



**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**

**MODALIDAD:**  
**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**“ANÁLISIS DE LA LICUEFACCIÓN DEL SUELO PRODUCIDO POR EL**  
**NIVEL FREÁTICO EN EL SECTOR DEL PUENTE SANTA CRUZ DE LA**  
**CIUDAD DE PORTOVIEJO, LUEGO DEL SISMO DEL 16 A DEL 2016”**

**AUTORES:**  
**CÓRDOVA MACÍAS WILMER ENRIQUE**  
**NAVARRETE JARAMILLO HENRY NAHUN**

**TUTORA:**                   **Ing. Mg.Sc. María Isabel Zambrano Meza**

**REVISOR:**               **Ing. José Gabriel Guanoluiza Carreño**

**2017**

## **1. Dedicatoria**

Esta tesis se le dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos, y también a mi familia, por quienes soy lo que soy.

Gracias eterna, nunca me olvidaré.

**CÓRDOVA MACÍAS WILMER ENRIQUE**

**AUTOR**

Este trabajo, significa el final de una etapa en mi vida, pero representa el inicio de una nueva, se lo dedico primero a Dios, porque nada de lo que pueda haber logrado o llegase a lograr en mi vida fuera posible sin sus Bendiciones y guía.

A mis padres, por cada día levantarse con la misión de hacerme feliz, y de darme todo lo que yo necesite para poder vivir de buena manera, por enseñarme el valor de las cosas de la vida y sobre todo por enseñarme el valor de la humildad, por toda su comprensión y todo el apoyo brindado hacia mi, por nunca dudar que lo conseguiría, hoy esto es mas de ellos que mio.

A mis hermanos, comenzaron siendo mis compañeros de vida, pero terminaron convirtiéndose en un gran apoyo y parte fundamental de este logro.

A mis sobrinas, a mi novia, a todos mis familiares y amigos, en fin todos aquellos que hoy sienten la misma alegría que yo, al saber que logre mi objetivo, ellos los sufrieron conmigo, lo lloraron, en los momentos difíciles me abrazaron, me dieron animos y fuerzas para seguir, hoy este logro es de todos uds.

Agradecido eternamente.

**NAVARRETE JARAMILLO HENRY NAHUN**

**AUTOR**

## 2. Agradecimiento

A nuestros padres, por todo su sacrificio y apoyo para que hoy lleguemos a ser los profesionales que somos.

A nuestros familiares que de una forma u otra también formaron parte y contribuyeron a nuestros resultados.

A los amigos que siempre estarán en lo alto de nuestra consideración y aprecio.

A nuestra tutora Ing. María Isabel Zambrano y a nuestro revisor Ing. José Gabriel Guanoluiza, por ayudarnos siempre con sus valiosas sugerencias y recomendaciones.

A los Ing. Carlos Centeno, Ing. Edison Espinel, Ing. Martin Veliz, Ing. Arturo Sosa, por todo el apoyo brindado durante la realización de este trabajo, su ayuda fue fundamental para conseguir culminarlo de manera exitosa.

Finalmente agradecemos, a todos quienes hicieron posible la culminación de este trabajo y ayudaron a cumplir nuestra meta.

¡Gracias eterna a todos!

**CORDOVA MACÍAS WILMER ENRIQUE**  
**NAVARRETE JARAMILLO HENRY NAHUN**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Certificación de la Directora del Trabajo de Titulación.

Quien suscribe la presente señora Ing. Mg. Sc. María Isabel Zambrano Meza docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas; en mi calidad de Tutora del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LA LICUEFACCIÓN DEL SUELO PRODUCIDO POR EL NIVEL FREÁTICO EN EL SECTOR DEL PUENTE SANTA CRUZ DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, LUEGO DEL SISMO DEL 16 A DEL 2016”**, desarrollado por los profesionistas, Señor: CORDOVA MACIAS WILMER ENRIQUE y señor: NAVARRETE JARAMILLO HENRY NAHUN; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Artículo 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por los profesionistas cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a los estudiantes en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentaron el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación los profesionistas pusieron interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.

