, A. (2009). Geodesia, geodinamica y ciclo sismico en Ecuador. Geologia y Geofisica Marina y Terrestre del Ecuador. Edited by JY Collot et al, 83-95.

## 4.2 TEMPORAL

El tiempo del análisis para el presente desarrollo de investigación comprende desde del 16 de abril del 2016 hasta enero del 2017.

## 5. ANTECEDENTES

Portoviejo es la capital de la provincia de Manabí; se localiza en el centro de la costa ecuatoriana y tiene una superficie de 967 km<sup>2</sup> (96.756 has). Se encuentra inmerso en la parte media y baja de la cuenca hidrográfica del río Portoviejo, cuya área es de 2060 km<sup>2</sup>.

La ciudad de Portoviejo, está conformada por nueve parroquias urbanas: Portoviejo Matriz, 12 de Marzo, Andrés de vera, Colón, Francisco Pacheco, Picoazá, San pablo, 18 de octubre y Simón Bolívar.

El área rural está conformada por 7 parroquias: Alajuela, Abdón Calderón, Chirijo, Río Chico, San Placido, Crucita y Pueblo Nuevo.

La zona urbana del cantón tiene límites definidos mediante el acuerdo Ministerial de 1996, que aprueba la ordenanza de establecimiento de los límites y la conformación de las parroquias urbanas<sup>8</sup>.

Portoviejo está a una altura media de 44 msnm, se encuentra rodeado de colinas, de alturas menores a los 300 msnm. Presenta relieves que van desde planos a casi planos de valles fluviales, llanuras aluviales costeras y pie de monte occidental, terrazas, llanuras y cuencas deprimidas costeras. Dentro del cantón se registran cotas que van desde los 10 msnm hasta los 700 msnm aproximadamente<sup>9</sup>.

El Ecuador se encuentra en una zona de alto riesgo de sismicidad<sup>10</sup> por lo que a través de su historia se han suscitado diversos sismos; esta información se encuentra disponible en los diferentes catálogos del RENSIG (Red Nacional de Sismología del Instituto Geofísico de Quito), el sitio oficial de CERESIS (Centro Regional de

---

<sup>8</sup> SIISE. Sistema de Indicadores Sociales del Ecuador. 2001.

<sup>9</sup> GALLARDO, H. 1996. Plan de Manejo del área de bosque y vegetación protectores de las colinas circundantes a la ciudad de Portoviejo.

<sup>10</sup> Hoy. (2000). La Sismicidad Siempre Acecha Al Ecuador. Obtenido de:

<http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/la-sismicidad-siempre-acecha-al-ecuador-50804.html>

Sismología para América del Sur), en los cuales constan datos de magnitudes estimadas a partir de la intensidad macro sísmica (Me), el catálogo NEIC (Centro de Información de Terremotos Nacional), en el que se registran sismos que han afectado a Ecuador desde 1973, disponible en escala de Magnitud momento, Mw.<sup>11</sup>

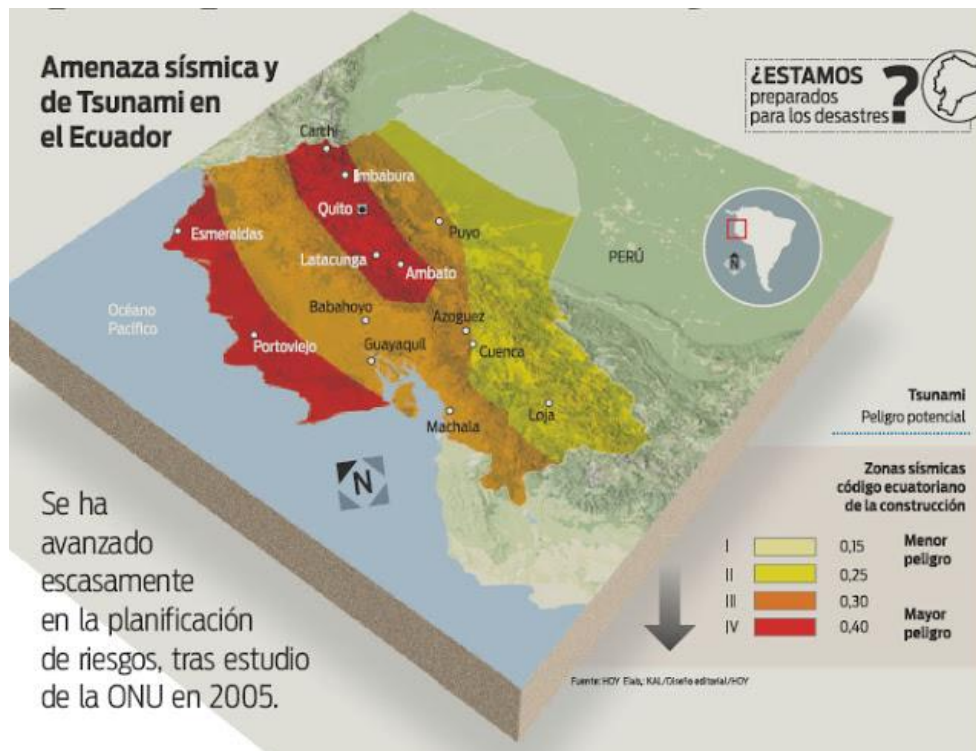


Ilustración 1 Amenaza sísmica y de tsunami en el Ecuador

De todos los sismos que han ocurrido en el Ecuador y registrados en estos catálogos, se destacan los de mayor intensidad los cuales tenemos:

### Tectónica

En Ecuador son frecuentes los terremotos y su causa es casi siempre atribuible a los procesos tectónicos de las amplias zonas de subducción a lo largo de las costas del océano Pacífico. Este terremoto, con epicentro en la costa del norte del Ecuador, se inscribe en este mismo contexto de tectónica de placas.<sup>12</sup> Su origen es el cabalgamiento en el límite o cerca del límite entre la placa continental sudamericana y la del Pacífico

11 Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

12 Chunga Kervin, D. I. (2010). *Análisis estructural de fallas geológicas y potenciales deslizamientos*

(placa de Nazca). <sup>13</sup>En el lugar donde se produjo el terremoto, la placa del Pacífico subduce en dirección al oriente a una velocidad de 61 milímetros por año. Este mecanismo de producción de los terremotos es común a toda la zona del borde costero de Chile, Perú y Ecuador (Cinturón de Fuego del Pacífico) y es el origen del mayor terremoto que conoce la historia humana (que alcanzó una magnitud de 9.5 en la escala de escala sismológica de Richter y se produjo en el sur de Chile en 1960).

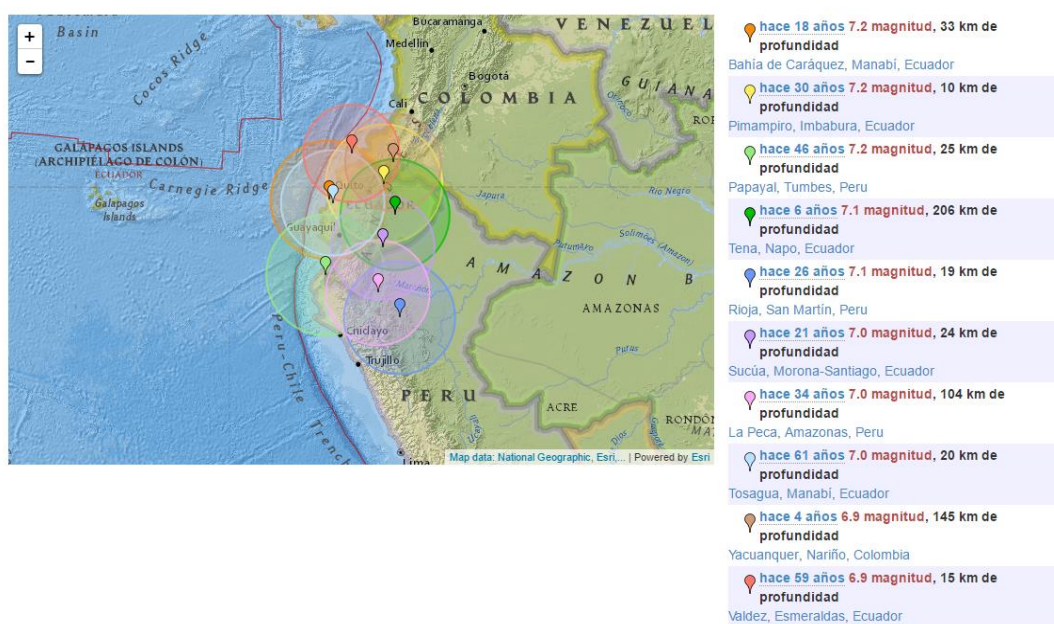


Ilustración 2 Historial Sismico del Ecuador

Desde comienzos del siglo XX, en Ecuador se han registrado siete terremotos de gran magnitud en esta misma zona, con epicentros ubicados a muy pocos kilómetros de este terremoto, como el de 1906 y el de 1942. El mayor de ellos es el terremoto de 1906 e involucró una zona total de ruptura que se estima en unos 400-500 km y fue acompañado de un tsunami, provocando muchos centenares de muertes. El evento de 2016 se ubica en el límite sur de la zona de ruptura del terremoto de 1906<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Núñez del Arco Eugenio. I. (2003). *Geología del Ecuador*.

<sup>14</sup> Esmeraldas News. (2011). Historia de los terremotos en Ecuador. Obtenido de: <http://esmeraldasnoticias.blogspot.com/2011/03/historia-de-los-terremotos-en-ecuador.html>

## **6. JUSTIFICACIÓN**

Debido al sismo surgido este 16 de abril del 2016 se evidencia la necesidad de hacer rehabilitaciones y demoliciones, y sus respectivos estudios de suelo ya que en muchas casos es el principal factor por el cual las estructuras han colapsado, debido que la licuefacción describe el comportamiento del suelo que están sujetos a una acción de fuerza extrema (carga) y que en muchos casos pasa de un estado sólido a un estado líquido, el puente Velasco Ibarra se ha visto en la necesidad de realizar un análisis de la licuefacción del suelo producida por el nivel freático, este efecto es capaz de hundir o volcar una infraestructura sean casas, edificios, puentes u otros. Es por esto que se ve la necesidad de realizar un estudio de licuefacción de suelo producida por el nivel freático en el lugar ya antes mencionado.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la licuefacción del suelo producido por el nivel freático en el sector del puente Velasco Ibarra en la ciudad de Portoviejo.

### **7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 7.2.1 Realizar diferentes tipos de ensayo de suelo como: SPT, entre otros.
- 7.2.2 Evaluar los distintos tipos de ensayos realizados en el laboratorio.
- 7.2.3 Determinar si la licuefacción del suelo producida por el nivel freático es el principal factor de daños estructurales por la acción de los sismos.

## 8. MARCO REFERENCIAL

### 8.1 LICUEFACCIÓN

La licuefacción se refiere a esta expresión a la facilidad o propensión de la tierra para generar licuefacción del suelo<sup>15</sup>. O bien, se define este término como la posibilidad de que un área sea afectada por un proceso dado, expresada en varios grados cualitativos y relativos<sup>16</sup>. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia del proceso, que puede ser intrínseco a los materiales geológicos o externos mismos, define a los suelos licuables, como aquellos suelos que se conforman de un contenido areno limoso, en estado de saturación, el cual al ser expuesto a esfuerzos cortantes anómalos y rápidos, permite un incremento de las presiones intersticiales debido a una falta de drenaje, provocando que la resistencia al corte desaparezca y el material empiece a comportarse como un líquido, provocando movimientos verticales y horizontales dentro de su masa, que se transforman en deslizamientos o en grandes asentamientos. Se considera que este fenómeno presente en los suelos areno-limosos sueltos con poco nivel de permeabilidad ha provocado, durante eventos sísmicos considerables, grandes catástrofes. Por ejemplo, en Niigata (Japón), en el terremoto de 1964, y Anchorage (Alaska) en ese mismo año.

De forma general, la licuefacción del suelo ocurre cuando determinados tipos de suelos afectados por terremotos desarrollan elevadas presiones intersticiales de forma rápida (sin drenaje), dando lugar a una pérdida de la resistencia al corte y a la rotura del suelo, que se comporta como si fuera un líquido.

El fenómeno de la licuación, como también es conocido, es el responsable del fallo presente en cimentaciones, la rotura de taludes y deslizamientos de masa de suelos. Los terrenos susceptibles a reducir una porción considerable de su resistencia al enfrentarse a sollicitaciones dinámicas son las arenas finas y flojas y las arenas y limos mal graduados<sup>17</sup>, Dentro de las condiciones necesarias para que ocurra este modo de

---

<sup>15</sup> (2005) *"Metodologías para el Análisis Local de Amenazas Naturales y Riesgos en Nicaragua"* Managua, Nicaragua

<sup>16</sup> Gonzales Vallejo (2014) *Libro de ingeniería geológica* Madrid: Universidad Complutense

<sup>17</sup> Vallejo Luis. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.

comportamiento del terreno se encuentran los niveles freáticos elevados, cercanos a la superficie, con grado de compactación bajo, equivalente a valores N de SPT inferior a 20 golpes. En base a lo estudiado en las zonas afectadas por licuación, ésta tiene lugar en las siguientes circunstancias:

- Terremotos con magnitud igual o superior a 5.5 con aceleraciones superiores o iguales a 0.2g.
- Por debajo de 15 metros de profundidad no se han dado licuefacciones.
- En la mayoría de los casos donde se han observado licuefacciones el nivel freático estaba a poca profundidad, inferior a 3 metros; por debajo de 5 metros La susceptibilidad de licuefacción es muy baja.

Algunos expertos, consideran que una de las propiedades más importante que caracterizan los suelos licuefactibles es el bajo grado de compactación, es decir  $N < 10$  para profundidades  $< 10$  m y  $N < 20$  para profundidades  $> 10$  metros. Por su parte, Maximiliano Astroza en su estudio relativo a los Efectos de los Terremotos Chilenos en la Obras Civiles editado por la Universidad de Chile, considera que la licuación ocurre en suelos arenosos saturados que pueden transformarse en fluidos por efecto de un movimiento sísmico. Dada las condiciones que deben presentar los suelos, la licuación se observa en los sectores ubicados junto a las riberas de los ríos o en el borde costero. Según la fuente, los daños originados por este proceso son espectaculares y se deben a grandes deformaciones de las fundaciones. Uno de los síntomas de la presencia de este fenómeno es la formación de cráteres con eyección de barro.

## **8.2 CAUSAS DE LOS SISMOS**

Según los estudios, se puede decir que las causas de los terremotos son: Actividad Volcánica y Diastrofismo. Si miramos un mapa del mundo, podemos ver que las áreas volcánicas y las zonas sísmicas coinciden, esto dio, por origen, al pensamiento que la causa principal de terremotos eran erupciones volcánicas. Es cierto que los volcanes al entrar en actividad pueden producir fuertes terremotos, pero éstos son de tipo local y menos intenso que los terremotos de origen distrófico. Las numerosas investigaciones realizadas en el mundo indican que los terremotos más fuertes que sacuden la litosfera se deben al diastrofismo. Cuando se origina un fallo, o cuando los bloques se deslizan a



lo largo del plano de falla, producen sacudidas de la corteza terrestre. Los terremotos de este tipo se llaman TECTÓNICOS<sup>18</sup>

### **8.3 TIPOS DE DAÑOS DEBIDO A SISMOS**

Los sismos pueden ocasionar cambios en el relieve, grietas externas, deslizamientos, avalanchas, variaciones en los cursos de los ríos, etc. Generalmente los efectos más desastrosos del sismo se producen en las zonas densamente pobladas. Los tipos de daños debido a sismos pueden dividirse en 3:

- a) Daños en las estructuras causadas por la Fuerza Sísmica.
- b) Daños en las estructuras causados por las deformaciones del suelo.
- c) Daños en las estructuras causados por otros fenómenos naturales.<sup>19</sup>

### **8.4 IMPORTANCIA DE UN ESTUDIO DE SUELO**

La falta de un estudio de suelos podría hacer colapsar a un edificio o vivienda. En toda obra de arquitectura o ingeniería moderna, ya sea viviendas o edificios, es necesario e imprescindible la realización de un estudio de suelos. El Estudio de Mecánica de Suelos, es un documento suscrito por un especialista reconocido y acreditado en mecánica de suelos, a través del cual determina la resistencia del terreno sobre el que se desplantan las edificaciones, mismo que sirve de base para determinar el tipo de cimentación a usar. El Estudio de Suelos o Estudio Geotécnico es parte de la Mecánica de Suelos.

El estudio de suelos permite conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y su composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad, y por cierta ubicación de napas de agua (freáticas), si las hubiere.<sup>20</sup>

---

<sup>18</sup> Braja M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Séptima Edición*.

<sup>19</sup> Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones en Lima, Perú.

<sup>20</sup> Brandes, Hernán. 2003. *Manual de Ingeniería en caso de terremotos, Geotécnica y aspectos*.

## 8.5 NIVEL FREÁTICO

El nivel freático, el límite superior de la zona de saturación, es un elemento muy significativo del sistema de aguas subterráneas. El nivel freático es importante para predecir la productividad de los pozos y explicar los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, justificando las fluctuaciones del nivel de los lagos.

En las cimentaciones profundas, uno de los problemas con que nos encontramos durante el proceso de excavación, es la existencia del Nivel Freático.

La presencia de agua, en relación a los esfuerzos, produce una disminución de las propiedades y las características resistentes en suelos saturados y también provoca una presión adicional sobre el frente de la excavación.

Además, frente a los movimientos producidos por oscilaciones en los niveles freáticos y por posibles arrastres.<sup>21</sup>

Con la consecución de este trabajo se pretende proporcionar a las autoridades nacionales y municipales información básica sobre la importancia de conocer la temática de la licuación de suelos, a partir de los factores que originan su peligrosidad y los efectos que genera sobre las personas, la infraestructura y el ambiente. Asimismo, la necesidad de establecer medidas de prevención y mitigación que permitan reducir el riesgo en el ámbito territorial.

Este trabajo contribuye con la generación de conocimientos actualizados y novedosos sobre el tópico aquí tratado; se aportan datos útiles y provechosos para las ciencias como la Ingeniería sísmica, geología e ingeniería civil y sectores de la sociedad moderna en el ámbito económico, ambiental, empresarial y geográfico. A su vez, se contribuye con la gestión de riesgos a desastres naturales, y se ofrece información relevante al sector turismo y ordenanza territorial por las nuevos hoteles y restaurantes previstos.<sup>8</sup>

El nivel freático corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

---

<sup>21</sup> PG-03/01 Art. 320 Excavación y Explanación. OC 326/2000. *Geotecnia vial referente a materiales de construcción de explanaciones y drenajes.*

También se conoce como capa freática, manto freático, napa freática, napa subterránea (del francés *nappe*=mantel), tabla de agua (traducción del inglés, "water table") o simplemente freático.

Al perforar un pozo de captación de agua subterránea en un acuífero libre, el nivel freático es la distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno. En el caso de un acuífero confinado, el nivel del agua que se observa en el pozo corresponde al nivel piezométrico.

### **8.5.1 Variaciones en el nivel freático**

La profundidad del nivel freático es muy variable y puede oscilar entre cero, cuando se sitúa en la superficie, y centenares de metros en algunos lugares. Una característica importante del nivel freático es que su configuración varía según las estaciones y de un año a otro, porque la adición de agua al sistema de aguas subterráneas está estrechamente relacionada con la cantidad, la distribución y la frecuencia de las precipitaciones. Excepto cuando el nivel freático se sitúa en la superficie, no podemos observarlo directamente. Sin embargo, su elevación puede cartografiarse y estudiarse en detalle allí donde los pozos son numerosos porque el nivel del agua en los pozos coincide con el nivel freático. Estos mapas revelan que el nivel freático raramente es horizontal, como cabría esperar. En cambio, su forma suele ser una réplica suavizada de la topografía superficial, alcanzando sus mayores elevaciones debajo de las colinas y luego descendiendo hacia los valles. En las zonas pantanosas, el nivel freático coincide precisamente con la superficie. Lagos y corrientes de agua ocupan generalmente áreas lo bastante bajas como para que el nivel freático esté por encima de la superficie del terreno.<sup>22</sup>

### **8.5.2 Tipos de licuefacción**

#### **8.5.2.1 La licuefacción de los gases**

Ocurre cuando una sustancia pasa del estado gaseoso al líquido. Por acción de la temperatura y el aumento de presión, llegando a una sobrepresión elevada, hecho que diferencia a la licuefacción de la condensación.