Particular que certifico para los fines pertinentes

  
**Ing. Mg.Sc. María Isabel Zambrano Meza**

TUTORA

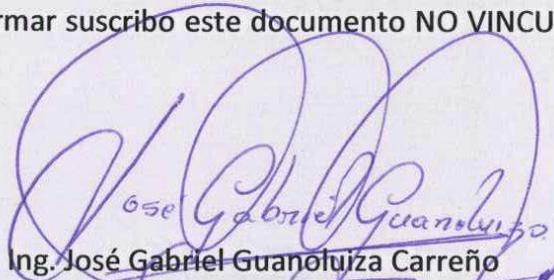
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS**

**INFORME DE REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad de investigación y que lleva por tema: "ANÁLISIS DE LA LICUEFACCIÓN DEL SUELO, PRODUCIDO POR EL NIVEL FREÁTICO, EN EL SECTOR DEL PUENTE SANTA CRUZ DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, LUEGO DEL SISMO DEL 16 A DEL 2016", desarrollado por los señores, Córdova Macías Wilmer Enrique con Cédula No. 131085755-0 y Navarrete Jaramillo Henry Nahun con cédula No. 131120765-6, previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, bajo la tutoría y control de la señora Ing. Mg. Sc. María Isabel Zambrano Meza, docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requisitos del nuevo reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica de Manabí, aprobada por el H. Consejo Universitario, cumpla con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, sus autores:

- Han respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10 % de similitud con otros documentos existentes en el repositorio
- Han aplicado correctamente el manual de estilo de la Universidad Andina Simón Bolívar de Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados
- El trabajo posee suficiente argumentación técnica científica, evidencia en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

Sin más que informar suscribo este documento NO VINCULANTE para los fines legales pertinentes.

  
Ing. José Gabriel Guanoluiza Carreño  
REVISOR

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS**

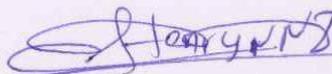
**Declaración sobre derechos de autores**

Quienes firmamos la presente, profesionistas; CORDOVA MACÍAS WILMER ENRIQUE y NAVARRETE JARAMILLO HENRY NAHUN, en calidad de autores del trabajo de titulación realizado sobre el “ANÁLISIS DE LA LICUEFACCIÓN DEL SUELO PRODUCIDO POR EL NIVEL FREÁTICO EN EL SECTOR DEL PUENTE SANTA CRUZ DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, LUEGO DEL SISMO DEL 16 A DEL 2016”, hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contiene este proyecto, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autores nos corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a nuestro favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6 ,8 ,19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento. Así mismo las conclusiones y recomendaciones constantes en este texto, son criterios netamente personales y asumimos con responsabilidad la descripción de las mismas

**AUTORES**



**CORDOVA MACÍAS WILMER ENRIQUE**



**NAVARRETE JARAMILLO HENRY NAHUN**

## 6. Índice

1. Dedicatoria.....	I
2. Agradecimiento.....	II
3. Certificación de la Directora del Trabajo de Titulación.....	III
4. Informe de revisor del Trabajo de Titulación.....	IV
5. Declaración sobre derechos de autores .....	V
6. Índice.....	VI
7. INDICE DE FIGURAS.....	IX
8. Resumen.....	1
9. Abstract.....	2
CAPÍTULO I.....	3
1.1. Tema:.....	3
1.2. Planteamiento del problema .....	4
1.3. Formulación del problema .....	5
CAPÍTULO II .....	6
2. Marco teórico .....	6
2.1. Antecedentes .....	6
2.2. Justificación.....	7
2.3. Terremotos .....	8
2.4 Los sismos como catástrofes naturales.....	8
2.5. Como se producen los terremotos .....	9
2.6. El movimiento de las placas.....	10
2.7. Efectos de un sismo intenso en el suelo .....	11
2.8. Licuefacción del suelo.....	11
2.9. Licuefacción inducida por terremotos .....	12
2.10 Suelos licuables .....	13
2.11. Importancia del estudio de suelo .....	14
2.12 Los Suelos Granulares (Suelos Buenos) .....	14
2.13. Los Suelos Finos (Suelos Malos).....	15
2.14 Los estudios de suelo.....	16
2.15 Trabajo de terreno .....	16
2.16 Calicata.....	16
2.17 Método SPT. ....	17
2.18 Sondeos .....	18