---

<sup>22</sup> Alva Jorge, D. I. (2006). *Dinámica de suelo*.

La producción de gases licuefechos en cantidades grandes (y por lo tanto su uso en la refrigeración) fue hecha posible por el trabajo de Z. F. Wroblewski y K. S. Olszewski, dos científicos polacos.<sup>23</sup>

El proceso de licuefacción de gases incluye una serie de fases utilizada para convertir un gas en estado líquido y se utiliza para fines científicos, industriales y comerciales. Muchos de los gases se pueden poner en estado líquido a presión atmosférica normal por simple refrigeración y otros como el dióxido de carbono, requieren presurización.

#### **8.5.2.2 Licuefacción de los suelos**

Licuefacción del suelo o de la tierra, es el proceso de pérdida de resistencia de ciertos tipos de suelos, que están saturados en agua y cuando son sometidos a la sacudida de un terremoto fluyen como un líquido a causa de un aumento de la presión. El sedimento cae y el agua que satura el suelo tiende a salir como una fuente que brota a borbotones.

Puede considerarse una consecuencia de los terremotos en lugares con terrenos poco consolidados o suelos arcillosos. Cuando se produce la licuefacción, los edificios y casas se encuentran flotando en un lodo inestable saturado en agua, y por lo tanto pierden la estabilidad.<sup>24</sup>

La pérdida de resistencia del suelo hace que las estructuras sean incapaces de mantenerse estables, siendo arrastradas sobre la masa de suelo líquido. Es más probable que la licuefacción ocurra en suelos granulados sueltos saturados o moderadamente saturados con un drenaje pobre, tales como arenas sedimentadas o arenas y gravas que contienen vetas de sedimentos impermeables.

### **8.5.3 FACTORES QUE DETERMINAN EL FENÓMENO DE LICUEFACCIÓN**

Entre las causas que originan el fenómeno de licuefacción se encuentran:

#### **8.5.3.1 Magnitud del movimiento sísmico**

La magnitud del movimiento está relacionada con la magnitud de los esfuerzos y de formaciones inducidos en el terreno por este movimiento. Dependiendo de la distancia

---

<sup>23</sup> Drury John (1974) *Ignition!: An Informal History of Liquid Rocket Propellants*

<sup>24</sup> Alva Hurtado Jorge. 2012. *Licuación de suelos en Perú desarrollado por CISMID*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

hipo central, la magnitud del movimiento producirá cierto valor de aceleración máxima en la roca basal, la cual sufrirá amplificación, dependiendo de las condiciones locales del suelo, hasta llegar a la superficie. De esta manera, la propagación de las ondas de corte durante un terremoto, a través del esqueleto del suelo, producirá una complicada distribución de esfuerzos de corte en función del tiempo, causando así deformaciones en la masa de suelo cuya magnitud dependerá de la magnitud del terremoto.<sup>25</sup>

#### **8.5.3.2 Duración del movimiento sísmico**

Normalmente, la duración de un movimiento sísmico es corto (entre 5 a 40 segundos), pero si este es intenso, predominará la condición no drenada. Es decir, la disipación de la presión de poros se verá restringida, y por el contrario se evidenciará el aumento de la misma, produciendo en algún momento condiciones de esfuerzo efectivo nulo, y por lo tanto, licuación.

#### **8.5.3.3 Granulometría del suelo**

Los suelos más susceptibles a sufrir licuación son aquellos que poseen una granulometría uniforme, siendo las arenas finas uniformes las que son más propensas a licuar que las arenas gruesas uniformes. Además, según algunos autores las arenas limosas poseen mayor resistencia a sufrir licuación con respecto a las arenas limpias o con escaso contenido de finos.

#### **8.5.3.4 Densidad relativa**

Durante la ocurrencia de un terremoto, una arena suelta puede sufrir licuación mientras que este mismo suelo en un estado más compacto puede no evidenciar el fenómeno. Una arena con un valor de resistencia a la penetración estándar de 40 golpes/30cm (densidad relativa de 70 a 80%) puede mostrar evidencias de licuación en la forma de volcanes de arena, pero no es probable que experimente más del 10% de deformación por corte bajo la influencia de la vibración sísmica, aún después de que se hayan desarrollado altas presiones de poros.

---

<sup>25</sup> Arduino Pedro. 2003. *Ingeniería Sísmica Geotécnica*. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de Washington. Washington

### **8.5.3.5 Profundidad del nivel freático**

Es una condición necesaria para que ocurra licuación. La presión de poros producida por el agua que ocupa los vacíos existentes entre las partículas del material, debido a la posición del nivel freático, se incrementa por efecto de la vibración producida en el movimiento sísmico. Por consiguiente, la ubicación del nivel freático, cuando se produzca un terremoto en un depósito arenoso, será de mucha importancia porque regirá la condición de saturación y por lo tanto, influirá también en el esfuerzo efectivo.

## **8.5.4 EFECTOS DAÑINOS QUE PRODUCEN LA LICUEFACCIÓN**

### **8.5.4.1 Falla de flujo**

Son las fallas del terreno más catastróficas causadas por el fenómeno de licuación. Los flujos pueden movilizarse a grandes distancias (decenas de metros), a altas velocidades (decenas de Km/h). También pueden involucrar suelo completamente licuado o bloques de suelo firme viajando sobre una capa de suelo licuado. Este tipo de falla se desarrolla generalmente en arenas saturadas, sueltas, con pendiente del terreno, mayor que 5%. Otro de los efectos de falla por flujo por licuación inducida por sismo, han sido los evidenciados en depósitos y presa de relaves antiguos, construidos por el método de aguas arriba, algunas de ellas con consecuencias catastróficas para los recursos humanos y económicos y para el medio ambiente.

### **8.5.4.2 Desplazamiento lateral**

Es el tipo más común de falla del terreno por licuación de suelos. Este tipo de falla involucra el movimiento lateral de las capas superficiales como resultado de la licuación y la pérdida transitoria de la resistencia de las capas inferiores.

El desplazamiento lateral ocurre generalmente en terrenos relativamente llanos (con pendientes comprendidas entre el 0.5 y 5%). En condiciones normales, el desplazamiento lateral tiene un rango de pocos metros, y en condiciones anormales pueden ocurrir desplazamientos laterales de varias decenas de metros acompañados de grietas en el terreno y desplazamientos diferenciales verticales.

### **8.5.4.3 Oscilación del terreno**

Donde el terreno es plano o la pendiente demasiado suave para permitir desplazamientos laterales, la licuación de estratos subyacentes puede causar

oscilaciones que no dependen de las capas superficiales, la cual se manifiesta hacia los lados, arriba y abajo en la forma de ondas de terreno. En general, dichas oscilaciones son acompañadas por la apertura y cerramiento de fisuras en el suelo, y la fractura de estructuras rígidas como los pavimentos y tuberías, Youd (1992)<sup>26</sup>.

#### **8.5.4.4 Pérdida de la capacidad portante**

Cuando el suelo que soporta una edificación licua y pierde su resistencia, pueden ocurrir grandes deformaciones en el suelo, que ocasionan que la edificación se asiente, se incline o se hunda. Aunque esta es una falla espectacular, es la menos común producida por licuación.

#### **8.5.4.5 Volcanes de arena**

Al presentarse la licuación de arenas, se generan presiones de poro muy altas, las cuales obligan a que el agua fluya rápidamente a la superficie, formando pequeños volcanes de arena. Este flujo ascendente de agua puede ocurrir durante o después de un sismo. Los volcanes de arena indican también zonas de posibles asentamientos.

#### **8.5.4.6 Asentamientos**

En muchos casos el peso de la estructura puede ser insuficiente para causar los grandes asentamientos asociados con las pérdidas de capacidad portante descritas anteriormente. Sin embargo, pueden ocurrir pequeños asentamientos cuando la presión de poro se disipa después de un sismo.

Estos asentamientos pueden causar daños aunque menores a los producidos por fallas de flujo, desplazamientos laterales o pérdidas de capacidad portante.

---

<sup>26</sup> Youd (1992). *MODES OF GROUND FAILURE*.

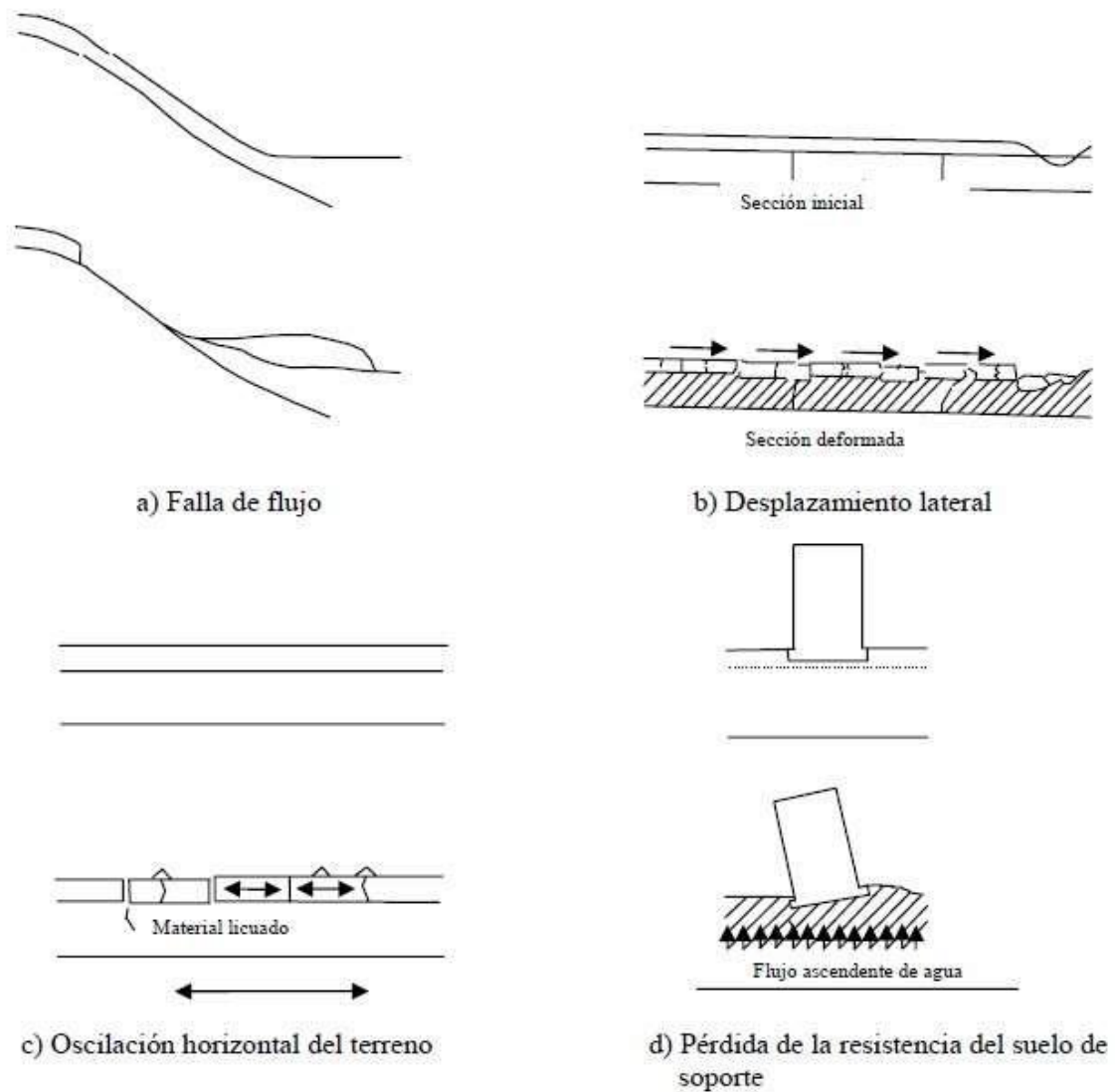


Ilustración 3 Esquemas de algunos fenómenos asociados a la licuación Fuente: Youd, 1992

### 8.5.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL FENÓMENO DE LICUEFACCIÓN

Este fenómeno es algo complejo y aún no está muy comprendido cómo ocurre, por lo que se tienen diferentes interpretaciones. Sin embargo, una manera simple de describir el proceso es como se detalla a continuación:

- Un depósito de suelo consiste en un grupo de partículas individuales, cada una de ellas se encuentra en contacto con otras circundantes. Las partículas apoyadas entre sí producen fuerzas de contacto que las mantienen juntas y en su lugar, proporcionando la estabilidad y resistencia del suelo.
- Si se tiene un grupo de partículas de suelo no cohesivo, suelto y saturado, y se le aplica una carga violenta se genera la ruptura de su estructura. Al deteriorarse la



estructura, las partículas se mueven libremente buscando la manera de formar una estructura más densa.

- Durante un sismo la aplicación de la carga es rápida y espontánea, no se da tiempo a que la estructura se reacomode ni que expulse el agua contenida en los poros, lo que provoca el incremento en la presión del agua, reduciendo la fricción entre partículas, al grado en que el suelo comienza a ablandarse y perder resistencia.
- Las fuerzas de contacto entre partículas se vuelven mínimas debido sobre todo a la alta presión del agua. En casos extremos, la presión de agua es tan grande que las partículas se ven separadas y comienzan a moverse libremente, comportándose como un líquido viscoso más que como sólido.
- Antes de un terremoto, la presión del agua es relativamente baja. Al ocurrir un sismo, la presión del agua puede ser tan grande, como se mencionó y las partículas tengan la libertad de moverse, para posteriormente reacomodarse de manera estable.<sup>27</sup>

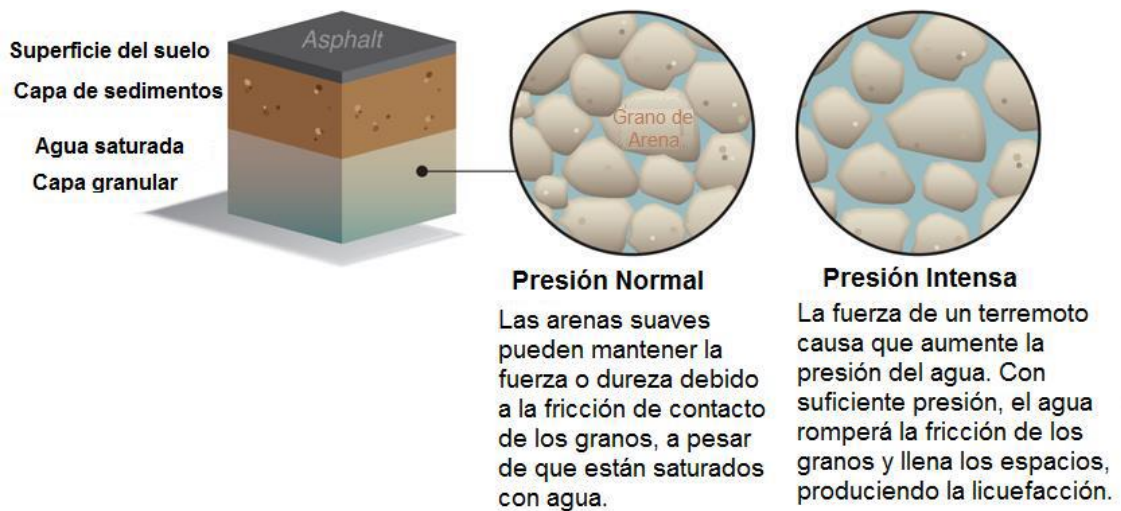


Ilustración 4 Figura esquemática del proceso de licuefacción Fuente: Nicolás Lara, 2013

### 8.5.6 Suelos susceptibles a la licuefacción

La licuefacción de los suelos es un proceso observado en situaciones en que la presión de poros es tan elevada que el agregado de partículas pierde toda la resistencia al corte y el terreno su capacidad soportante. Los suelos más susceptibles a la licuefacción son

<sup>27</sup> Obando, T. (2009) *Estado actual del Conocimiento del proceso cíclico de licuefacción en suelos sujetos a sollicitaciones sísmicas.*

aquellos formados por depósitos jóvenes de arenas y sedimentos de tamaños de partículas similares, en capas de por lo menos más de un metro de espesor, y con un alto contenido de agua (saturadas).<sup>28</sup>

Suelos granulares en los que se produce la licuefacción

- Arenas limosas saturadas
- Arenas muy finas redondeadas (loess)
- Arenas limpias
- Rellenos mineros

Debido a la gran cantidad de agua intersticial que presentan, las presiones son tan elevadas que un sismo, o una carga dinámica, o la elevación del nivel freático, pueden aumentarlas, llegando a anular las tensiones efectivas. Esto motiva que las tensiones tangenciales se anulen, comportándose el terreno como un pseudo-líquido. Durante el proceso en que actúa la fuerza exterior, por lo general una fuerza cíclica sin drenaje, tal como una carga sísmica, las arenas sueltas tienden a disminuir su volumen, lo cual produce un aumento en la presión de agua en los poros y por lo tanto disminuye la tensión de corte, originando una reducción de la tensión efectiva.<sup>29</sup>

Tales depósitos por lo general se presentan en los lechos de ríos, playas, dunas, y áreas donde se han acumulado arenas y sedimentos arrastrados por el viento y/o cursos de agua. Algunos ejemplos de licuefacción son arena movediza, arcillas movedizas, corrientes de turbidez, y licuefacción inducida por terremotos.<sup>30</sup>

Según cual sea la fracción de vacío inicial, el material del suelo puede responder ante la carga bien en un modo de ablandamiento inducido por deformación o alternativamente sufrir endurecimiento inducido por deformación.

---

<sup>28</sup> Núñez Jesús. (2007). *Análisis comparativo del fenómeno de licuación en arenas. Aplicación a Tumaco. Barcelona.*

<sup>29</sup> Carrillo Gil, Andrés. 2001. *Algunas Apreciaciones del Comportamiento del Suelo en la Zona del Sismo de Ancash.* II Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones desarrollado en Lima.

<sup>30</sup> Martínez Alberto. (2006). *Licuación de Arenas.*

En el caso de suelos del tipo ablandamiento inducido por deformación, tales como arenas sueltas, los mismos pueden alcanzar un punto de colapso, tanto en forma monótona o cíclica, si la tensión de corte estática es mayor que tensión de corte estacionaria del suelo. En este caso ocurre licuefacción de flujo, en la cual el terreno se deforma con una tensión de corte constante de valor reducido.

Si el terreno es del tipo endurecimiento inducido por deformación, o sea arenas de densidad moderadas a altas, en general no ocurrirá una licuefacción por flujo.

Sin embargo, puede presentarse un ablandamiento cíclico a causa de cargas cíclicas sin drenaje, tales como cargas sísmicas. La deformación durante cargas cíclicas dependerá de la densidad del terreno, la magnitud y duración de la carga cíclica, y la magnitud de inversión de la tensión de corte. Si es que ocurre una inversión de la tensión, la tensión de corte efectiva puede ser nula, en cuyo caso puede ocurrir el fenómeno de licuefacción cíclica.

Si no ocurre inversión de las tensiones, no es posible que la tensión efectiva sea nula, en cuyo caso puede ocurrir el fenómeno de movilidad cíclica.

### **8.5.7 Suelos resistentes a la licuefacción**

La resistencia de un suelo sin cohesión frente a la licuefacción dependerá de la densidad del terreno, las tensiones de confinamiento, la estructura del terreno (textura, antigüedad y cementación), la magnitud, duración de la carga cíclica y si ocurre inversión de la tensión de corte.

La licuefacción puede causar daño a estructuras en varias maneras. Los edificios cuyos cimientos están directamente en la arena que se licua experimentan una pérdida de apoyo repentina, que resulta en el asentamiento drástico e irregular del edificio. La licuefacción causa asentamientos irregulares en el área licuada, y esto puede dañar los edificios y romper los cables de servicio público subterráneos donde los asentamientos diferenciales son grandes.

Las tuberías de distribución de agua y gas y otros ductos pueden flotar y desplazarse hacia la superficie. Forúnculos de arena pueden entrar en erupción en los edificios a través de bocas de conexión de servicios, con lo que el agua puede ingresar y dañar la estructura o sus sistemas eléctricos. La licuefacción del suelo también puede causar colapsos de plataformas.

Las áreas de recuperación ambiental de suelo (rellenos sanitarios) son propensas a la licuefacción porque muchas son recuperadas con relleno hidráulico, y a menudo se asientan sobre suelos blandos que pueden amplificar la sacudida de los terremotos.

Es uno de los fenómenos más dramáticos y destructivos y, además, más polémicos y peor explicados que pueden ser inducidos en depósitos por acciones sísmicas. La mitigación del daño potencial debido a la licuefacción forma parte del campo de la ingeniería geotécnica.

#### **8.5.8 La licuefacción directa del carbón**

Es un proceso químico que convierte el carbón directamente en una mezcla de hidrocarburos líquidos, también conocida como proceso Pott-Broche, es un proceso químico que convierte el carbón directamente en una mezcla de hidrocarburos líquidos denominada "crudo sintético".

Aunque existen muchas variantes del proceso, todas coinciden en que primero se disuelve el carbón en un disolvente a alta presión y temperatura y luego se añade hidrógeno para realizar un hidro-craqueo en presencia de un catalizador. El producto obtenido es un crudo sintético que a continuación hay que refinar, consumiendo más hidrógeno.

No debe confundirse con la "licuefacción indirecta", que consiste en generar primero gas de síntesis que luego es convertido en hidrocarburos líquidos mediante una reacción de Fischer-Tropsch.

#### **8.5.9 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN**

Si un depósito de suelos ha sido determinado como susceptible, entonces el segundo paso en el desarrollo de una evaluación de riesgo de licuefacción es considerar el

potencial de un suelo para iniciar la licuefacción. Esto generalmente involucra la caracterización de la carga sísmica a la que el suelo está sometido y la caracterización de la resistencia a la licuefacción del suelo. Como estas caracterizaciones se hacen en términos comunes, se pueden comparar para determinar el potencial de licuefacción del suelo.

#### **8.5.9.1 Evaluación de la resistencia basada en el ensayo de penetración estándar**

Los criterios para la evaluación de la relación de resistencia cíclica basados en el ensayo de penetración estándar (SPT), han demostrado ser confiables a lo largo de los años, y por lo tanto el uso de estos métodos representa el estado de la práctica en la evaluación de resistencia a la licuefacción. Como señalan Kramer y Stewart (2004)<sup>31</sup>, las principales ventajas del método de evaluación de la resistencia basado en el ensayo de penetración estándar, son su larga historia de uso y el hecho de que permite obtener una muestra de suelo, la cual puede ser usada para posteriores análisis, como clasificación.

#### **8.5.9.2 Descripción general del ensayo de penetración Estándar**

El ensayo de penetración estándar, probablemente el más común de los ensayos de terreno, mide la resistencia del suelo a la penetración dinámica de un muestreador de tubo partido de 50,8 mm (2 pulgadas) de diámetro, al ser hincado dentro del suelo en la base de una perforación revestida.<sup>32</sup>

#### **8.5.10 METODOLOGÍA GENERAL DE LA EVALUACIÓN DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS**

Para poder evaluar la licuefacción de suelos, existen dos formas: Una determinística y otra probabilística. Una evaluación de manera determinística; consiste en comparar simplemente la resistencia respecto a la sollicitación sísmica. Se evalúa cuál es mayor y se obtiene un factor de seguridad. En cambio la probabilística usa una cantidad grande de datos y por lo general, para obtenerlos se emplea una mayor inversión en la investigación que se realiza...<sup>33</sup>

---

<sup>31</sup> Kramer, S.L. and Stewart, J.P. (2004). *Chapter 4: "Geotechnical Aspects of Seismic Hazards,"* in Earthquake Engineering

<sup>32</sup> Santibáñez Daniel. (2006). *Determinación del potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar.*

<sup>33</sup> Cámara de la Construcción de Quito y Ministerio de Desarrollo Urbano de Vivienda. (2011). Norma Ecuatoriana de la Construcción.

### **8.5.10.1 Caracterización de las solicitaciones sísmica**

El nivel del exceso de presión de poros requeridos para iniciar la licuefacción está relacionado con la amplitud y duración de la carga cíclica inducida por el sismo.

La aproximación de esfuerzo cíclico está basada en asumir que la generación del exceso de presión de poros esta expresada en términos de esfuerzos cortantes cíclicos. La solicitación puede ser predicha de dos maneras, por un análisis de la respuesta del terreno detallada o por el uso de la aproximación simplificada.

El análisis de respuesta del terreno puede ser usado para predecir tiempo historia del esfuerzo cortante en varias profundidades dentro del depósito de suelo. Tal análisis produce tiempo-historia transitorios, características irregulares de los movimientos sísmicos reales. Sin embargo, la información de laboratorio de la resistencia a la licuación puede ser estimada usualmente obteniéndola de ensayos de esfuerzos cortantes cíclicos con amplitudes uniformes.<sup>34</sup>

La comparación de la solicitación sísmica inducida, con la resistencia determinada en laboratorio requiere de una conversión irregular del tiempo historia del esfuerzo cortante a una serie equivalente de esfuerzos cíclicos uniformes. Seed et al. (1975) aplicaron un procedimiento de ponderación a un juego de esfuerzos cortantes de los tiempo- historia de movimientos severos de los sismos registrados para determinar el número de esfuerzos cíclicos uniformes, a una amplitud del 65% del esfuerzo cortante cíclico pico, ( $\tau_{cyc} = 0.65 \text{ Max.}$ ) que podría incrementar la presión de poros equivalente a la de un tiempo-historia irregular.

### **8.5.10.2 Caracterización de la resistencia a la licuefacción**

La resistencia a la licuación de un elemento de suelo depende de cuán cerca esté desde su estado inicial en relación a la falla, así como a la naturaleza de la carga requerida para moverla, desde el estado citado hasta el estado de la falla. Sin embargo, se sabe que los estados de falla para flujo por licuación como para movilidad cíclica son diferentes.

En el campo, donde los esfuerzos y la presión de poros son pocas veces medidos, es usualmente difícil distinguir entre los diferentes fenómenos de licuación luego de que

---

<sup>34</sup> Obando Tupak. (2009). *Metodología y técnicas para la cuantificación del potencial de licuación en suelos sujetos a solicitaciones dinámicas.*

un sismo haya ocurrido. Cuando la aproximación del esfuerzo cíclico se desarrolló, se identificó pequeñas distinciones entre los diferentes fenómenos de la licuación. La caracterización de la resistencia a la licuación se desarrolló a lo largo de dos líneas de investigación: los métodos basados en los resultados de ensayos laboratorio, y los métodos basados en el resultado de ensayos in situ y observaciones del comportamiento de la licuación en sismos pasados

#### **8.5.11 Evaluación de la iniciación de la licuefacción**

Una vez que la sollicitación cíclica impuesta por el sismo y la resistencia a la licuación de suelos ha sido caracterizada, se puede evaluar el potencial de licuación. La aproximación por esfuerzo cíclico caracteriza la sollicitación sísmica con la amplitud de un esfuerzo cíclico equivalente uniforme y la resistencia a la licuación, por la amplitud del esfuerzo cíclico equivalente requerido.<sup>35</sup>

La evaluación es fácilmente realizada de manera gráfica. Primero, la variación de los esfuerzos de corte cíclicos (sollicitación sísmica,  $\tau_{cyc}$ ) versus la profundidad graficada, tal como se muestra en la figura.

Posteriormente, la variación de los esfuerzos cortantes cíclicos requeridos para causar la licuación (resistencia a la licuación) versus la profundidad también es graficada, comparándose, finalmente, la sollicitación respecto a la resistencia.

La licuación puede ser esperada en las profundidades donde la sollicitación excede a la resistencia o cuando el factor de seguridad contra la licuación sea menor a 1.1, tal como se indica en la siguiente expresión.

Por lo tanto, la decisión de un factor de seguridad apropiado debe reflejar las condiciones particulares asociadas con un sitio en específico y la vulnerabilidad de las estructuras emplazadas en el mismo.

Los factores de seguridad en el rango cercano a 1.1 pueden ser aceptables para un departamento familiar de un piso. En este caso, el potencial de un desplazamiento lateral es muy bajo y un asentamiento diferencial es el mayor peligro concerniente, y donde losas post-tensadas sean especificadas.

---

<sup>35</sup> Parra Denys, Aguilar Zenón, Ayquipa Carmen y Alva Jorge. (2003). *Evaluación del potencial de licuación de suelos*.

Por el otro lado, factores de seguridad de 1.3 pueden ser más apropiados para evaluar peligros asociados en una falla por flujo potencial para eventos sísmicos de gran magnitud.

## **9. VISUALIZACIÓN DEL ALCANCE DEL ESTUDIO**

### **9.1 Aporte social**

La presente investigación es de interés social, puesto que los resultados de la misma servirán para prevenir el afectamiento de las estructuras en caso de un evento sísmico, previniendo así desgracias humanas y materiales.

### **9.2 Aporte económico**

Los datos obtenidos en el presente estudio serán de utilidad para ingenieros, proyectistas y contratistas que deseen emprender construcciones en el área estudiada, permitiéndoles conocer las características y el porcentaje de licuefacción del suelo, facultándoles tomar decisiones basadas en esos datos y consecuentemente una mayor eficacia económica en la elaboración de sus presupuestos.

### **9.3 Aporte científico**

Esta investigación servirá como base para estudios futuros tanto en el mismo campo como en campos afines, sentando un antecedente en el área estudiada e integrándose al cuerpo bibliográfico preexistente sobre la licuefacción.



## 10. DISEÑO METODOLÓGICO

### 10.1 HIPÓTESIS

Se lograra contrarrestar el efecto de colapso de diferentes obras civiles como; edificaciones, viviendas, puentes entre otras infraestructuras mediante el análisis de la licuefacción producida por el nivel freático

### 10.2 VARIABLE DEPENDIENTE: Licuefacción del suelo

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADOR	TÉCNICA
La licuefacción de suelos es un fenómeno en el cual los terrenos, a causa de saturación de agua y particularmente en sedimentos recientes como arena o grava, pierden su firmeza y fluyen como resultado de los esfuerzos provocados en ellos por temblores.	<p><b>EFFECTOS DEL SUELO</b></p> <p><b>LICUEFACCIÓN DEL SUELO A CAUSA DEL NIVEL FREÁTICO</b></p>	<p>Materiales más vulnerables a la licuefacción</p> <p>Efectos que produce en el suelo</p>	<p>Ensayos de laboratorio</p> <p>Ensayos</p>

### 10.3 VARIABLE INDEPENDIENTE: Nivel Freático

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADOR	TÉCNICA
La presencia de agua, en relación a los esfuerzos, produce una disminución de las propiedades y las características resistentes en suelos saturados y también provoca una presión adicional sobre el frente de la excavación.	<b>NIVEL FREÁTICO</b>	TIPOS DE SUELO	Ensayos de suelo
	<b>VARIACIONES EN EL NIVEL FREÁTICO</b>	DAÑOS DEBIDO A SISMOS	Ensayos de suelo

## **11. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

La Investigación de Campo e investigativo, definida como el proceso que, utilizando el método científico, permite obtener nuevos conocimientos en el campo de la construcción. (Investigación pura), o bien estudiar una situación para diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos (investigación aplicada). Este tipo de investigación es también conocida como investigación in situ ya que se realiza en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio. Ello permite el conocimiento más a fondo del investigador, puede manejar los datos con más seguridad y podrá soportarse en diseños exploratorios, descriptivos y experimentales, creando una situación de control en la cual manipula sobre una o más variables dependientes (efectos). Por tanto, es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y sus efecto en las conductas observadas. Con estos antecedentes se utilizará un tipo de investigación de campo, por cuanto esta investigación corresponde a un tipo de diseño de investigación, que se basa en informaciones obtenidas directamente de la realidad, permitiendo a los proponentes de esta investigación cerciorarse de las condiciones reales en que se conseguirán los datos. En otras palabras, se obtendrán muestras de suelos del sector y se realizaran los respectivos ensayos de suelo, en el caso propuesto, los respectivos ensayos se los realizara en los laboratorios de suelo que cuenta la Universidad Técnica de Manabí.

## 12. MÉTODO

El método seleccionado es HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO, puesto que se plantea hipótesis que se pueden analizar deductiva y/o inductivamente, con su correspondiente comprobación experimental, es decir, se busca que la parte teórica no pierda su sentido, por ello se relaciona posteriormente con la realidad. Es necesario recordar que una de las características de este método es la combinación de otros métodos así: el inductivo, el deductivo y el experimental.

## 13. TÉCNICAS

- Ensayos de suelo realizados en el laboratorio de la Universidad Técnica de Manabí.

### ➤ Posibilidad de ocurrencia del proceso de licuefacción

El método de evaluación más común son los de analizar las relaciones de tensión cíclicas que generan los sismos, y se comparan con la relación de tensiones cíclicas que resisten los suelos, en relación al sismo del pasado 16 de abril de Magnitud 7,8° escala Richter. Del coeficiente de esta relación se obtiene un factor de seguridad ( $F_s$ ) que determine la posibilidad de existir el fenómeno de licuefacción.

Al hacer referencia de relación de tensiones cíclicas estamos hablando de relacionar las tensiones de corte " $\tau$ " con las tensiones verticales efectivas  $\vartheta_v$ .

➤ **Densidad húmeda y saturada.**<sup>36</sup>

**PROPIEDADES DE TERRENOS REALES**

<b>Tipo de terreno</b>	<b>Porosidad n (%)</b>	<b>Índice huecos e</b>	<b>Humedad natural ? (%)</b>	<b>Densidad seca ?d (T/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad húmeda ? (T/m<sup>3</sup>)</b>
Arena suelta	43	0,76	29	1,51	1,94
Arena densa	32	0,47	17	1,80	2,12
Zahorra	22	0,30	12	2,05	2,28
Arcilla muy blanda	60	1,67	62	1,08	1,34
Arcilla blanda	55	1,55	55	1,22	1,76
Arcilla semi-compacta	45	0,90	35	1,47	1,92
Arcilla compacta	43	0,87	32	1,45	1,89
Arcilla muy compacta	40	0,74	27	1,61	2,01
Arcilla dura	33	0,61	22	1,80	2,13
Loes yesífero	-	0,87	-	1,35	-
Turba	82	14	1.650	0,040	1,04
Hormigón	10-2	-	-	-	-
Margas	34	-	-	-	2,33

*Tabla según A. García Valcarce.*

Para el cálculo de las densidades tanto saturada como humedad que es un dato principal para el cálculo de la licuefacción del suelo, se debe de realizar mediante la tabla de las propiedades de los suelos, de acuerdo al número de golpes que arroje como resultado en cada punto del SPT para clasificarlo a qué tipo de terreno pertenece y así tomar sus respectivas densidades en cada estrato para finalmente hacer un promedio de todos los puntos.

<sup>36</sup> Universidad da Coruna. (2007-2009). CLASIFICACIÓN DE SUELOS, EU.: Argosy Publishing. Recuperado de <http://www.udc.es/>

Para realizar este proceso y poder obtener el factor de seguridad, se requiere de realizar varios cálculos basados fundamentalmente en el ensayo de SPT realizado en la zona que se va a evaluar.

A continuación se detallaran los paso a seguir para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo debido a la sollicitación sísmica del pasado 16 de abril donde evidentemente existieron daños en obras civiles.

1. Realizar investigaciones geotécnicas para definir la estratigrafía del suelo como: perforaciones, calicatas, ensayos de SPT, ensayos de cono, extracciones de muestras etc.

Realizar los estudios debidos de laboratorio necesarios para conocer con propiedad el tipo de material que se está tratando como: Propiedades índices, análisis granulométricos por lavado de muestras, a fin de identificar el material en sus distintas profundidades.

2. Hacer un estudio detallado de las Tensiones Verticales totales ( $\sigma_v$ ) y las Tensiones Verticales Efectivas ( $\sigma_v'$ ) para cada nivel.
3. Evaluar la Relación de Tensiones Cíclicas (CSR), debido al sismo, que representa la relación de tensiones de corte a una profundidad dada que se genera por las sollicitaciones ocasionadas cuando sobreviene el sismo de diseño y la tensión efectiva vertical en un mismo nivel.

$$CSR = 0,65 \cdot \left( \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \right) \left( \frac{a_{max}}{g} \right)$$

➤ **Flexibilidad de la columna de suelos.**

La ecuación debe ser afectada por un coeficiente de reducción " $r_d$ " ya que la columna de suelos tiene movimientos relativos distintos (1 para el nivel de la superficie) que disminuyen a medida que aumenta la profundidad.

$$CSR = 0,65 \cdot \left( \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \right) \left( \frac{a_{max}}{g} \right) r_d$$

Este factor de reducción de tensiones “ $r_d$ ” se define como un factor de flexibilidad de la columna de los suelos desde la superficie a la profundidad que se está evaluando. Para valores de  $z > 34\text{m}$

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z) \cdot M)$$

Donde

M es la magnitud del sismo; Z es la profundidad;  $\alpha$   $\beta$  son funciones de ajuste definidas como:

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin\left(\frac{z}{11,73} + 5,133\right)$$

$$\beta(z) = 0,106 - 0,118 \sin\left(\frac{z}{11,28} + 5,142\right)$$

➤ **Influencia de la magnitud del sismo**

Los valores dados por la ecuación anterior, son válidos para un sismo de diseño de magnitud  $M=7,8$  de la escala de Richter. Para otros valores de la magnitud “M” del sismo probable de manifestarse, se debe afectar a la ecuación anterior de un coeficiente o factor de escala denominado Magnitude Scaling Factor “MSF” que toma el valor unitario para  $M=7,58$

Este factor de escala queda definida para la siguiente relación:

$$MSF = \frac{CSR_{m=7,8}}{CSR_m}$$

Es decir la relación entre las tensiones de corte cíclicas provocadas por un sismo de magnitud “M” y las tensiones de cortes cíclicas provocadas por un sismo de magnitud  $M=7,5$ . El valor de MSF puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$MSF = 6,9 * \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0,058$$

Con un valor máximo que no debe superar el valor de  $MSF=1,80$

Con lo cual la ecuación de  $CSR_M$  quedaría de la siguiente forma:

$$CSR_m = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g}\right) * \left(\frac{\vartheta_v}{\vartheta_v'}\right) * \left(\frac{rd}{MSF}\right)$$

➤ **Valores a considerar de los ensayos de SPT**

Evaluar los valores de los ensayos de penetración de SPT a través del número de caídas teniendo en cuenta una eficiencia del 60% con respecto a la eficiencia nominal o teórica del ensayo SPT.

Esto se hace porque a nivel mundial los equipos para ejecutar el SPT, no utilizan la misma metodología para el lanzamiento del martinete de 63,5 kg de peso para impactar en cada golpe la cañería que conecta en profundidad con el saca muestras normalizada de Terzaghi.

Sin embargo los trabajos que permiten calcular el potencial de licuefacción y que están basados en el ensayo de SPT, están referidos a un equipo Estándar de ensayo que transmite una energía del 60% de la nominal teórica, por lo tanto hay que corregir los ensayos que tenemos hecho con una energía E1 a esta nueva energía E60 haciendo

$$N_{60} = \frac{N * E1}{E60}$$

N= número de golpes logrado para una energía E1

N60= número de golpes que se requiere utilizando una energía de 60%.