2.19	Trabajo en el laboratorio .....	18
2.20	Análisis químico.....	18
2.21	Caracterización.....	18
2.22	Ensayos Mecánicos .....	18
2.23	Redacción del informe .....	19
2.24	Humedad natural del suelo.....	19
2.25	Nivel freático.....	19
2.26	Variaciones en el nivel freático .....	20
2.27	Límites de Atterberg.....	20
2.28	Límite líquido.....	21
2.29	Límite plástico.....	21
2.30	Granulometría .....	22
CAPITULO III .....		24
3	Objetivos.....	24
3.1.	Objetivo general .....	24
3.2.	Objetivos específicos.....	24
3.3.	Delimitación temporal.....	24
3.4.	Diseño metodológico.....	24
3.4.1.	Hipótesis.....	24
<b>3.4.1.1.</b>	<b>Variable dependiente:</b> Licuefacción del suelo .....	24
<b>3.4.1.2.</b>	<b>Variable independiente:</b> Nivel Freático .....	25
3.4.2.	Nivel de investigación.....	25
3.4.3.	Método .....	26
3.4.4.	Técnicas.....	26
3.5.	Recolección y análisis de los datos e interpretación de los resultados.....	26
3.6.	Verificación de los objetivos .....	30
3.6.1.	Realizar los ensayos de suelo correspondientes al tema. ....	30
3.6.2.	Analizar los ensayos realizados en el laboratorio .....	30
3.6.3.	Demostrar si en el sector a estudiar la licuefacción del suelo producida por el nivel freático, luego del sismo del 16 A, es el principal factor de daños estructurales.....	30
3.7.	Comprobación de la hipótesis .....	30
CAPÍTULO IV .....		31
4.	Elaboración del reporte de los resultados.....	31
<b>4.1.</b>	<b>El sitio del estudio.....</b>	<b>31</b>

<b>4.2. Trabajo de Campo .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3. Los ensayos de laboratorio .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4. Análisis de los resultados de los ensayos .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4.1 Ensayo de Granulometría.....</b>	<b>33</b>
<b>Tablas de clasificación de los suelos.....</b>	<b>35</b>
<b>4.4.2 Ensayo de humedad natural.....</b>	<b>42</b>
<b>4.4.3 ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4.4 Ensayo de limite de contracción.....</b>	<b>60</b>
<b>4.5 Desarrollo del cálculo de licuefaccion del suelo, en el sitio de estudio.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 2. Resultados generales de los ensayos de laboratorio (Tabla de licuefacción).....</b>	<b>70</b>
<b>4.6 Análisis final del cálculo de licuefacción.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>72</b>
<b>5.1. Conclusiones .....</b>	<b>72</b>
<b>5.2. Recomendaciones.....</b>	<b>73</b>
<b>CAPITIULO VI .....</b>	<b>74</b>
<b>6.1. Presupuesto .....</b>	<b>74</b>
<b>6.2. Cronograma valorado.....</b>	<b>75</b>
<b>6.3. Bibliografía .....</b>	<b>76</b>
<b>6.4 Anexos.....</b>	<b>78</b>

## 7. INDICE DE FIGURAS

figura 1. Micro localización del proyecto .....	8
figura 2.Efectos de un terremoto en las edificaciones.....	9
figura 3. Imagen que explica cómo se produce un terremoto .....	10
figura 4. Movimiento de las placas tectónicas .....	10
figura 5. Efectos de un terremoto en el suelo. ....	11
figura 6. Efectos de la licuefacción en el suelo.....	12
figura 7. Licuefacción inducida por terremoto.....	12
figura 8. Ejemplos de calicatas.....	17
figura 9. Penetrómetro .....	17
figura 10. Prueba de sondeo .....	18
figura 11. Imagen del nivel freático.....	20
figura 12. Cuchara de Casagrande.....	21
figura 13. Zona altamente afectada por el sismo en la ciudad de Portoviejo .....	27
figura 14. Efectos de la licuefacción en un edificio del centro histórico en la ciudad de Portoviejo.....	28
figura 15. Sitio estudiado(zona del puente Santa Cruz, antes del sismo del 16 de Abril del 2016).....	31
figura 16.A, 16 B Y 16 C. Algunas afectaciones del sismo del 16 de abril de 2016.....	32
figura 17. Equipo de técnicos en plena faena de toma de muestras .....	32
figura 18. Equipo técnico realizando los ensayos de laboratorio.....	33

## **8. Resumen**

El 16 de abril de 2016 la provincia de Manabí fue impactada por un terremoto intenso, que dejó pérdidas por más de tres mil millones de dólares, donde se reportaron daños importantes en el fondo habitacional del territorio, especialmente en zonas donde se produjo la licuefacción del suelo. En el trabajo se presenta un análisis conceptual relacionado con el riesgo sísmico de la provincia y su impacto en las construcciones. Se muestran los resultados mediante un área de estudio previamente escogida, que se ubica aledaña al puente Santa Cruz de la ciudad de Portoviejo, donde se realiza una evaluación de los daños ocurridos en diez viviendas, de las cuales dos colapsaron totalmente, en seis se reportan daños severos y en dos las afectaciones son manejables. Se brindan los resultados de una entrevista técnica realizada a treinta y cinco especialistas, donde se abordan criterios relacionados con el método constructivo seguido a través de los años en la ciudad de Portoviejo; el estado estructural de las edificaciones; los efectos de la licuefacción del terreno; la importancia del estudio del suelo y; las medidas que deben tomarse para evitar los efectos de la licuefacción en el caso de la ocurrencia de un sismo intenso. Se ofrecen los resultados de un grupo de ensayos de suelo realizados en los laboratorios de suelos y rocas de la Universidad Técnica de Manabí, donde se demuestra que las características técnicas del sitio estudiado, se corresponde con las tipologías de suelo donde se puede producir la licuefacción motivada por un sismo de gran intensidad.