Suponiendo que tenemos un equipo que transmite una energía del 95% ya que ningún equipo trabaja al 100% con respecto a la teórica nominal y queremos transformar un ensayo de SPT que nos dio un N=9 golpes de este equipo a otro valor que nos hubiera dado el equipo Estándar con una energía del 60%.

El nuevo valor de N1 será:

$$N_{60} = \frac{9 * 95\%}{60\%} = 14$$

A los efectos de poder evaluar que se considere un equipo estándar, en la tabla que se adjuntan figuran una serie de características que dan autores para este equipo.

ELEMENTOS	ESPECIFICACIONES
Sacamuestra	Cuchara partida de Terzaghi, de diámetro extremo de 51 mm y de diámetro interno de 35 mm
Barra de perforación	Barra tipo a y AW para perforaciones de menos de 15 metros y barras tipo No NW para perforaciones de mayor profundidad



Martillo	Martillo estándar con un peso de 63,5 kg y una altura de caída de 762 mm
Soga	Dos vuelas de sogas alrededor de la rodada de izaje
Perforación	Se 100 a 130 mm de diámetro hecho con el sistema de perforación con lodos bentónicos para el estabilizado de las paredes de la perforación
Herramientas de perforación	Con deflector de corriente ascendente del lodo de perforación (Tricono o mecha de perforación)
Frecuencia de golpeo	De 30 a 40 golpes por minuto
Medición de la resistencia a la penetración	Medido en intervalos de 150 mm para la perforación de los 450 mm totales

➤ **Influencia de la tapada del suelo**

La corrección a aplicar para obtener el ensayo normalizado y eliminar las variaciones de la presión de confinamiento, tiene en cuenta una presión efectiva de la tapada efectiva  $\sigma_v'$  equivalente a la presión de 1 atmosfera que equivale a 101 kPa a 1 kg/cm<sup>2</sup> o a 10 tn/m<sup>2</sup>.

La fórmula más utilizada para obtener en valor corregido por la tapada de suelos granulares es la Liao Whitman (1986):

$$CN = 9,79 * \sqrt{\frac{1}{\sigma_v'}}$$

➤ **Corrección para contenidos de finos**

El valor de  $(N_1)_{60}$  calculado en el paso anterior, representa una medida de la densidad relativa del depósito o de la resistencia promedio a la licuefacción de arenas limpias con contenido de finos (CF) pasante por el tamiz N° 200 menor al 5%.

Cuando el contenido de finos de la arena investigada es mayor del 5% el valor de  $(N_1)_{60}$  debe ser corregido.

Esto se debe a que el grado de drenaje durante la ejecución del ensayo de penetración SPT, disminuye con el incremento del contenido de finos (CF), por lo tanto, el número

de golpes medido durante el ensayo, subestima la resistencia de la licuefacción en las arenas limosas.

Para compensar este efecto se recomienda aumentar el número de golpes de SPT a medida que aumenta el contenido de finos del suelo granular, es decir el valor de  $(N_1)_{60}$  debe ser incrementado en una cantidad  $\Delta (N_1)_{60}$  que dependerá del contenido de finos del suelo.

$$(N_1)_{60cf} = (N_1)_{60} + \Delta (N_1)_{60}$$

El valor de  $\Delta (N_1)_{60}$  puede ser evaluado a partir del contenido de finos de la arena con la siguiente ecuación propuesta por Idriss y Boulanger 2004.

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1,63 + \frac{9,7}{CF} - \left(\frac{15,7}{CF}\right)^2\right)$$

Para aplicar esta corrección, un incremento de resistencia a la penetración de síntesis,  $q_{lcN}$ , o  $(N_1)_{60}$ , se añade a la resistencia calculada normalizado  $q_{lcN}$ . Este incremento representa las influencias combinadas del contenido fino sobre resistencia a la penetración en función de la FC.

For $FC \geq 35\%$	$\Delta q_{lcN} = 60$	$\Delta (N_1)_{60} = 7.2$
For $FC \leq 5\%$	$\Delta q_{lcN} = 0$	$\Delta (N_1)_{60} = 0$
For $5\% < FC < 35\%$	$\Delta q_{lcN} = 2 (FC - 5)$	$\Delta (N_1)_{60} = (1.2/5) (FC - 5)$

### ➤ Relación de Resistencia Cíclica

Una vez calculado los valores de  $(N_1)_{60cf}$  corregida por la presión de la tapada, la energía utilizada por el equipo que se ejecuta el ensayo y por el contenido de finos estamos en condiciones de evaluar cuál será el esfuerzo cíclico generado por el sismo para producir licuefacción en el suelo estudiado.

Para ellos se evaluaron ejecutando estudios de suelo con equipos de SPT a lo largo de muchos años en distintos sitios del planeta donde se generaron sismos y que se generaron o problemas de licuefacción estos valores son ploteados en gráficos donde en

ordenadas se representa a la Relación de Resistencia Cíclica “CCR” máxima del suelo y en abscisas el número de golpeo corregido del SPT  $(N_1)_{60CF}$ .

De esta forma los investigadores han podido establecer una línea divisoria donde los puntos que se ubican por encima de la misma representan a estratigrafías susceptibles de experimentar licuefacción, mientras que lo que se ubican por debajo de la misma representan a estratigrafías donde no se esperan que ocurran problemas de licuefacción.

$$(CRR)_{m7,8} = \exp \left[ \frac{(N_1)_{60CF}}{14,1} + \left( \frac{(N_1)_{60CF}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60CF}}{23,6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60CF}}{25,4} \right)^4 - 2,8 \right]$$

La razón de la resistencia cíclica CRR expresa la capacidad del suelo para resistir la licuefacción. El método simplificado determina el CRR sobre la base de valores del ensayo SPT, para suelos no cohesivos con un contenido de finos menor al 35%.

Como hemos dicho estas curvas son aplicables para sismos de magnitud de 7,8 para considerar la resistencia del suelo.

Matemáticamente se puede utilizar la siguiente expresión para obtener el  $K_M$  en función de la magnitud  $M$  del sismo

$$K_m = \frac{10}{M^{1,15}} + \frac{0,10}{M}$$

Los valores de  $CRR_{7,5}$  proporcionados por la curva de la gráfica y por la ecuación son válidos hasta profundidades que generan una presión efectiva menor o igual a  $\vartheta v' = 1$  atm.

Para profundidades que generan una tensión mayor de  $\vartheta v' = 1$  atm debe aplicarse un factor de corrección por sobrecarga efectiva.

Este factor que llamaremos  $K_\alpha$  puede ser estimada mediante la siguiente ecuación dada por Idriss – Boulanger 2004:

$$K_\alpha = 1 - C\sigma * \text{Ln} \left( \frac{\vartheta v'}{Pa} \right) \leq 1$$

Donde:

$$C\sigma = \left( \frac{1}{18,9 - 2,55 * \sqrt{(N_1)_{60}} \right) \leq 0,3$$

Finalmente se debe aplicar como tercera corrección por tensiones de cortes estáticas generalmente provocadas por las tensiones inducidas por la estructura que se analiza, esta corrección indica con “ $K_\alpha$ ” en la que  $\alpha$  es la relación de tensiones estáticas  $\alpha = t_{ho}/\sigma_v'$  que puede ser calculada con las cartas de distribución de distribución en un medio elástico adoptadas por la geotecnia, en función de la forma y la tensión de contacto de la base.

Por lo tanto el valor de CRR, para cualquier sismo particular y para cualquier profundidad es determinar mediante la expresión:

$$CRRM = CRR_{7,8} * KM * K\sigma * K\alpha$$

Finalmente la susceptibilidad de los suelos a experimentar licuación, se expresa generalmente en términos de un factor de seguridad que representa la posibilidad de que se produzca licuación o no.

Este coeficiente la susceptibilidad se define como la relación entre la resistencia del suelo a experimentar licuación, expresada como las tensiones cíclicas requerida para causar licuación y las tensiones cíclicas generadas por el sismo de diseño.

**CRR<sub>M</sub>** = Relación de resistencia Cíclica que presenta el suelo para un sismo de magnitud.

**CSR<sub>M</sub>** = Relación de Tensiones Cíclicas impuesta por el sismo de magnitud M.

$$FS = \frac{CRRM}{CSR_M}$$



Por ello el potencial de licuefacción estimado para el depósito de suelo está en función del factor de seguridad (FS mayor que 1, la cizalladura inducida por el terremoto supera la resistencia del suelo, y por tanto, la licuefacción se va a producir. En caso contrario, cuando FS es menor que 1.0, licuefacción no se produce).

## **14. RESULTADOS ESPERADOS**

Basado en el análisis de los beneficios que tendrá el proyecto se puede concluir que la investigación de este trabajo, generará beneficios ya que es muy importante conocer en qué tipo de suelo se está construyendo o se va a construir ya que la no realización de los debidos estudios de suelo es uno de los principales problemas del colapso de muchas obras civiles.

### 15. CRONOGRAMA

TIEMPOS ACTIVIDADES	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Recopilación de información	x									
Aplicación de las técnicas		x								
Encuestas tabulación y análisis de datos			x							
Tema y planteamiento de problema				x						
Desarrollo del marco teórico					x					
Visualización del alcance de estudio						x				
Elaboración de hipótesis y definiciones de variables							x			
Desarrollo y diseño de la investigación								x		
Definición y selección de la muestra y recolección y análisis de datos									x	
Reporte de los resultados (conclusiones y recomendaciones )										x

## Humedad Natural en el punto 1

MUESTRA N1							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	⊖=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
6	151,11	134,5	29,83	16,61	104,67	15,87	16,37
18	141,25	124,21	20,74	17,04	103,47	16,47	
21	164,95	145,55	29,82	19,4	115,73	16,76	

MUESTRA N2							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	⊖=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
11	63,84	57,02	30,2	6,82	26,82	25,43	24,66
14	63,89	57,88	30,93	6,01	24,95	24,09	
1B	57,81	52,66	31,62	5,15	21,04	24,48	

MUESTRA N3							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	⊖=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
4	92,68	74,05	29,8	18,83	44,25	42,10	41,42
10	94,16	75,86	29,95	18,30	45,91	39,86	
41	99,99	79,04	29,5	20,95	49,54	42,29	

MUESTRA N4							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	⊙=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
21	106,15	80,73	30,95	25,42	49,78	51,06	51,20
42	103,47	78,1	29,77	25,37	48,33	52,49	
90	109,63	84,28	30,62	26,35	52,66	50,04	

MUESTRA N5							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	⊙=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
3	130,79	99,06	30,83	31,73	68,23	46,50	47,35
9	131,89	98,8	29,95	33,09	68,85	48,06	
18	144,23	107,7	30,77	36,53	76,93	47,74	

MUESTRA N6							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	⊙=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
6	96,81	73,38	29,76	23,43	43,62	53,71	53,93
101	92,8	71,27	30,99	21,53	40,28	53,45	
Z1	101,95	76,85	30,9	25,1	45,95	54,62	



MUESTRA N7							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	©=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
10	111,92	85,71	30,22	26,21	55,49	47,23	48,16
13	107,24	82,27	29,7	24,97	52,57	47,50	
27	103,13	79,11	30,84	24,02	48,27	49,76	

MUESTRA N8							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	©=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
3	102,36	80,53	30,2	21,83	50,33	43,37	42,43
1	107,08	84,18	30,29	22,9	53,89	42,49	
2	103,38	81,95	30,22	21,43	51,73	41,43	

MUESTRA N9							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	(H)	(S)	(T)	(A)=(H)-(S)	©=S-T	H(%)=A*100/C	Σ H/3
4	119,17	96,62	29,93	22,55	66,69	33,81	32,78
16	106,19	87,45	30,87	18,74	56,58	33,12	
37	106,51	88,29	30,29	18,22	58	31,41	

MUESTRA N10							
id. recipiente	masa húmeda + tara (g)	masa seca + tara (g)	masa tara (g)	masa agua (g)	masa suelo seco (g)	Humedad (%)	
	<b>(H)</b>	<b>(S)</b>	<b>(T)</b>	<b>(A)=(H)-(S)</b>	<b>©=S-T</b>	<b>H(%)=A*100/C</b>	<b>Σ H/3</b>
5	103,89	82,37	29,46	21,52	52,91	40,67	40,38
17	99,64	79,04	29,8	20,6	49,24	41,56	
A1	100,27	80,47	30,95	19,8	49,52	39,98	

**LIMITE DE ATTERBERG**

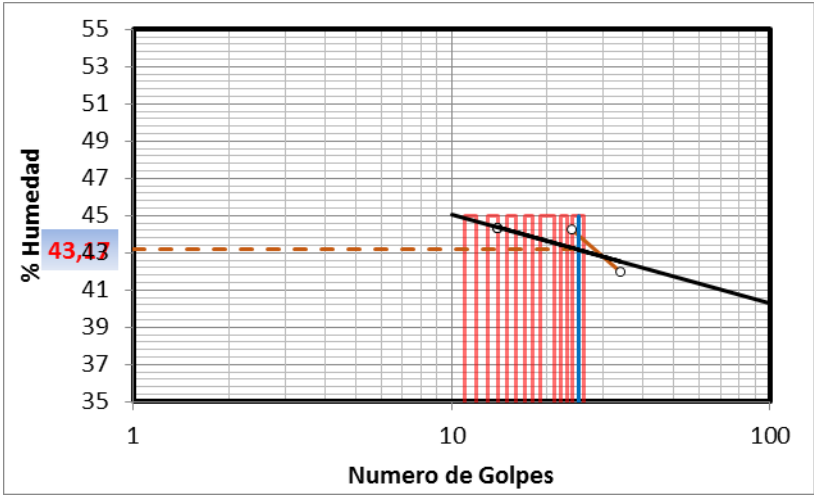
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m1)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	26	24	4
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	37,52	35,67	35,19
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	32,08	29,79	30,02
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	5,44	5,88	5,17
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	19,11	16,49	18,35
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	12,97	13,30	11,67
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	41,94	44,21	44,30
# DE GOLPES	34	24	14

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	120	25	45
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	19,07	21,59	20,08
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	18,52	20,65	19,39
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,55	0,94	0,69
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	16,91	18,02	17,47
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	1,61	2,63	1,92
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	34,16	35,74	35,94



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

<b>L. Líquido =</b>	<b>43,17</b>
<b>L. Plástico =</b>	<b>35,28</b>
<b>I. Plasticidad =</b>	<b>7,89</b>

**LIMITE DE ATTERBERG**

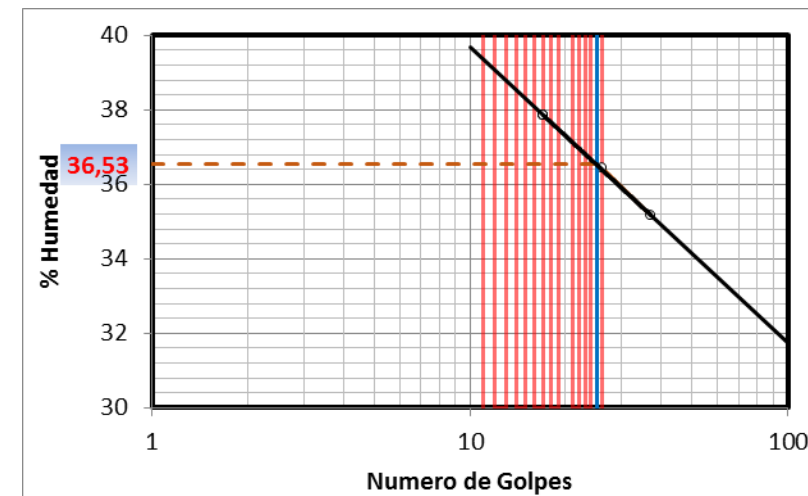
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m2)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	21	24	4
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	50,48	36,03	35,32
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	45,10	31,08	30,49
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	5,38	4,95	4,83
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	29,80	17,49	17,73
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	15,30	13,59	12,76
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	35,16	36,42	37,85
# DE GOLPES	37	26	17

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	100	35	50
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	19,72	19,00	19,30
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	19,04	18,52	18,84
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,68	0,48	0,46
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	16,97	16,96	17,39
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	2,07	1,56	1,45
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	32,85	30,77	31,72



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	<b>36,53</b>
L. Plástico =	<b>31,78</b>
I. Plasticidad =	<b>4,75</b>

**LIMITE DE ATTERBERG**

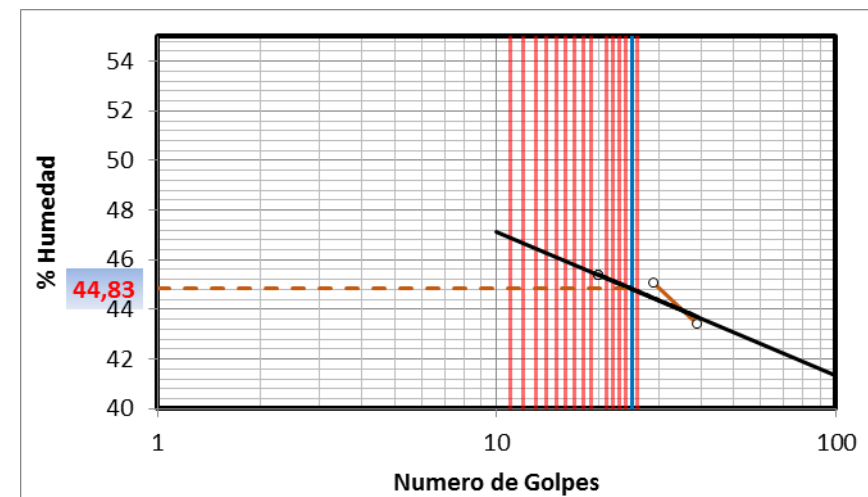
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m3)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	48	101	39
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	33,60	32,90	28,94
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	28,68	28,36	25,29
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	4,98	4,54	3,65
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	17,14	18,28	17,24
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	11,48	10,08	8,05
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	43,38	45,04	45,34
# DE GOLPES	39	29	20

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	51	37	100
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	22,68	20,37	21,05
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	21,63	19,56	20,08
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	1,05	0,81	0,97
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,56	17,14	17,11
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	3,07	2,42	2,97
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	34,20	33,47	32,66



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	<b>44,83</b>
L. Plástico =	<b>33,44</b>
I. Plasticidad =	<b>11,39</b>

**LIMITE DE ATTERBERG**

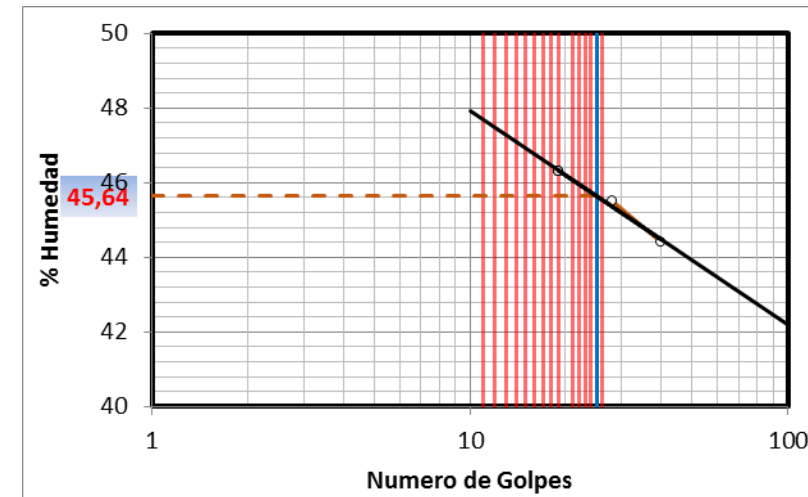
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m4)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	26	22	4
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	40,48	33,31	35,38
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	33,91	28,29	29,99
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	6,57	5,02	5,39
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	19,11	16,99	18,35
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	14,80	11,03	11,64
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	44,39	45,51	46,31
# DE GOLPES	40	28	19