## **9. Abstract**

On April 16, 2016, the province of Manabí was hit by an intense earthquake, which left more than three billion dollars lost, where significant damage was reported in the housing fund of the territory, especially in areas where the liquefaction of the floor. The paper presents a conceptual analysis related to the seismic risk of the province and its impact on buildings. The results are shown by a previously chosen study area, which is located adjacent to the Santa Cruz bridge in the city of Portoviejo, where an evaluation of the damages occurred in ten houses, of which two completely collapsed, six are reported Severe damage and in two the affections are manageable. The results of a technical interview conducted to thirty-five specialists are given, which addresses criteria related to the construction method followed over the years in the city of Portoviejo; The structural state of edifications; The effects of land liquefaction; The importance of soil study and; The measures that must be taken to avoid the effects of liquefaction in case of the occurrence of an intense earthquake. The results of a group of soil tests carried out in the soil and rock laboratories of the Technical University of Manabí, where it is demonstrated that the technical characteristics of the site studied correspond to the typologies of soil where liquefaction can occur Motivated by an earthquake of great intensity.

## CAPÍTULO I

### 1.1. Tema:

***“ANÁLISIS DE LA LICUEFACCIÓN DEL SUELO PRODUCIDO POR EL NIVEL FREÁTICO EN EL SECTOR DEL PUENTE SANTA CRUZ DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, LUEGO DEL SISMO DEL 16 A DEL 2016”***

## 1.2. Planteamiento del problema

El estudio del suelo constituye uno de los principales requerimientos antes de comenzar la construcción de una obra civil y consiste en determinar por procedimientos directos o de laboratorio las características físicas y mecánicas del suelo donde se construirá una estructura. Para ello se obtiene la zonificación, resistencia al esfuerzo cortante, ángulo de fricción interna, cohesión, módulo de reacción y límites entre otras informaciones útiles. Dichos trabajos resultan de mucha importancia para comenzar una obra y requiere de una atención esmerada y rigurosa en su desarrollo, ya que mediante estos trabajos se determina el tipo del terreno si es estable o no.

El país está transitando por una situación muy difícil debido a la consecuencias del terremoto ocurrido el 16 de abril del 2016, que como consecuencia dejó muchas obras civiles en estado de demolición y reconstrucción; es por ello que surge la necesidad de analizar uno de los fenómenos que revistió un mayor impacto en el fondo habitacional constructivo en la ciudad de Portoviejo, con el objetivo de poder realizar un aporte sobre el análisis de la licuefacción del suelo producida por el nivel freático en el sector del puente Santa Cruz ubicado en la avenida Pedro Schumacker y callejón 3 de mayo en la ciudad de Portoviejo, luego del sismo del 16 abril de 2016.

En la provincia de Manabí como en el resto del país se ha venido evidenciando un sin número de obras civiles destruidas por la acción de terremotos anteriores y el recientemente ocurrido el 16 de abril de 2016. Es por ello que las normas de construcción cada vez se perfeccionan para mejorar la seguridad de las edificaciones. La Norma Ecuatoriana de Construcciones (NEC) por lo general se reestructura cada vez que existe un percance como el ocurrido el pasado 16 de abril, por lo que se exige mantener una actualización constante por parte de los especialistas y respetar dicha norma, pues se ha podido comprobar que en ocasiones se han evadido los requerimientos normativos y se han construido viviendas y edificaciones sin estudios de suelo, con mala compactación, con medidas de elementos estructurales como viga, losa, columna y cimientos, menores a lo permitido, así como en otros casos se han seguido recomendaciones de personas no calificadas profesionalmente.

El quebrantamiento de los requerimientos señalados anteriormente se ha dejado notar en las consecuencias de los terremotos ocurridos en épocas anteriores. La relevancia del estudio de suelos se ha puesto de manifiesto cada vez con mayor importancia, pues se ha podido demostrar que su inobservancia representa cada vez mayores consecuencias

destructivas para la sociedad, lo que está asociado con el rápido crecimiento del fondo habitacional en las ciudades.

Un adecuado estudio de suelos permite tomar decisiones relacionadas con la cimentación a utilizar y hasta que profundidad se debe realizar. Dependiendo del tipo de suelo es la capacidad de soporte del mismo (resistencia de la tierra) y eso se puede determinar únicamente con la realización de un estudio especializado.

### **1.3. Formulación del problema**

Considerando lo anteriormente planteado el problema de la investigación radica en: **¿De qué manera incide la licuefacción del suelo en los daños ocasionados por el terremoto en el sector del puente Santa Cruz en la ciudad de Portoviejo?**

## CAPÍTULO II

### 2. Marco teórico

#### 2.1. Antecedentes

Portoviejo o como es llamada oficialmente San Gregorio de Portoviejo, es la capital de la Provincia de Manabí, fue fundada el 12 de marzo de 1535 por el Capitán Español Francisco Pacheco, tiene una superficie territorial de 967 km<sup>2</sup>, está a una altura media de 44 msnm (metros sobre el nivel del mar), y se encuentra rodeado de colinas que no sobrepasan los 300 msnm.

San Gregorio de Portoviejo está conformada por 9 parroquias urbanas y 7 parroquias rurales. Las parroquias Urbanas son: Portoviejo, 12 de Marzo, 18 de Octubre, Andrés de Vera, Colón, Francisco Pacheco, San Pablo, Simón Bolívar y Picoazá. Las parroquias Rurales son: Abdón Calderón, Alajuela, Chirijos, Crucita, Pueblo Nuevo, San Plácido y Riochico.

Portoviejo es la Ciudad más poblada de la Provincia de Manabí y la séptima con más habitantes en el Ecuador, en el último censo se registra que Manabí tiene una población de 303.034 habitantes, conformada mayormente por mestizos y también descendientes de las culturas nativas de la zona o de españoles.

Posee una rica gastronomía, para muchos la más rica del país, entre sus platos típicos tenemos, el viche de pescado, bolones, encebollado, ceviche, seco de pollo, y un sin número más de platos.

Por ser un cantón capital de Provincia, en Portoviejo se encuentran la mayoría de las instituciones públicas de Manabí, entre la que encontramos la Universidad Técnica de Manabí, fundada el 29 de octubre de 1952, en el gobierno del Dr. José María Velasco Ibarra, por gestión del Senador Emilio Bowen Roggiero y empezó a funcionar el 25 de junio de 1954, con el Ing. Paulo Emilio Macías Sabando como su primer rector.

Desde su fundación la Universidad Técnica de Manabí, ha venido en constante desarrollo, tanto en lo educativo como en su infraestructura física, lo que le ha permitido actualmente encontrarse acreditada dentro del Sistema de Educación Superior del Ecuador, ubicándose en la categoría B.

La Universidad Técnica de Manabí, cuenta con 10 facultades que ofertan 33 carreras, entre las facultades existentes encontramos la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, la cual fue fundada el 13 de octubre de 1958 y se inauguró el 6 de febrero de 1959 con solo dos carreras, la de Ingeniería Mecánica y la de Ingeniería

Eléctrica, posteriormente el 4 de mayo de 1959 iniciaría sus actividades académicas con el Ing. Cesar Delgado como su primer Decano.

El 16 de mayo de 1970 se crean las carreras de Ingeniería Industrial y Civil, lo que sería de gran ayuda en el desarrollo de la provincia en el campo agroindustrial y en obras civiles.

La carrera de Ingeniería Civil empezó con el sistema de estudios anual, luego paso a semestre y actualmente al sistema de créditos, entrega el título de Ingeniero Civil a quien haya cumplido con todos sus requisitos, cuenta con un pensum de estudios de 270 créditos, que incluye las prácticas profesionales y el trabajo de titulación.

## **2.2. Justificación**

Debido al sismo surgido el 16 de abril del 2016 se reporta un número importante de edificaciones colapsadas y otras que, habiendo quedado en pie, muestran signos de hundimiento en su parte estructural, lo que pone en evidencia la incapacidad del suelo para soportar las estructuras constructivas cuando ocurre un movimiento intenso de la corteza terrestre.