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	120	25	45
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	19,22	20,66	20,51
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	18,67	20,02	19,75
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,55	0,64	0,76
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	16,91	18,02	17,47
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	1,76	2,00	2,28
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	31,25	32,00	33,33



**Observaciones :**  
Normas de Referencia  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	<b>45,64</b>
L. Plástico =	<b>32,19</b>
I. Plasticidad =	<b>13,45</b>

**LIMITE DE ATTERBERG**

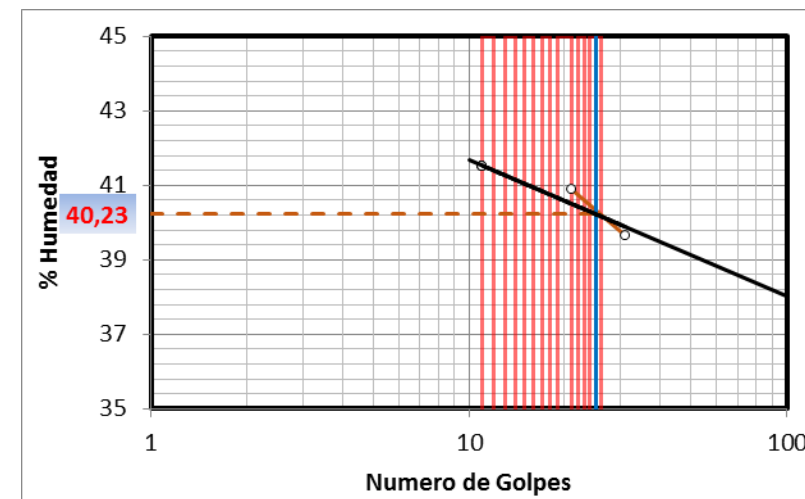
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m5)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	A1	96	10
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	25,07	26,73	20,39
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	21,18	22,27	17,68
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	3,89	4,46	2,71
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	11,37	11,36	11,15
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	9,81	10,91	6,53
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	39,65	40,88	41,50
# DE GOLPES	31	21	11

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	8	JB	40
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	10,44	9,39	10,07
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	9,91	8,92	9,49
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,53	0,47	0,58
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	8,08	7,31	7,63
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	1,83	1,61	1,86
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	28,96	29,19	31,18



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	<b>40,23</b>
L. Plástico =	<b>29,78</b>
I. Plasticidad =	<b>10,45</b>

**LIMITE DE ATTERBERG**

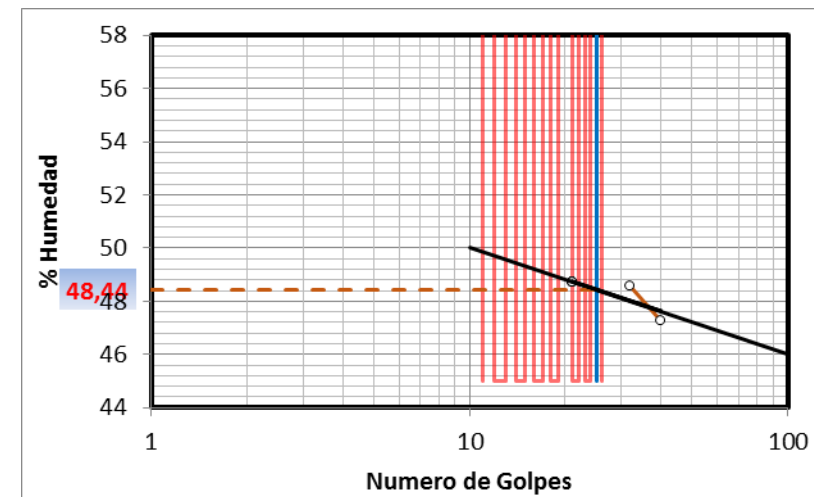
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m6)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	A1	9	18
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	43,15	41,51	41,27
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	38,84	37,76	37,50
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	4,31	3,75	3,77
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	29,72	30,04	29,76
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	9,12	7,72	7,74
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	47,26	48,58	48,71
# DE GOLPES	40	32	21

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	51	10	96
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	15,07	15,13	14,13
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	14,01	13,96	13,51
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	1,06	1,17	0,62
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	11,38	11,18	11,39
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	2,63	2,78	2,12
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	40,30	42,09	29,25



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	<b>48,44</b>
L. Plástico =	<b>37,21</b>
I. Plasticidad =	<b>11,23</b>



**LIMITE DE ATTERBERG**

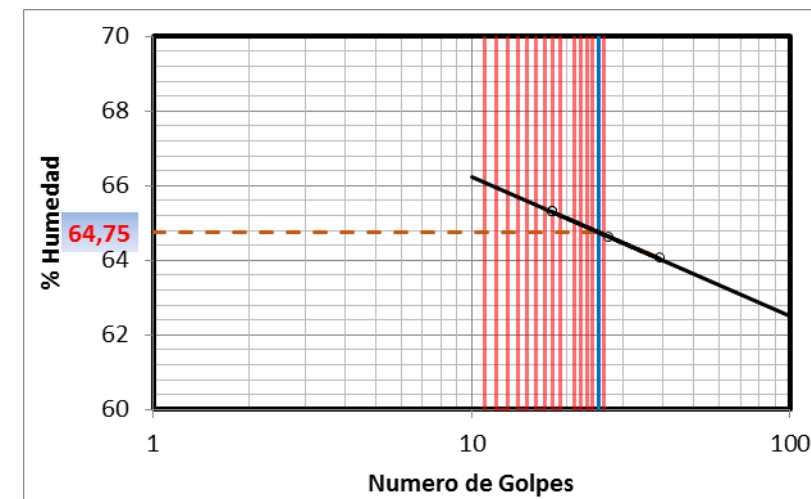
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m7)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	48	101	39
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	30,69	31,63	31,24
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	25,40	26,39	25,71
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	5,29	5,24	5,53
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	17,14	18,28	17,24
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	8,26	8,11	8,47
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	64,04	64,61	65,29
# DE GOLPES	39	27	18

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	51	37	100
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	22,26	21,71	22,05
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	21,17	20,40	20,66
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	1,09	1,31	1,39
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,56	17,14	17,11
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	2,61	3,26	3,55
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	41,76	40,18	39,15



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	<b>64,75</b>
L. Plástico =	<b>40,37</b>
I. Plasticidad =	<b>24,38</b>

**LIMITE DE ATTERBERG**

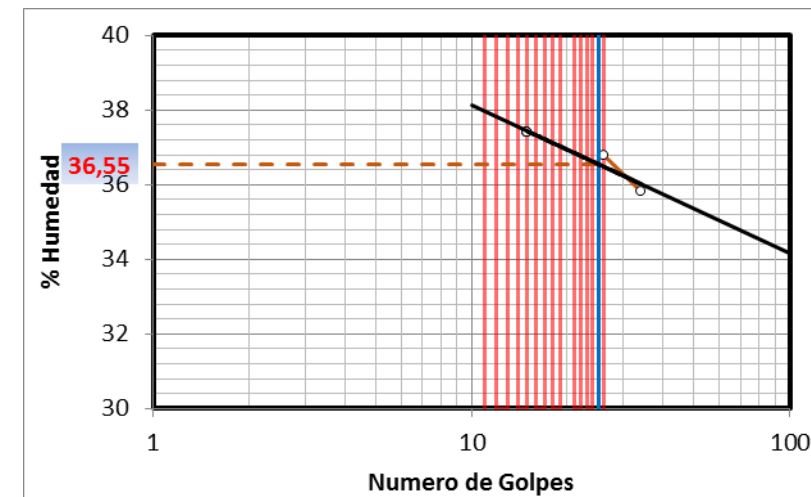
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m8)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	45	E	14
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	36,39	33,73	34,07
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	31,40	29,43	29,49
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	4,99	4,30	4,68
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	17,47	17,74	16,98
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	13,93	11,69	12,51
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	35,82	36,78	37,41
# DE GOLPES	34	26	15

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	9	72	K-11
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	11,26	10,75	20,11
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	10,16	9,79	19,34
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	1,10	0,96	0,77
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	6,65	6,60	16,96
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	3,51	3,19	2,38
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	31,34	30,09	32,35



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	<b>36,55</b>
L. Plástico =	31,26
I. Plasticidad =	5,29

**LIMITE DE ATTERBERG**

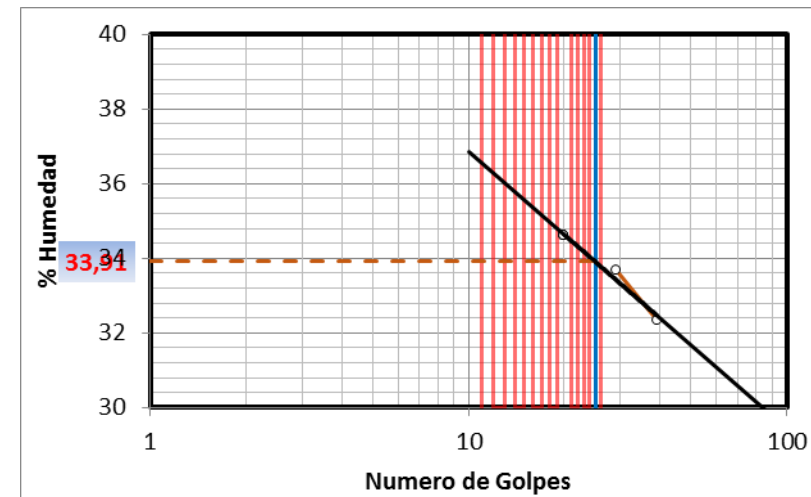
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m9)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	14	E	45
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	27,17	28,22	29,76
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	24,68	25,58	26,60
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	2,49	2,64	3,16
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	16,98	17,74	17,47
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	7,70	7,84	9,13
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	32,34	33,67	34,61
# DE GOLPES	39	29	20

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	9	72	11
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	12,54	11,98	22,15
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	11,34	10,88	21,08
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	1,20	1,10	1,07
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	6,65	6,60	16,96
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	4,69	4,28	4,12
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	25,59	25,70	25,97



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

<b>L. Líquido =</b>	<b>33,91</b>
<b>L. Plástico =</b>	<b>25,75</b>
<b>I. Plasticidad =</b>	<b>8,16</b>

**LIMITE DE ATTERBERG**

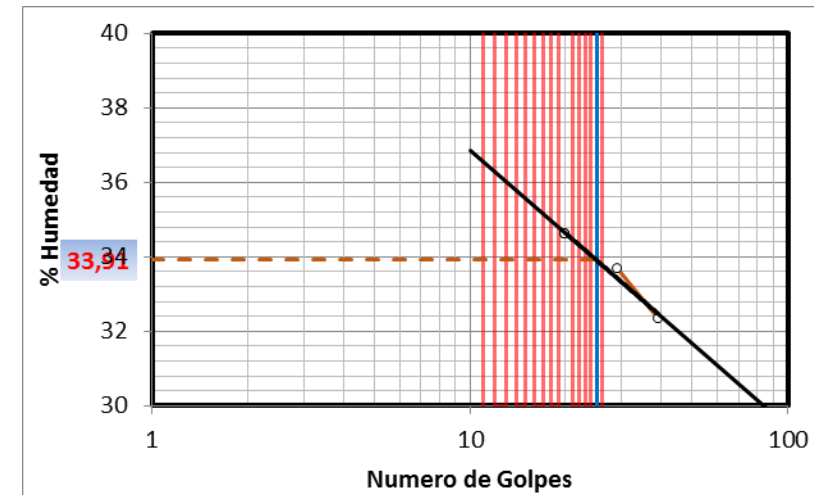
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m10)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	21	89	49
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	57,57	30,48	30,74
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	50,17	26,93	27,14
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	7,40	3,55	3,60
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	29,80	17,49	17,73
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	20,37	9,44	9,41
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	36,33	37,61	38,26
# DE GOLPES	34	24	14

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	120	35	50
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	18,76	19,56	19,73
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	18,36	18,97	19,30
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,40	0,59	0,43
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	16,97	16,97	17,93
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	1,39	2,00	1,37
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	28,78	29,50	31,39



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

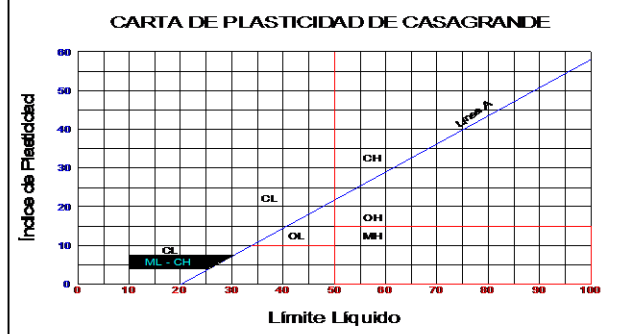
<b>L. Líquido =</b>	<b>37,15</b>
<b>L. Plástico =</b>	<b>29,89</b>
<b>I. Plasticidad =</b>	<b>7,26</b>

## Clasificación de Suelos por AASHTO y SUCS

CLASIFICACION EN GRUPOS Y SUBGRUPOS DEL TERRENO DE FUNDACION.												
(A.A.S.H.O.)												
CLASIFICACION GENERAL	MATERIAL GRANULAR (35% o menos pasa el tamiz 200)						MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS más el 35% pasa el tamiz 200					
GRUPOS	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	
SUB- GRUPOS	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5	A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz N° 10 N°20 N° 200	50 máx 30 máx 15 máx	50 máx 25 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	51 mín 10 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín	
Características del material que pasa el tamiz N° 40 Límite Líquido INDICE DE PLASTICIDAD			40 mín 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	N.P.	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx	41 mín 11 mín	
INDICE DE GRUPO	0		0		4 máx		0	8 máx	12 máx	16 máx 11 mín	20 máx	
TIPO DE MATERIAL	Fragmento piedra grava y arena		Gravas y arenas limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos		
TERRENOS DE FUNDACION	Excelente a buena		Excelente a buena		Regular		Excelente a buena	Regular a malo				

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**

Identificación en el campo (excluyendo partículas mayores de 7,62cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados).		Símbolo del grupo.	Nombres típicos.	Información necesaria para la descripción de los	Criterios de Clasificación en el Laboratorio.	
<p>Suelo de arena gruesa. Mide la mitad del material retenido por el tamiz N° 200.</p> <p>(La abertura del tamiz N° 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable, véase el ejemplo).</p> <p>Arenar: Mide la mitad de la fracción gruesa que pasa por el tamiz N° 40. (Para la clasificación visual puede juzgarse que la abertura del tamiz N° 40 equivale a media centímetro).</p> <p>Arenar: Mide la mitad de la fracción gruesa que pasa por el tamiz N° 40. (Para la clasificación visual puede juzgarse que la abertura del tamiz N° 40 equivale a media centímetro).</p> <p>Arenar: Mide la mitad de la fracción gruesa que pasa por el tamiz N° 40. (Para la clasificación visual puede juzgarse que la abertura del tamiz N° 40 equivale a media centímetro).</p> <p>Arenar: Mide la mitad de la fracción gruesa que pasa por el tamiz N° 40. (Para la clasificación visual puede juzgarse que la abertura del tamiz N° 40 equivale a media centímetro).</p> <p>Arenar: Mide la mitad de la fracción gruesa que pasa por el tamiz N° 40. (Para la clasificación visual puede juzgarse que la abertura del tamiz N° 40 equivale a media centímetro).</p>	<p>Gravas bien graduadas, mezclas de gravas y arenas con pocos finos o sin ellos.</p> <p>Gravas mal graduadas, mezclas de arenas y gravas con pocos finos o sin ellos.</p> <p>Gravas limosas, mezclas mal graduadas de gravas, arenas y limos.</p> <p>Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de gravas, arenas y arcillas.</p> <p>Arenas bien graduadas, arenas con gravas con pocos finos o sin ellos.</p> <p>Arenas mal graduadas, arenas con gravas con pocos finos o sin ellos.</p> <p>Arenas limosas, mezclas de arenas y limos mal graduadas.</p> <p>Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arenas y arcillas.</p>	<p>GW</p> <p>GP</p> <p>GM</p> <p>GC</p> <p>SW</p> <p>SP</p> <p>SM</p> <p>SC</p>	<p>Gravas bien graduadas, mezclas de gravas y arenas con pocos finos o sin ellos.</p> <p>Gravas mal graduadas, mezclas de arenas y gravas con pocos finos o sin ellos.</p> <p>Gravas limosas, mezclas mal graduadas de gravas, arenas y limos.</p> <p>Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de gravas, arenas y arcillas.</p> <p>Arenas bien graduadas, arenas con gravas con pocos finos o sin ellos.</p> <p>Arenas mal graduadas, arenas con gravas con pocos finos o sin ellos.</p> <p>Arenas limosas, mezclas de arenas y limos mal graduadas.</p> <p>Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arenas y arcillas.</p>	<p>Dese el nombre típico, indíquese los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, estado superficial y dureza de los granos gruesos, el nombre local o geológico y cualquier otra información o descripción pertinente y el símbolo entre paréntesis.</p> <p>Para suelos inalterados agréguese información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características del drenaje.</p> <p><b>Ejemplo:</b> Arena limosa con grava, aproximadamente un 20% de partículas de grava angulosa de 1,5cm de tamaño máximo, arena gruesa fina, con partículas redondeadas o subangulosas, al rededor del 15% de finos no plásticos, con baja resistencia en estado seco, compacta y húmeda in situ, arena aluvial (SM).</p>	<p><math>Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}</math> Mayor de 4</p> <p><math>Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}</math> Entre 1 y 3.</p> <p><b>No satisficentodos los requisitos granulométricos del as GW.</b></p> <p>Límite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. menor de 4.</p> <p>Límite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. mayor de 7.</p> <p><math>Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}</math> Mayor de 6.</p> <p><math>Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}</math> Entre 1 y 3.</p> <p><b>No satisficentodos los requisitos granulométricos del as SW.</b></p> <p>Límite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. menor de 4.</p> <p>Límite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. mayor de 7.</p>	
	<p>Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N° 40.</p>	<p>Resistencia en estado seco (al a disgregación).</p> <p>Dilatancia (reacción a la agitación).</p> <p>Tenacidad (consistencia a cercadel L.P.).</p>	<p>ML</p> <p>CL</p> <p>OL</p> <p>MH</p> <p>CH</p> <p>OH</p>	<p>Limos inorgánicos y arenas finas, polvo de oca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad.</p> <p>Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.</p> <p>Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.</p> <p>Limos inorgánicos suelos limosos o arenosos, finos mucáceos o con diatomeas, limos elásticos.</p> <p>Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta.</p>	<p>Dese el nombre típico, indíquese el grado y carácter de la plasticidad, la cantidad y el tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor si lo tuviera, nombre local y geológico y cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.</p> <p>Para suelos inalterados agréguese información sobre la estructura, estratificación, consistencia, tanto en estado inalterado como emoldeado, condiciones de humedad y drenaje.</p> <p><b>Ejemplo:</b> Limo arcilloso, marrón. Ligera mente plásticos, porcentaje reducido de arena fina, numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco in situ (ML).</p>	<p>Utilice la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo indicadas en la columna de identificación de campo.</p> <p>Determine la percentaje de grava y arena a partir de la curva granulométrica. Señale el porcentaje de finos que pasa por el tamiz N° 200) en sus resultados y clasifícalos con sus símbolos: GW, GP, SW, SP, GM, GC, SM, SC.</p> <p>Construya el límite que requiere en el empleo de símbolo de labior.</p>
	<p>Limar y arcillar con Límite Líquido mayor de 50.</p>	<p>Nula a ligera.</p> <p>Media a alta.</p> <p>Ligera a media.</p> <p>Ligera a media.</p> <p>Alta a muy alta.</p> <p>Media a alta.</p>	<p>Rápida o lenta.</p> <p>Nula a muy lenta.</p> <p>Lenta.</p> <p>Lenta a nula.</p> <p>Nula.</p> <p>Nula a muy lenta.</p>	<p>Nula.</p> <p>Media.</p> <p>Ligera.</p> <p>Ligera a media.</p> <p>Alta.</p> <p>Ligera a media.</p>	<p>CL</p> <p>CH</p> <p>OH</p> <p>OH</p> <p>MH</p> <p>OH</p>	<p>Límite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. menor de 4.</p> <p>Límite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. mayor de 7.</p> <p><b>Por encima de la línea "A" con L.P. entre 4 y 7 casos límites que requieren el empleo de símbolos dobles.</b></p>
	<p>Suelos altamente orgánicos.</p>	<p>Fácilmente identificables por: color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura porosa.</p>	<p>Turba y otros suelos altamente orgánicos.</p>	<p>Turba y otros suelos altamente orgánicos.</p>	<p>Ejemplo: Limo arcilloso, marrón. Ligera mente plásticos, porcentaje reducido de arena fina, numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco in situ (ML).</p>	<p><b>Gráfico de plasticidad para la clasificación en el laboratorio de suelos de grano fino.</b></p>