Como consecuencias de este evento ha sido necesario realizar un arduo trabajo de demolición de estructuras constructivas que quedaron muy dañadas en su parte estructural representando un peligro para la vida de la sociedad. Luego corresponde realizar la reconstrucción que implica construir nuevas edificaciones y donde será necesario tener en cuenta seriamente los estudios de suelo y dentro de estos considerar las zonas donde se produjo el fenómeno de la licuefacción en el terremoto del 16 de abril pasado, especialmente en las zonas que se encuentran próximas a las márgenes del río Portoviejo que recorre prácticamente toda la ciudad.

Una parte de las zonas próximas al puente Santa Cruz se vio afectada seriamente por el sismo intenso del 16 de abril pasado, con varias viviendas colapsadas que mostraron las señales de haber experimentado hundimiento de sus estructuras, es por esto que se pone en evidencia la necesidad de realizar un estudio de licuefacción de suelo producida por el nivel freático en el lugar antes mencionado.

Con el trabajo de investigación se pretende proporcionar a las autoridades nacionales y municipales información básica relevante sobre la importancia de considerar 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.

La investigación se desarrollará en el puente Santa Cruz de la ciudad de Portoviejo y sus estudios en el Laboratorio de suelos y rocas de la Universidad Técnica de Manabí.

En la figura 1 se muestra un esquema con la micro localización del sitio escogido para desarrollar el proyecto.

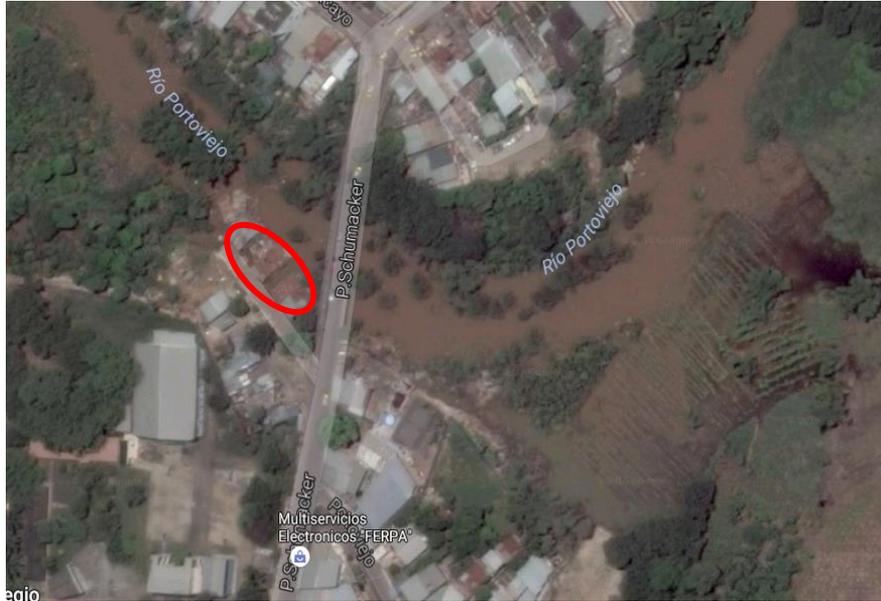


figura 1. Micro localización del proyecto

### 2.3. Terremotos

Son movimientos vibratorios, violentos y rápidos que se sienten en la superficie de la tierra y son provocados por el choque de las placas (perturbaciones en el interior de la tierra).

El sismo es un fenómeno natural capaz de sacudir la Tierra 10.000 veces aproximadamente más violentos que la bomba de Hiroshima, es aún en gran parte impredecible. Más de 500.000 movimientos sísmicos tienen lugar cada año en el mundo [1].

El factor sísmico es una característica de la geología ecuatoriana, por lo tanto la mejor forma de protegerse ante este evento natural es que la población y la infraestructura social se encuentren preparadas para reducir sus efectos [2].

### 2.4 Los sismos como catástrofes naturales

Los sismos se presentan de forma instantánea y sacuden a la vez una gran área provocando daños; pudiendo decir que son las catástrofes naturales más destructoras y temidas. Sus secuelas sobre los seres humanos y su actividad pueden ser directas o indirectas: Directamente provocan muertos; heridos; destrucciones de viviendas; de

instalaciones públicas e industriales; etc. Indirectamente provocan deslizamientos; fuegos; inundaciones; tsunamis; epidemias; y la ruina económica de la región donde afecta <sup>[3]</sup>. En la figura 1 se muestran algunos de los efectos de un terremoto en las edificaciones.



figura 2.Efectos de un terremoto en las edificaciones

## **2.5. Como se producen los terremotos**

La corteza de la tierra está presionada por el manto, el cual ha quebrado su corteza en 15 grandes placas que están juntas. En los bordes donde se rozan las placas tectónicas es donde suceden los sismos y la actividad de los volcanes.

Cada vez que estas placas se rozan o chocan, se presionan entre sí y crean una gran cantidad de energía, provocando los terremotos. La mayoría de terremotos se producen en la corteza terrestre a diferentes profundidades. Los terremotos destructivos son localizados a poca profundidad debajo de la tierra. Esto ocurre cuando la fuerza del manto de la tierra logra quebrar un punto débil en los bordes de las placas y la energía sale o bien porque una masa de rocas se resbala sobre otra <sup>[4]</sup>. En la figura 3 se muestra una imagen que explica cómo se produce un terremoto.

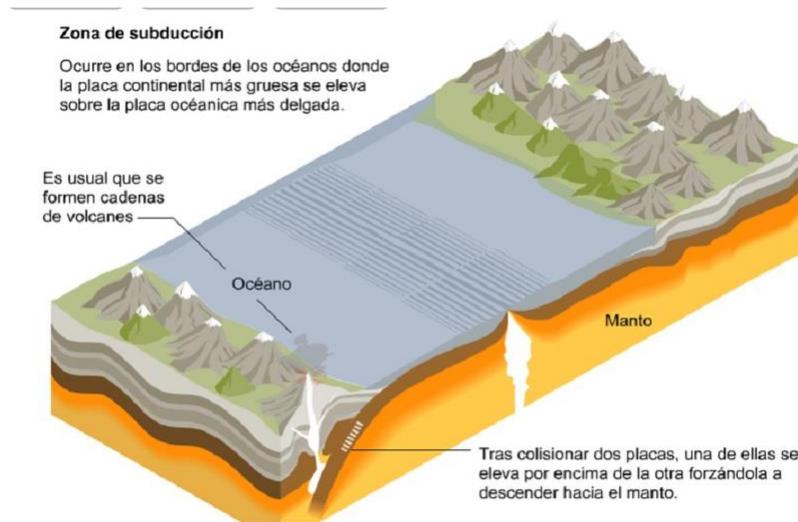


figura 3. Imagen que explica cómo se produce un terremoto

## 2.6. El movimiento de las placas

La parte más superficial de la Tierra está dividida en un número de bloques o mosaicos a los que se denomina “Placas Tectónicas”. Dichos bloques tienen un espesor que va de los 15 a los 50 km aproximadamente y componen lo que se ha dado en llamar la “Litósfera”, que constituye la parte rígida del “casarón” de la Tierra y comprende tanto a la corteza como a una parte del Manto. La capa de la Tierra que se encuentra inmediatamente debajo de la Litósfera es la Astenósfera, la cual no es rígida. Las placas tectónicas se mueven arrastradas por el material supra yacente teniendo velocidades del orden de cm/año <sup>[5]</sup>. En la imagen 4 se explica el movimiento de las placas tectónicas.

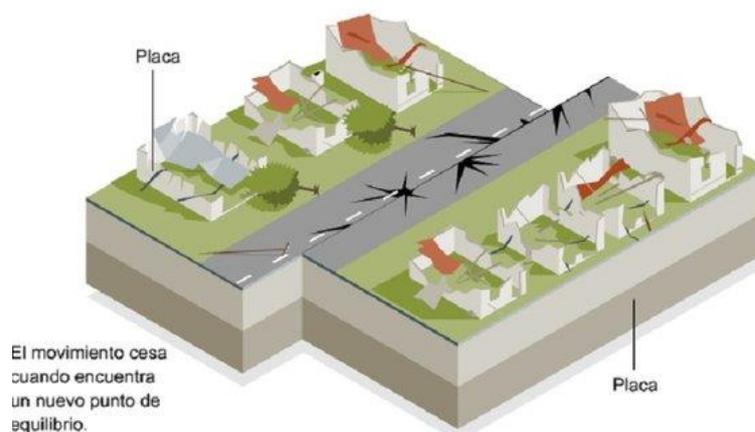


figura 4. Movimiento de las placas tectónicas

Análogamente, tanto en la zona de subducción<sup>1</sup> como en cualquier otro tipo de falla, se acumula gradualmente la tensión hasta que rebasa un límite, en ese momento comienza a presentarse un fallamiento en algún punto inicial llamado foco, desde donde se continúa dicho fallamiento o ruptura hasta ocupar cierta extensión a todo lo largo y ancho de un plano, llamado el plano de falla [3].