## 1 metro

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>	39,66	39,66	39,83	60,17
<b>10</b>	18,47	58,13	58,38	41,62
<b>40</b>	18,53	76,66	76,98	23,02
<b>200</b>	22	98,66	99,08	0,92
total pasa No. 200	0,92	99,58	100	0,00
total	99,58			

peso inicial = 151,92

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-5</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS

## 2 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>	8,77	8,77	25,34	74,66
<b>10</b>	5,86	14,63	42,27	57,73
<b>40</b>	9,06	23,69	68,45	31,55
<b>200</b>	10,62	34,31	99,13	0,87
total pasa No. 200	0,3	34,61	100,00	0,00
total	34,61			

peso inicial = 151,62

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS

### 3 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,12	0,12	0,54	99,46
<b>40</b>	0,91	1,03	4,66	95,34
<b>200</b>	20,6	21,63	97,78	2,22
total pasa No. 200	0,49	22,12	100,00	0,00
total	22,12			

peso inicial = 182,65

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-7</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS

### 4 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,3	0,3	7,59	92,41
<b>40</b>	0,82	1,12	28,35	71,65
<b>200</b>	2,73	3,85	97,47	2,53
total pasa No. 200	0,1	3,95	100,00	0,00
total	3,95			

peso inicial = 157,78

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-7</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS



## 5 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>	0,11	0,11	2,60	97,40
<b>10</b>	0,11	0,22	5,20	94,80
<b>40</b>	1,39	1,61	38,06	61,94
<b>200</b>	2,25	3,86	91,25	8,75
total pasa No. 200	0,37	4,23	100,00	0,00
total	4,23			

peso inicial = 150,68

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-7</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS

## 6 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,34	0,34	9,12	90,88
<b>40</b>	1,51	1,85	49,60	50,40
<b>200</b>	1,63	3,48	93,30	6,70
total pasa No. 200	0,25	3,73	100,00	0,00
total	3,73			

peso inicial = 153,80

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-7</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de alta Plasticidad		<b>CH</b>	SUSCS

## 7 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	11,39	11,39	20,45	79,55
<b>40</b>	8,93	20,32	36,49	63,51
<b>200</b>	30,47	50,79	91,20	8,80
total pasa No. 200	4,9	55,69	100,00	0,00
total	55,69			

peso inicial = 151,51

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-7</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de alta Plasticidad		<b>CH</b>	SUSCS

## 8 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,05	0,05	0,18	99,82
<b>40</b>	2,49	2,54	9,38	90,62
<b>200</b>	23,19	25,73	95,05	4,95
total pasa No. 200	1,34	27,07	100,00	0,00
total	27,07			

peso inicial = 153,11

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS

## 9 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,6	0,6	1,38	98,62
<b>40</b>	1,94	2,54	5,85	94,15
<b>200</b>	40,35	42,89	98,78	1,22
total pasa No. 200	0,53	43,42	100,00	0,00
total	43,42			

peso inicial = 157,28

Grava y arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS

## 10 metros

GRANULOMETRÍA SERIE FINA				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	1,06	1,06	1,88	98,12
<b>40</b>	4,15	5,21	9,22	90,78
<b>200</b>	49,55	54,76	96,89	3,11
total pasa No. 200	1,76	56,52	100,00	0,00
total	56,52			

peso inicial = 161,68

Grava y arena arcillosa o limosa	Excelente a bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS

LIMITE DE CONTRACCION

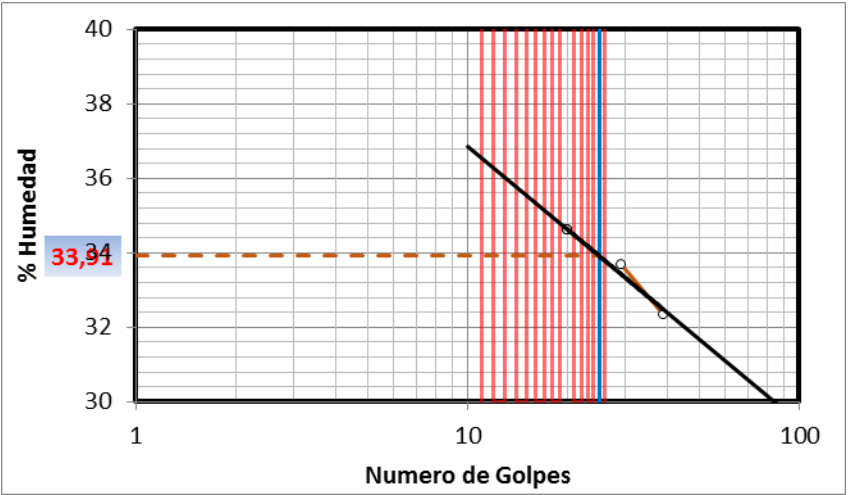
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 1 SPT (m9)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	14	E	45
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	27,17	28,22	29,76
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	24,68	25,58	26,60
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2,49	2,64	3,16
MASA DE RECIPIENTE (P4)	16,98	17,74	17,47
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	7,70	7,84	9,13
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	32,34	33,67	34,61
# DE GOLPES	39	29	20

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	9	72	11
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	12,54	11,98	22,15
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	11,34	10,88	21,08
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	1,20	1,10	1,07
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6,65	6,60	16,96
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	4,69	4,28	4,12
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	25,59	25,70	25,97



**Observaciones :**  
 Normas de Referencia  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	33,91
L. Plástico =	25,75
I. Plasticidad =	8,16

LIMITE DE CONTRACCION							
		1	2	V			
	NOMBRE DE CAPSULA				Vol. De cap (cm3)	16,47	17,09
A	P. de la Cap. (g)	20,70	18,60	F	P. del mercurio (g)	163,00	168,69
B	Caps + Suelo Hum (g)	50,23	52,88	Vo = F / 13,55	Vol. Del suelo seco (cm3)	12,03	12,45
C	Caps + Suelo Sec (g)	43,14	45,38	U = $\frac{V - V_o}{D} \times 100$			
D=C - A	P. del Suelo seco (g)	22,44	26,78			19,78	17,33
E = B - C	Peso del agua (g)	7,09	7,5	Lc = W - U	L. de Contraccion (%)	11,82	10,67
W = E/D x100	C. De Hum(g)	31,60	28,01	Rc = D / Vo	Raz. de Contraccion (%)	1,87	2,15
				Ic= LL - Lc	Indice de Contracción Ic (%)	13,93	15,08

## Licuefacción

Calculo de Licuefaccion			
Magnitud del Sismo =	7,8	Nivel del napa w =	1,9
seudo de aceleracion a/g =	0,5	Densidad sat =	14,7
Energia del SPT% =	0,9	Densidad humeda =	19,2
		Gravedad	9,8
		Densidad del agua=	10

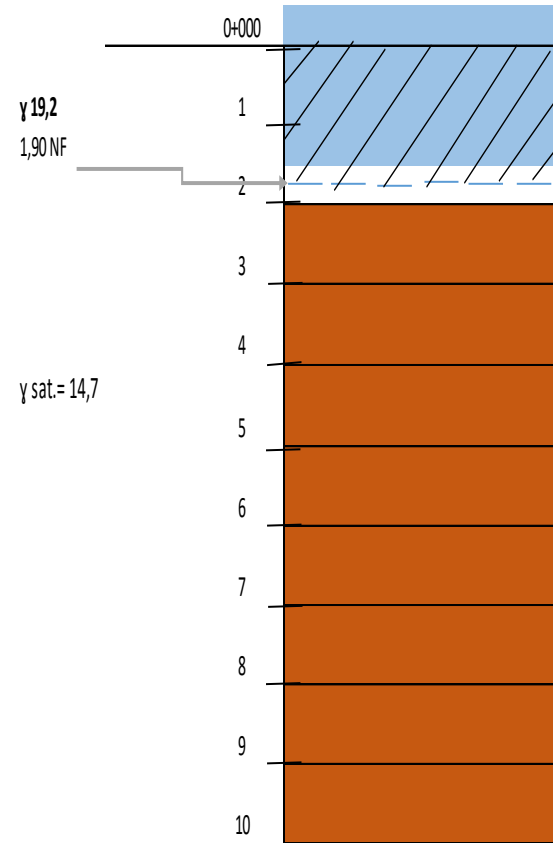
ESFUERZO VERTICAL =	$\sigma_v$
ESFUERZO VERTICAL EFECTIVO =	$\sigma_v'$
FACTOR DE CORRECCION AL NSPT	CN
NSPT CORREGIDO	$N_1/60$
NSPT CORREGIDO CON CONTENIDO DE FINOS PASANTE DEL TAMIZ 200	$(N_1)60CF$
FACTOR DE CORRECCION POR PROFUNDIDAD	rd
FACTOR DE ESCALA DE MAGNITUD	MSF
RELACION DE TENSIONES CICLICAS	CSR
RELACION DE RESISTENCIA CICLICA	CRR
RELACION DE RESISTENCIA CICLICA DEVIDO AL SISMO	CRRM
RELACION DE TENSIONES CICLICAS DEVIDO AL SISMO	CRRM
MAG. DE CORRECCION DEL SISMO	KM
FACTOR DE CORRECCION POR TENSIONES DE CORTE	K $\alpha$
FACTOR DE SEGURIDAD	Fs

Profundidad m	Contenido de finos %	Tipos de suelos CU	N	$\sigma_v$	u	$\sigma_v'$	CN	C <sub>60</sub>	$(N_1)60$	$\Delta(N_1)60$	$(N_1)60CF$	Dr %	$\alpha(z)$	$\beta(z)$	rd	MSF	CSR	KM	K $\alpha$	C $\theta \leq 0,3$	K $\theta \leq 1$	CRR7.5	CRRM	Fs	Aplicable
1	0,92	CL	8	19,2	0	19,2	2,2342516	-	12	6E-122	0	-	-0,03	0,00	1,00	0,92	0,35	0,95	1,00	0,10	0,94	0,06	0,05	0,1543	No
2	0,3	CL	8	36,48	19	17,48	2,34159605	-	12	0E+00	12,0	28	-0,08	0,01	0,99	0,92	0,07	0,95	1,00	0,10	0,94	0,13	0,12	1,6045	No
3	0,49	CL	4	71,85	30	41,85	1,5133346	-	6	0E+00	6,0	15	-0,13	0,02	0,99	0,92	0,60	0,95	1,00	0,08	0,89	0,09	0,08	0,1308	Si
4	0,1	CL	2	86,55	40	46,55	1,43490401	-	3	0E+00	3,00	7	-0,20	0,02	0,98	0,92	0,64	0,95	1,00	0,07	0,89	0,08	0,06	0,1002	Si
5	0,37	CL	10	101,25	50	51,25	1,36752652	-	15	0E+00	15,00	35	-0,27	0,03	0,97	0,92	0,67	0,95	1,00	0,11	0,82	0,16	0,12	0,1811	Si
6	0,25	CH	7	115,95	60	55,95	1,30882821	-	10,5	0E+00	10,50	25	-0,34	0,04	0,96	0,92	0,70	0,95	1,00	0,09	0,84	0,12	0,10	0,139	Si
7	4,9	CH	15	130,65	70	60,65	1,25709266	-	22,5	1E-03	22,50	35	-0,42	0,05	0,95	0,92	0,72	0,95	1,00	0,15	0,74	0,24	0,17	0,2349	Si
8	1,34	CL	9	145,35	80	65,35	1,21104393	-	13,5	2E-56	13,5	35	-0,50	0,06	0,94	0,92	0,74	0,95	1,00	0,10	0,80	0,14	0,11	0,1501	Si
9	0,53	CL	18	160,05	90	70,05	1,16971113	-	27	0E+00	27,00	40	-0,59	0,07	0,93	0,92	0,75	0,95	1,00	0,18	0,66	0,35	0,22	0,2906	Si
10	1,76	CL	21	174,75	100	74,75	1,13234064	-	31,5	3E-32	31,5	46	-0,68	0,08	0,92	0,92	0,75	0,95	1,00	0,22	0,56	0,60	0,32	0,4245	Si

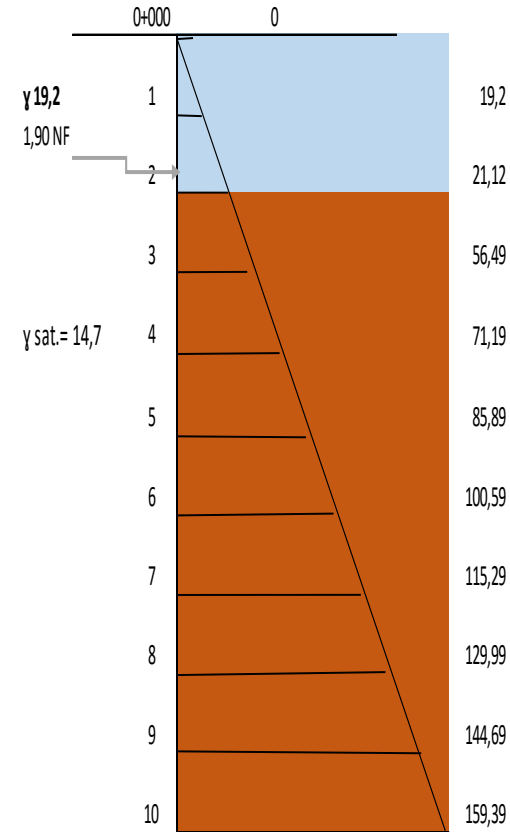
	Densidades		
	Natural	Saturada	Agua
1,00 m	14,5	19,2	1
2,00 m	14,5	19,2	1
3,00 m	12,2	17,76	1
4,00 m	10,8	13,4	1
5,00 m	14,5	18,9	1
6,00 m	1,47	19,2	1
7,00 m	14,5	18,9	1
8,00 m	14,5	18,9	1
9,00 m	16,1	20,1	1
10,00 m	16,1	20,1	1

# DE GOLPE		CARACTERISTICA DEL SUELO
menos de	2	MUY BLANDA
2	4	BLANDA
4	8	MEDIA
8	15	FIRME
15	30	MUY FIRME
mas de	30	DURA

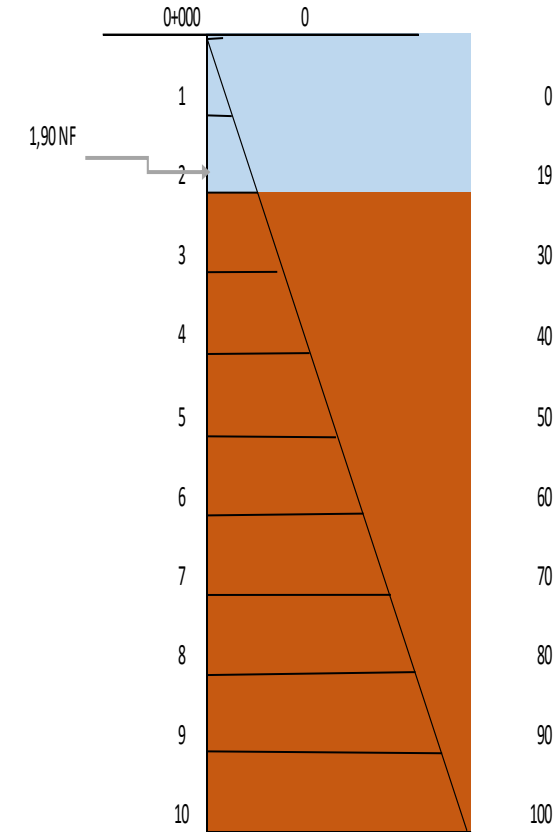
$$\sigma_v - u = \sigma_v'$$



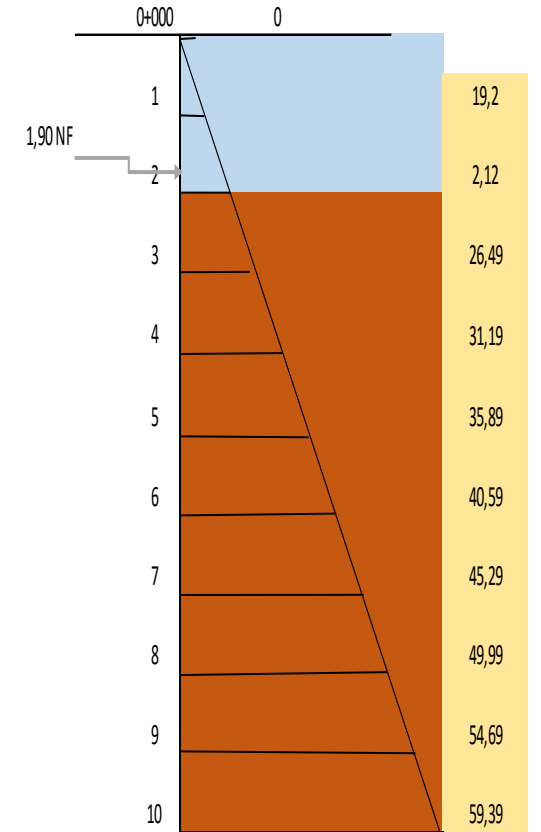
YYY



1)  $\sigma_v = Z \times \gamma$   
 2)  $\sigma_v = Z \times \gamma_{sat}$



$$u = Z \times \gamma_{H2O}$$



$$\sigma_v' = \sigma_v - u$$

## SONDEO 2

ABCISA: 1°3'37.86"S 80°27'30.63"O

### Humedad Natural

#### HUMEDAD NATURAL

	1M	2M	3M	4M	5M	6M	7M	8M	9M	10M
NOMBRE O NUMERO DE LA TARA	CI	PL	AB	PR	T	Y	M	E	1AB	SS
PESO DE LA TARA (A)	18,15	18,46	18,66	18,39	18,71	18,59	18,21	18,28	18,56	18,66
PESO DE LA TARA + SUELO HÚMEDO (B)	64,3	88,55	81,55	86,98	85,13	85,65	85,79	86,11	80,52	84,6
PESO DE LA TARA + SUELO SECO ©	57,76	69,32	66,09	70,78	69,1	70,05	69,58	71,17	68,49	73,22
PESO DEL AGUA (D= B-C)	6,54	19,23	15,46	16,2	16,03	15,6	16,21	14,94	12,03	11,38
PESO DEL SUELO SECO (€= C-A)	39,61	50,86	47,43	52,39	50,39	51,46	51,37	52,89	49,93	54,56
CONTENIDO DE HUMEDAD W% (F=D/E*100)	16,51	37,81	32,60	30,92	31,81	30,31	31,56	28,25	24,09	20,86
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO W%	16,51	37,81	32,60	30,92	31,81	30,31	31,56	28,25	24,09	20,86

**LIMITES DE ATTERBERG**

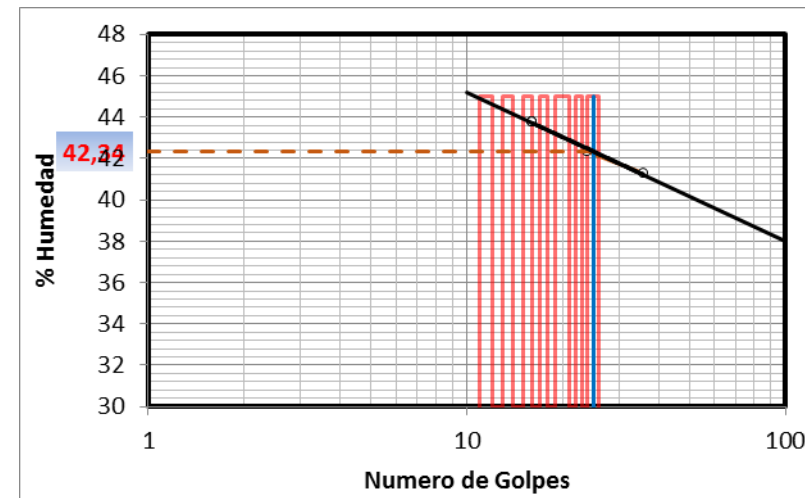
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 2 SPT (m2)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'37.86"S80°27'30.63"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	B2	E2	IX
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	29,43	30,20	29,13
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	26,17	26,69	25,95
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	3,26	3,51	3,18
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,27	18,40	18,68
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	7,90	8,29	7,27
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	41,27	42,34	43,74
# DE GOLPES	36	24	16

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	CN	PA	XX
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	12,33	11,98	13,25
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	11,54	11,16	12,53
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,79	0,82	0,72
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	8,68	8,11	9,71
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	2,86	3,05	2,82
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	27,62	26,89	25,53



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	42,34
L. Plástico =	26,68
I. Plasticidad =	15,66



**LIMITES DE ATTERBERG**

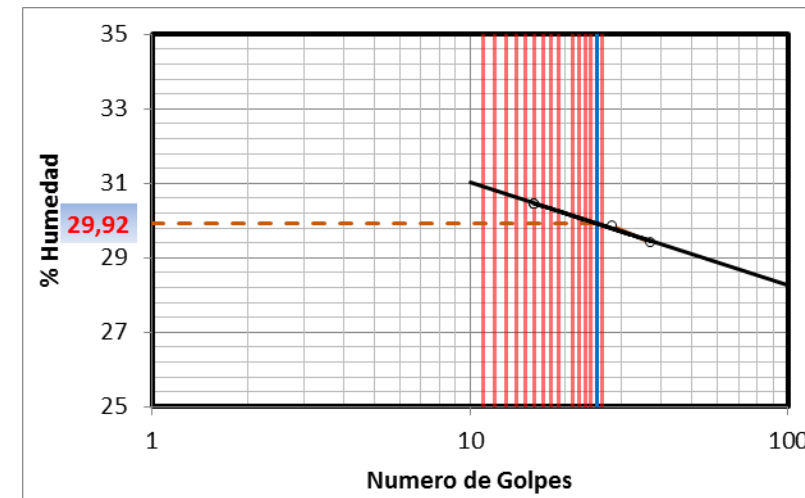
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 2 SPT (m3)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'37.86"S80°27'30.63"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	KJ	NA	AB
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	33,80	31,65	33,23
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	30,32	28,67	29,85
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	3,48	2,98	3,38
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,48	18,69	18,75
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	11,84	9,98	11,10
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	29,39	29,86	30,45
# DE GOLPES	37	28	16

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	CN	TA	XX
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	11,90	12,43	12,81
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	11,42	11,80	12,11
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,48	0,63	0,70
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	8,92	8,55	8,70
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	2,50	3,25	3,41
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	19,20	19,38	20,53



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	29,92
L. Plástico =	19,7
I. Plasticidad =	10,22

**LIMITES DE ATTERBERG**

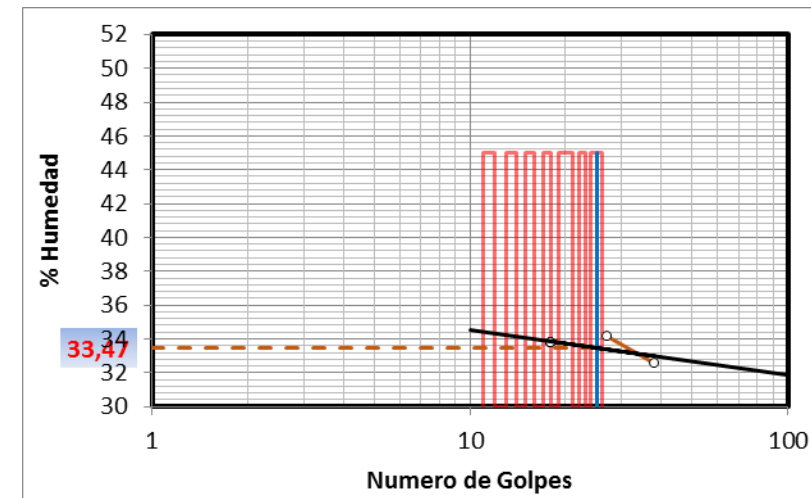
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 2 SPT (m4)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'37.86"S80°27'30.63"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	PL	AF	ATI
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	30,68	32,46	31,96
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	30,70	28,93	28,45
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	3,98	3,53	3,51
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,48	18,59	18,06
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	12,22	10,34	10,39
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	32,57	34,14	33,78
# DE GOLPES	38	27	18

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	DBZ	AT	DB
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	22,27	22,82	23,40
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	21,62	22,03	22,48
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,65	0,79	0,92
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,70	18,55	18,71
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	2,92	3,48	3,77
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	22,26	22,70	24,40



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	<b>33,47</b>
L. Plástico =	23,12
I. Plasticidad =	10,35

**LIMITES DE ATTERBERG**

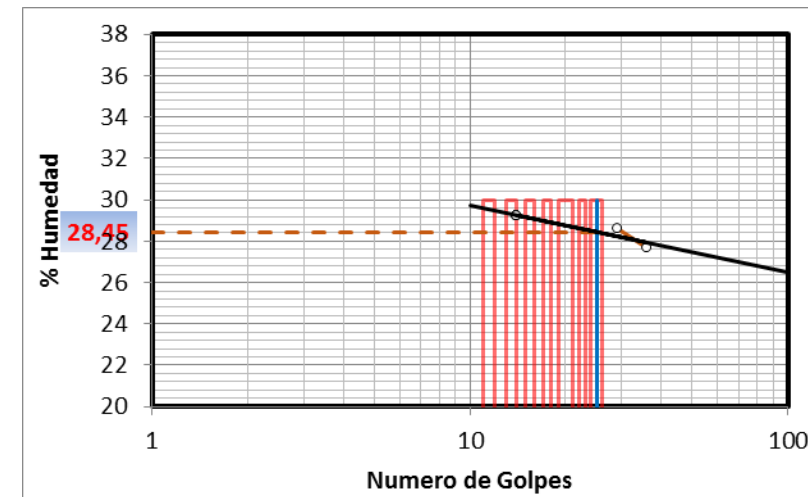
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 2 SPT (m5)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'37.86"S80°27'30.63"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	MK	XO	CI
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	33,03	34,61	33,13
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	29,82	30,98	29,75
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	3,21	3,63	3,38
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,22	18,28	18,19
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	11,60	12,70	11,56
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	27,67	28,58	29,24
# DE GOLPES	36	29	14

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	EZ	CK	Y
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	25,18	24,97	26,10
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	23,94	23,75	24,97
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	1,24	1,22	1,13
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,63	18,39	18,45
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	5,31	5,36	6,52
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	23,35	22,76	17,33



**Observaciones :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	28,45
L. Plástico =	21,15
I. Plasticidad =	7,3

**LIMITES DE ATTERBERG**

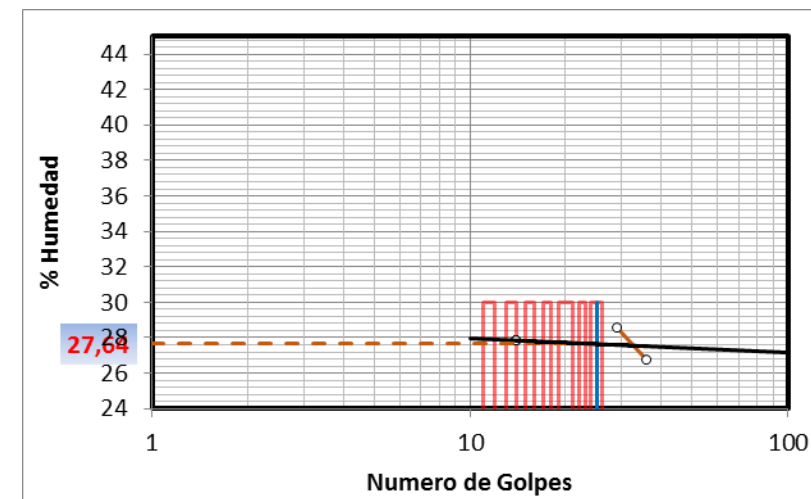
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 2 SPT (m7)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'37.86"S80°27'30.63"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	OQ	JO	AA
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	33,96	33,38	34,67
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	30,66	30,10	31,25
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	3,30	3,28	3,42
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,33	18,62	18,94
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	12,33	11,48	12,31
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	26,76	28,57	27,78
# DE GOLPES	36	29	14

**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	XXX	SS	IAB
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	37,12	24,17	23,07
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	36,13	23,10	22,21
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,99	1,07	0,86
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	32,00	18,64	18,60
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	4,13	4,46	3,61
% DE HUMEDAD ( $W = P3 \times 100 \div P5$ )	23,97	23,99	23,82



**Observaciones :**  
Normas de Referencia  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

<b>L. Líquido =</b>	<b>27,64</b>
L. Plástico =	23,93
I. Plasticidad =	3,71

## Granulometría

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (1M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0	0	0,00	100,00
10	4,86	4,86	5,67	94,33
40	6,07	10,93	12,75	87,25
200	72,13	83,06	96,92	3,08
total pasa No. 200	2,64	85,7	100	0,00
total	85,7			

peso inicial = 151,63

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-5</b>	AASHTO
Arena Limosa de baja plasticidad		<b>ML</b>	SUSCS

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (2M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0	0	0,00	100,00
10	0,79	0,79	2,43	97,57
40	4	4,79	14,72	85,28
200	24,84	29,63	91,06	8,94
total pasa No. 200	2,91	32,54	100	0,00
total	32,54			

peso inicial = 151,03

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-7</b>	AASHTO
Limo orgánico y arcilla limosa orgánicas de baja plasticidad		<b>OL</b>	SUSCS

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (3M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0	0	0,00	100,00
10	0,25	0,25	0,41	99,59
40	0,76	1,01	1,65	98,35
200	57,02	58,03	95,05	4,95
total pasa No. 200	3,02	61,05	100	0,00
total	61,05			

peso inicial = 157,84

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-6</b>	AASHTO
Arcilla Inorgánica de mediana Plasticidad		<b>CL</b>	SUSCS

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (4M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0	0	0,00	100,00
10	0,19	0,19	0,34	99,66
40	0,70	0,89	1,60	98,40
200	52,99	53,88	97,06	2,94
total pasa No. 200	1,63	55,51	100	0,00
total	55,51			

peso inicial = 150,71

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-6</b>	AASHTO
Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de rocas		<b>ML</b>	SUSCS

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (5M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0	0	0,00	100,00
10	0,16	0,16	0,34	99,66
40	1,21	1,37	2,89	97,11
200	45,03	46,4	97,79	2,21
total pasa No. 200	1,05	47,45	100	0,00
total	47,45			

peso inicial = 155,95

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de rocas		<b>ML</b>	SUSCS

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (6M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0	0	0,00	100,00
10	2,17	2,17	3,53	96,47
40	7,27	9,44	15,37	84,63
200	48,77	58,21	94,76	5,24
total pasa No. 200	3,22	61,43	100	0,00
total	61,43			

peso inicial = 154,40

Arena fina	Excelente o bueno	<b>A-3</b>	AASHTO
Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de rocas		<b>ML</b>	SUSCS

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (7M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0,00	0	0,00	100,00
10	0,27	0,27	0,45	99,55
40	0,70	0,97	1,62	98,38
200	57,12	58,09	96,82	3,18
total pasa No. 200	1,91	60	100	0,00
total	60,00			

peso inicial = 152,89

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de rocas		<b>ML</b>	SUSCS

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (8M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0,00	0	0,00	100,00
10	0,12	0,12	0,23	99,77
40	1,24	1,36	2,57	97,43
200	50,94	52,3	98,75	1,25
total pasa No. 200	0,66	52,96	100	0,00
total	52,96			

peso inicial = 150,53

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-5</b>	AASHTO
Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de rocas		<b>ML</b>	SUSCS



<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (9M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0,00	0	0,00	100,00
10	0,09	0,09	0,10	99,90
40	1,87	1,96	2,11	97,89
200	90,00	91,96	99,07	0,93
total pasa No. 200	0,86	92,82	100	0,00
total	92,82			

peso inicial = 154,60

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-5</b>	AASHTO
Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de rocas		<b>ML</b>	SUSCS

<b>GRANULOMETRÍA SERIE FINA (10M)</b>				
Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
No. 4	0,00	0	0,00	100,00
10	0,49	0,49	0,48	99,52
40	16,74	17,23	16,97	83,03
200	83,51	100,74	99,24	0,76
total pasa No. 200	0,77	101,51	100	0,00
total	101,51			

peso inicial = 155,32

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-5</b>	AASHTO
Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de rocas		<b>ML</b>	SUSCS

## Límites de contracción

### LIMITE DE CONTRACCION

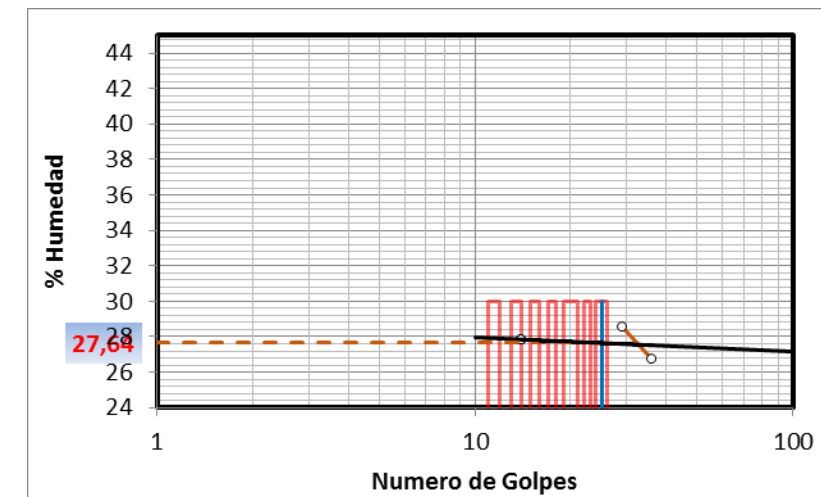
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SONDEO 2 SPT (m7)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE FAUSTO VELEZ  
**COORDENADAS:** 1°3'37.86"S80°27'30.63"O

### LIMITE LÍQUIDO

RECIPIENTE #	OQ	JO	AA
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	33,96	33,38	34,67
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	30,66	30,10	31,25
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	3,30	3,28	3,42
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	18,33	18,62	18,94
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	12,33	11,48	12,31
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	26,76	28,57	27,78
# DE GOLPES	36	29	14

### LIMITE PLÁSTICO

RECIPIENTE #	XXX	SS	IAB
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	37,12	24,17	23,07
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	36,13	23,10	22,21
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,99	1,07	0,86
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	32,00	18,64	18,60
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	4,13	4,46	3,61
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	23,97	23,99	23,82



**Observaciones :**  
Normas de Referencia  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

L. Líquido =	27,64
L. Plástico =	23,93
I. Plasticidad =	3,71

### LIMITE DE CONTRACCION

NOMBRE DE CAPSULA		1	2	V	Vol. De cap (cm3)	16,47	17,09
A	P. de la Cap. (g)	19,62	20,48	F	P. del mercurio (g)	163,00	168,69
B	Caps + Suelo Hum (g)	51,36	50,08	Vo = F / 13,55	Vol. Del suelo seco (cm3)	12,03	12,45
C	Caps + Suelo Sec (g)	45,38	43,14	U = $\frac{V - Vo}{D} \times 100$	L. de Contraccion (%)	17,23	20,49
D=C - A	P. del Suelo seco (g)	25,76	22,66				
E = B - C	Peso del agua (g)	5,98	6,94	Lc = W - U	Raz. de Contraccion (%)	5,98	10,14
W = E/D x100	C. De Hum(g)	23,21	30,63	Rc = D / Vo	Indice de Contracción Ic (%)	2,14	1,82
				Ic= LL - Lc		17,95	13,79

## LICUEFACCION DEL SUELO

Calculo de Licuefaccion			
Magnitud del Sismo =	7,8	Nivel del napa w =	2,6
seudo de aceleracion a/g =	0,5	Densidad sat =	13,87
Energia del SPT% =	0,95	Densidad humeda =	19,46
		Gravedad	9,8
		Densidad del agua=	10

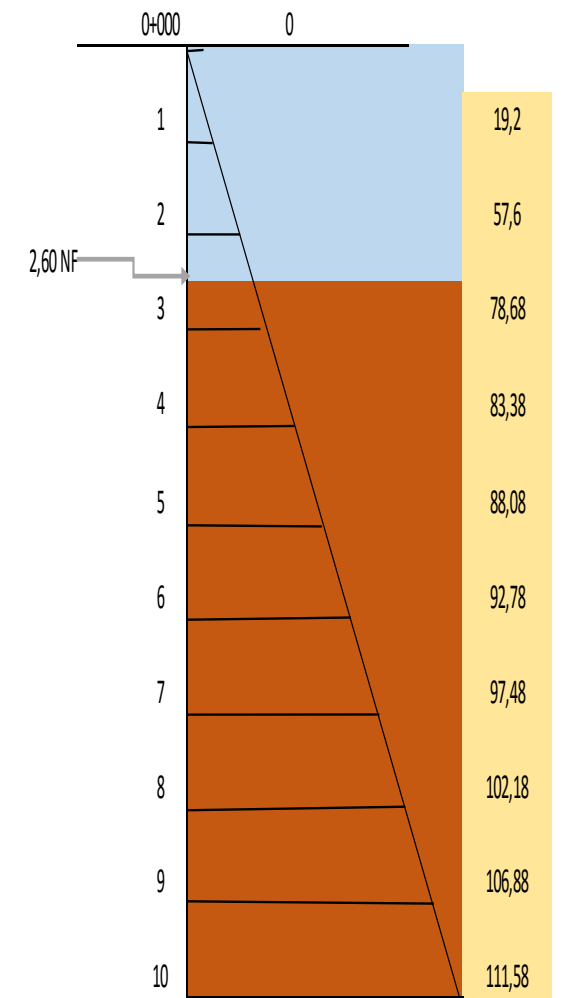
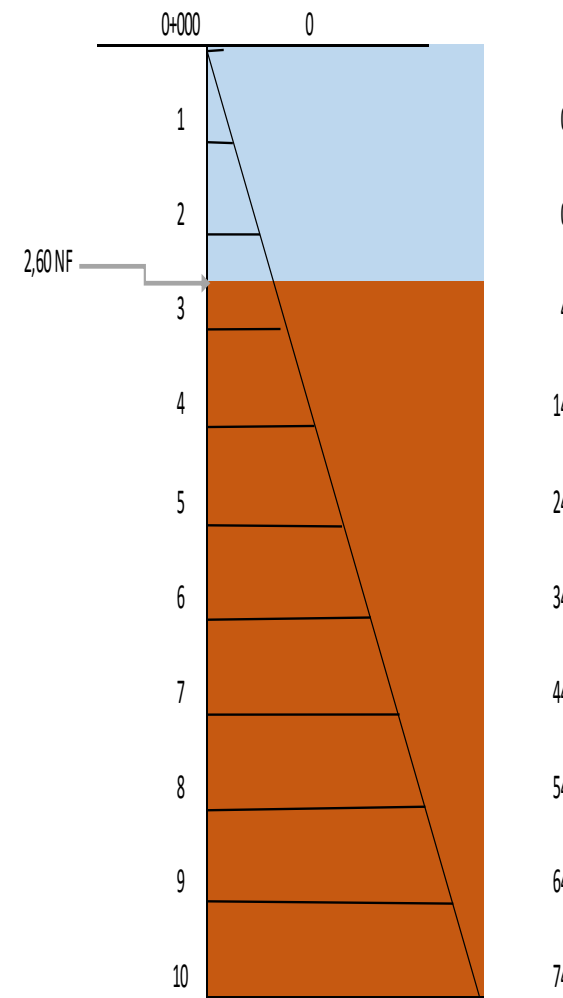
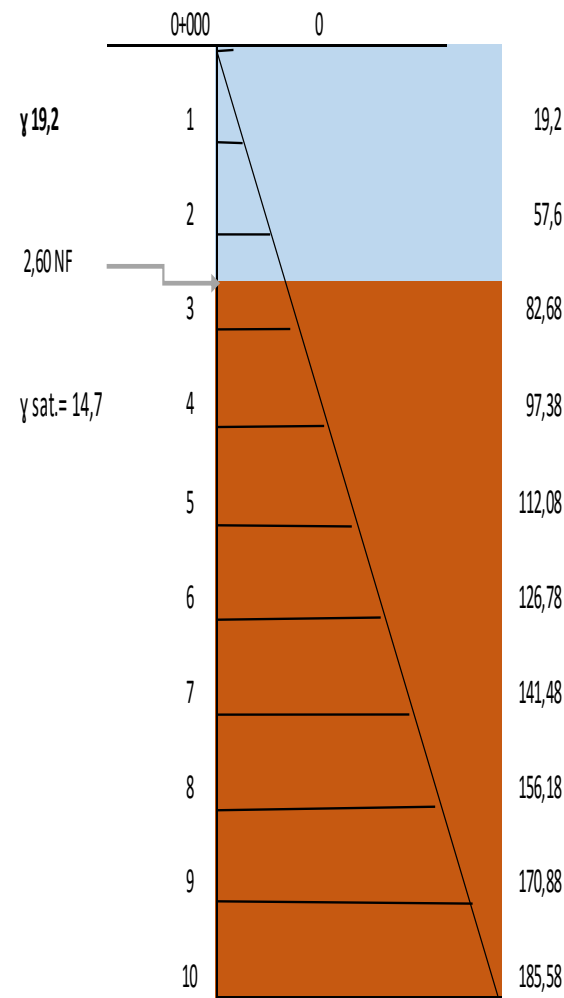
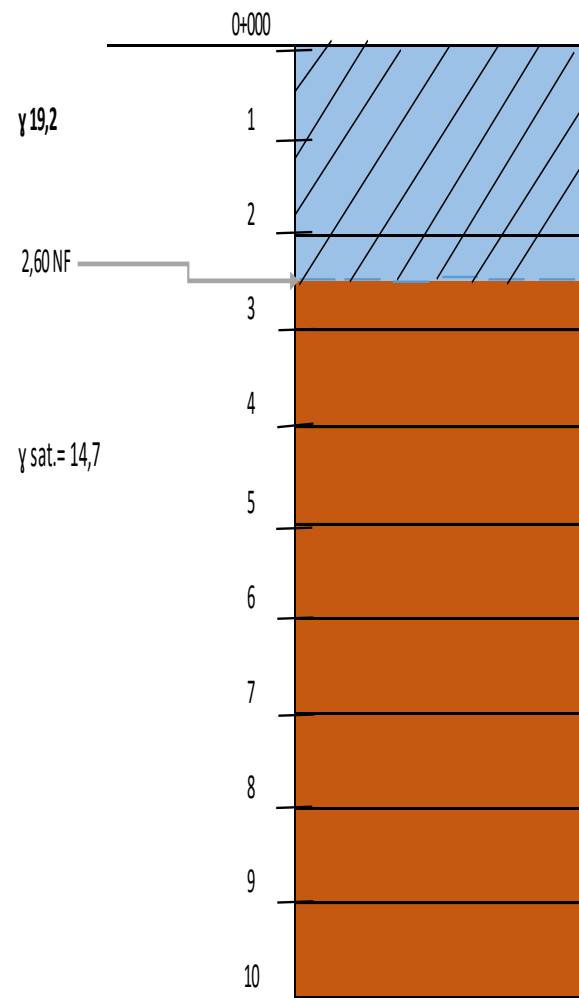
ESFUERZO VERTICAL =	$\sigma_v$
ESFUERZO VERTICAL EFECTIVO =	$\sigma_v'$
FACTOR DE CORRECCION AL NSPT	CN
NSPT CORREGIDO	$(N_1)_{60}$
NSPT CORREGIDO CON CONTENIDO DE FINOS PASANTE DEL TAMIZ 200	$(N_1)_{60CF}$
FACTOR DE CORRECCION POR PROFUNDIDAD	rd
FACTOR DE ESCALA DE MAGNITUD	MSF
RELACION DE TENSIONES CICLICAS	CSR
RELACION DE RESISTENCIA CICLICA	CRR
RELACION DE RESISTENCIA CICLICA DEVIDO AL SISMO	CRRM
RELACION DE TENSIONES CICLICAS DEVIDO AL SISMO	CRRM
MAG. DE CORRECCION DEL SISMO	KM
FACTOR DE CORRECCION POR TENSIONES DE CORTE	$K\alpha$
FACTOR DE SEGURIDAD	Fs

Profundidad m	Contenido de finos %	Tipos de suelos CU	N	$\sigma_v$	u	$\sigma_v'$	CN	$C_{60}$	$(N_1)_{60}$	$\Delta(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60CF}$	Dr %	$\alpha(z)$	$\beta(z)$	rd	MSF	CSR	KM	$K\alpha$	$C\theta \leq 0,3$	$K\theta \leq 1$	CRR7.5	CRRM	Fs	Aplicable
1	2,64	ML	7	19,45714286	0	19,4571429	2,21943872	-	11,08	9E-14	1E+01	-	-0,03	0,00	1,00	0,92	0,35	0,95	1,00	0,10	0,94	0,13	0,11	0,3194	No
2	2,91	OL	4	58,37142857	0	58,3714286	1,28139354	-	6,33	3E-11	6,3	28	-0,08	0,01	0,99	0,92	0,35	0,95	1,00	0,08	0,86	0,09	0,08	0,2206	No
3	3,02	CL	7	83,3752381	4	79,3752381	1,09885445	-	11,08	2E-10	11,1	15	-0,13	0,02	0,99	0,92	0,36	0,95	1,00	0,10	0,80	0,13	0,10	0,2638	NO
4	1,63	ML	5	97,24190476	14	83,2419048	1,07302956	-	7,92	1E-37	7,92	7	-0,20	0,02	0,98	0,92	0,40	0,95	1,00	0,09	0,82	0,10	0,08	0,2024	Si
5	1,05	ML	9	111,1085714	24	87,1085714	1,04894386	-	14,25	4E-93	14,25	35	-0,27	0,03	0,97	0,92	0,44	0,95	1,00	0,11	0,77	0,15	0,11	0,2522	Si
6	3,22	ML	13	124,9752381	34	90,9752381	1,02641051	-	20,58	5E-09	20,58	25	-0,34	0,04	0,96	0,92	0,46	0,95	1,00	0,14	0,70	0,21	0,14	0,3065	Si
7	1,91	ML	12	138,8419048	44	94,8419048	1,00526962	-	19,00	4E-27	19,00	35	-0,42	0,05	0,95	0,92	0,49	0,95	1,00	0,13	0,71	0,19	0,13	0,2695	Si
8	0,66	ML	19	152,7085714	54	98,7085714	0,98538344	-	30,08	2E-239	30,0833	35	-0,50	0,06	0,94	0,92	0,51	0,95	1,00	0,20	0,53	0,49	0,25	0,4888	Si
9	0,86	ML	21	166,5752381	64	102,575238	0,96663257	-	33,25	7E-140	33,25	40	-0,59	0,07	0,93	0,92	0,53	0,95	1,00	0,24	0,45	0,79	0,34	0,6352	Si
10	0,77	ML	23	180,4419048	74	106,441905	0,94891295	-	36,42	4E-175	36,4167	46	-0,68	0,08	0,92	0,92	0,55	0,95	1,00	0,28	0,33	1,52	0,47	0,8656	Si

	Densidades		
	Natural	Saturada	Agua
1,00 m	14,7	19,2	1
2,00 m	12,2	17,76	1
3,00 m	14,7	19,2	1
4,00 m	14,7	19,2	1
5,00 m	14,5	18,9	1
6,00 m	14,5	18,9	1
7,00 m	14,5	18,9	1
8,00 m	16,1	20,1	1
9,00 m	16,1	20,1	1
10,00 m	16,1	20,1	1

# DE GOLPE	CARACTERISTICA
menos de 2	MUY BLANDA
2	BLANDA
4	MEDIA
8	FIRME
15	MUY FIRME
mas de 30	DURA

$$\sigma_v \quad \boxed{\quad - \quad} \quad u \quad \boxed{\quad = \quad} \quad \sigma_v'$$



- 1)  $\sigma_v = Z \times \gamma$
- 2)  $\sigma_v = Z \times \gamma_{sat}$

$$u = Z \times \gamma_{H_2O}$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - u$$

## 16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 16.1 Conclusiones

- El análisis de la licuefacción del suelo producido por el nivel freático en el sector del puente Velasco Ibarra en la ciudad de Portoviejo nos permite concluir que existe un alto riesgo de licuefacción en la zona, debido a que el tipo de suelo presente en la misma es en alto porcentaje de suelo arenoso y como consecuencia debido a esta característica de suelo que se presenta este fenómeno natural de licuefacción es más propenso a ocurrir ya que un suelo arenoso al momento de actuar una sollicitación sísmica tienden a disminuir su volumen, lo cual produce un aumento de presión de agua en los poros y sus partículas pierden en su totalidad su resistencia al corte de un suelo arenoso.
- Al realizar los diferentes tipos de ensayo de suelo como: SPT, entre otros, pudimos concluir que efectivamente el efecto de licuefacción va a existir ya que en la mayoría de los estratos es grava-limo arenosa de mediana plasticidad con un límite de contracción medio alto al nivel donde está asentada aproximadamente la estructura, debido a que esta característica de suelo es más susceptible este fenómeno.
- Se pudo determinar que la licuefacción del suelo producida por el nivel freático es el principal factor de daños estructurales, especialmente si se encuentran cerca de cuerpos de agua y tiene como estructura mineral el suelo componentes arenosos, la licuefacción es tratable con medidas más agresivas al momento de realizar el cambio oportuno de suelo más que nada en estas zonas.

## 16.2 Recomendaciones

- Debido a que el análisis de la licuefacción del suelo producido por el nivel freático en el sector del puente Velasco Ibarra en la ciudad de Portoviejo determinó que existe un alto riesgo de licuefacción en la zona, para esto se debe incluir parámetros más conservadores al momento de considerar los cambios de suelo.
- Se recomienda exigir en las normas municipales el debido estudio de riesgo de licuefacción como medida preventiva en todas las zonas, ya que cada tipo de suelo presenta características diversas que se comportaran de forma diferente al momento de ocurrir una sollicitación sísmica.
- Aplicar medidas de contención para disipar los efectos de la licuefacción en esta zona como: muros de gravedad, pilotajes, inyección de hormigones en el suelo y demás metodologías modernas que ayuden a mejorar la capacidad de carga de suelo y los efectos de licuefacción.

## 17. GLOSARIO

**Acantilado:** Es un accidente geográfico que consiste en una pendiente o vertical abrupta.

**Aceleración:** Es una magnitud vectorial que nos indica el cambio de velocidad por unidad de tiempo.

**Aluviales:** Es un material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua.

**Arcilla:** Es un suelo o roca sedimentaria constituido por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

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

**Basamento:** Corteza terrestre situada por debajo de los depósitos sedimentarios.

**Cherts:** Es una roca sedimentaria rica en sílice de grano fino microcristalina, criptocristalina o microfibrosa que pueden contener pequeños fósiles. Tiene gran variedad de color (desde el blanco al negro), pero más a menudo se manifiesta en gris, verde claro, marrón, marrón grisáceo y rojo oxidado, su color es una expresión de las trazas de elementos presentes en la roca, y el rojo y el verde son los que más a menudo se relacionan con trazas de hierro.

**Cíclicas:** Que se repiten con cierto período de tiempo.

**Cohesivos:** Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí, o la materia de que están formadas.

**Clay Pebble Beds:** Capa de arcilla y gravilla.

**Disipar:** Esparcir o hacer desaparecer de la vista poco a poco las partes que forman un cuerpo por aglomeración.

**Densificación:** Hacer que algo adquiriera mayor densidad.

**Estrato:** Masa mineral en forma de capa de espesor más o menos uniforme, que constituye los terrenos sedimentarios.

**Fricción:** Fuerza entre dos superficies en contacto, a aquella que se opone al movimiento relativo entre ambas superficies de contacto o a la fuerza que se opone al inicio del deslizamiento.

**Grava:** Rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros. Pueden ser producidas por el ser humano, en cuyo caso suele denominarse piedra partida o caliza, o resultado de procesos naturales.

**Mitigar:** Moderar, aplacar, disminuir o suavizar algo riguroso o áspero.

**Magnitud de momento:** Es una escala logarítmica usada para medir y comparar terremotos.

**Nivel freático:** Corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general.

**Oscilación:** Es el movimiento repetido de un lado a otro en torno a una posición central, o posición de equilibrio.

**Passage Beds:** Es un estrato que forma una transición entre las rocas de dos sistemas geológicos.

**Subducción:** Es un proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite convergente, según la teoría de tectónica de placas.

**Susceptibilidad:** Capaz de recibir el efecto o acción que se indica.

**Tectónica:** Pertenece o relativo a la estructura de la corteza terrestre.

**Vibrocompactación:** Compactar de forma dinámica y cíclica.

**Vibroflotación:** Vibrar hasta que el material fino aflore.

**Viscosidad:** Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es debida a las fuerzas de cohesión moleculares.



## 18. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fuentealba, J. G., & Alvarado, R. V. *SITIOS AFECTADOS POR LICUEFACCIÓN A CAUSA DEL TERREMOTO 27-F*.

Das, B. M., Rojo Hernández, C., Terrón, T. U., Buol, S. W., Agustin, T. R., FD, M.,... & Vargas, M. D. (2006). *Principios de ingeniería de cimentaciones* (No. 624.15). Cengage Learning,

Nocquet, J. M., Mothes, P., & Alvarado, A. (2009). *Geodesia, geodinamica y ciclo sísmico en Ecuador. Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador*. Edited by JY Collot et al, 83-95.

Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. *Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador*.

Wolf, T. (1904). Crónica de los fenómenos volcánicos y terremotos en el Ecuador. *Imprenta, Univ Central, Quito*, 167.

Obando, T. (2009) *Estado actual del Conocimiento del proceso cíclico de licuefacción en suelos sujetos a solicitaciones sísmicas*. Ejemplos de Casos.

Alva Hurtado Jorge. 2012. *Licuación de suelos en Perú desarrollado por CISMID*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Arduino Pedro. 2003. *Ingeniería Sísmica Geotécnica*. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de Washington. Washington

Brandes, Hernán. 2003. *Manual de Ingeniería en caso de terremotos*, Geotécnica y aspectos. Londres: Fondo Taylor & Francis Group.

Cardona, Omar. 2001. *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. □

Carrillo Gil, Andrés. 2001. *Algunas Apreciaciones del Comportamiento del Suelo en la Zona del Sismo de Ancash*. II Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones desarrollado en Lima.

Dowrick, David. 1977. *Earthquake Resistant Design*/ Editorial John Wiley and Sons, Ltd. 1era. Edición, Gran Bretaña.

Johansson J. 2000. El sitio web de licuefacción del suelo. Departamento de Ingeniería Civil.

Universidad de Washington. [Http://www.ce.washington.edu/](http://www.ce.washington.edu/)□

~ licuefacción / HTML / main.html (consultada el 29 de mayo del 2013)

Rodas Erick, M. I. (2011). *Susceptibilidad a la licuefacción por medio del sondeo de penetración estándar*.

Alva Jorge, D. I. (2002). *Breve historia del fenómeno de licuación de suelos. Lima: IV Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones*.

Chunga Kervin, D. I. (2009). *Riesgo en el Golfo de Guayaquil: Revisión de datos sísmológicos y de fallas activas*.

Chunga Kervin, D. I. (2010). *Análisis estructural de fallas geológicas y potenciales deslizamientos en Anconcito, Provincia de Santa Elena*.

Núñez del Arco Eugenio. I. (2003). *Geología del Ecuador*.

Núñez Jesús. (2007). *Análisis comparativo del fenómeno de licuación en arenas. Aplicación a Tumaco. Barcelona*.

Esmeraldas News. (2011). Historia de los terremotos en Ecuador. Obtenido de: <http://esmeraldasnoticias.blogspot.com/2011/03/historia-de-los-terremotos-en-ecuador.html>

Obando Tupak. (2009). *Metodología y técnicas para la cuantificación del potencial de licuación en suelos sujetos a sollicitaciones dinámicas. Ejemplos de casos*.

Henríquez Carlos. (2007). *Mejora de terrenos potencialmente licuables con inyecciones de compactación.*

Santibáñez Daniel. (2006). *Determinación del potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar.*

Seed & Idriss. (1971). *Procedimiento simplificado para la evaluación del potencial de licuefacción de suelos.*

Geostru Software. (2010). *Liquiter.*

Soledispa Bolívar. (2008). *Características geomorfológicas y sedimentológicas de la bahía de Santa Elena.*

Hoy. (2000). *La Sismicidad Siempre Acecha Al Ecuador.* Obtenido de:  
<http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/la-sismicidad-siempre-acecha-al-ecuador-50804.html>

Vallejo Luis. (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid: Pearson Educación.

Cámara de la Construcción de Quito y Ministerio de Desarrollo Urbano de Vivienda. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción.*

Braja M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Séptima Edición.*

Parra Denys y Alva Jorge. (2001) *Métodos simplificados para la evaluación del potencial de licuación de suelos.*

Martínez Alberto. (2006). *Licuación de Arenas.*

Alva Jorge. D. I. (2006). *Dinámica de suelo.*

Leoni Augusto. (2008). *Procesos de licuefacción de suelo.*

Parra Denys, Aguilar Zenón, Ayquipa Carmen y Alva Jorge. (2003). *Evaluación del potencial de licuación de suelos.*

Youd (1992). *MODES OF GROUND FAILURE.*

PG-03/01 Art. 320 Excavación y Explanación. OC 326/2000. *Geotecnia vial referente a materiales de construcción de explanaciones y drenajes.*

Universidad da Coruna. (2007-2009). *CLASIFICACIÓN DE SUELOS, EU.:* Argosy Publishing. Recuperado de <http://www.udc.es/>

## 19. Anexos

Realización de ensayo SPT



Retiro de materia superficial





Equipo de trabajo



Toma de muestras





Toma de muestras Datos del sondeo



Perforación



Sondeo N2  
Puente Velasco Ibarra



Perforación primer punto





Preparando el equipo para la primera extracción de material



Ensayos en laboratorio



Ensayos en laboratorio



Trituramiento de material para los ensayos de Límites de ATTERBERG





Trituramiento de material para límite plástico y límite líquido



Metrocar después del terremoto del 16 de abril de 2016





Metrocar después del terremoto del 16 de abril de 2016



Portoviejo después del terremoto del 16 de abril del 2016