## 2.7. Efectos de un sismo intenso en el suelo

Un sismo intenso puede generar varios daños de origen geotécnico, tales como: agrietamiento en el terreno, licuación de suelos, así como amplificación sísmica y deslizamientos. Debe indicarse que la mayoría de daños por sismo tiene origen estructural, es decir, de diseño y construcción con materiales de tierra [6]. En la figura 5 se muestra una imagen sobre los efectos de un terremoto en el suelo.



figura 5. Efectos de un terremoto en el suelo.

## 2.8. Licuefacción del suelo

La licuefacción se define como la transformación de un material granular sólido a un estado fluido denso como consecuencia de un aumento de la presión de poro y una pérdida de la resistencia al esfuerzo de cizalla, con lo cual las deformaciones y los desplazamientos se hacen más grandes [7]. En la figura 6 se muestran los efectos de la licuefacción en el suelo.

---

<sup>1</sup> La subducción de placas es el proceso de hundimiento de una zona oceánica de una placa litosférica bajo el borde de otra placa en un límite convergente. La subducción ocurre a lo largo de amplias zonas de subducción que en el presente se concentran especialmente en el entorno del océano Pacífico, en el llamado cinturón, pero también hay zonas de subducción en partes del mar Mediterráneo, las Antillas, las Antillas del Sur y la costa índica de Indonesia.



figura 6. Efectos de la licuefacción en el suelo

## 2.9. Licuefacción inducida por terremotos

La licuefacción inducida por terremoto es uno de los principales contribuyentes al riesgo sísmico urbano. Las sacudidas hacen que aumente la presión de agua en los poros lo que reduce la tensión efectiva, y por lo tanto disminuye la resistencia al corte de la arena. Si existe una corteza de suelo seco o una cubierta impermeable, el exceso de agua puede a veces surgir en la superficie a través de grietas en la capa superior, arrastrando en el proceso arena licuada, lo que produce borbotones de arena, comúnmente llamados "volcanes de arena" [8]. En la figura 7 se muestran las consecuencias de la licuefacción inducida por terremotos.



figura 7. Licuefacción inducida por terremoto

## 2.10 Suelos licuables

La licuación se refiere al fenómeno de la generación de grandes presiones de poro y consecuente reducción de la resistencia de suelos granulares. Las evidencias de licuación a simple vista en la superficie son borbotillo de arena, fisuras en suelos que se extiende lateralmente.

Comúnmente el fenómeno ocurre en los depósitos aluviales o fluviales de Holoceno en las profundidades no mayores de 15m.

Licuación se define como la transformación del material granular del estado sólido al licuado, como la consecuencia del incremento de las presiones de poro y de la reducción de presiones efectivas <sup>[9]</sup>.

El incremento de las presiones de poro se induce por la tendencia de materiales granulares a compactarse cuando se someten a las deformaciones de cortante cíclicas. El cambio de estado ocurre con preferencia en suelos sueltos a medianamente compactos, pobremente drenados, como son arenas limosas o gravas confinadas o con sellos de materiales impermeables <sup>[10]</sup>.

Durante la licuación el estrato de suelo se ablanda, suaviza, reblandece aumentando su deformabilidad, permitiendo grandes deformaciones cíclicas. En materiales sueltos, el reblandecimiento puede ser acompañado con la pérdida de resistencia al esfuerzo cortante, que puede conducir a grandes deformaciones por cortante y llegar a la falla por el flujo plástico y/o viscoso bajo los esfuerzos cortantes bajos, moderados a altos, existentes por debajo de una cimentación o un talud.

En materiales moderadamente densos a densos, la licuación conduce a reblandecimiento transitorio y a incremento de las deformaciones cíclicas por cortante, pero la tendencia de dilatarse durante el incremento de esfuerzos cortantes inhibe las pérdidas mayores de resistencia y generación de grandes deformaciones de suelo. La licuación de los materiales granulares, moderadamente compactos puede ser acompañada con el desarrollo de la condición de la movilidad cíclica y/o licuación cíclica.

Los suelos sueltos se compactan durante la licuación y reconsolidación, conduciendo al asentamiento de suelo. El borbotillo de arena, puede también formar erupciones mientras se disipa la presión de agua <sup>[10]</sup>.

## **2.11. Importancia del estudio de suelo**

Un Estudio de Suelo, también conocido como Estudio Geotécnico, es un conjunto de actividades que permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir la composición de los elementos en las capas de profundidad, así como el tipo de cimentación más acorde con la obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar. Esta investigación que hace parte de la ingeniería civil es clave en la realización de una obra para determinar si el terreno es apto para llevar a cabo la construcción de un inmueble u otro tipo de intervención <sup>[11]</sup>.

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 necesaria e imprescindible la realización de un estudio de suelos. El Estudio de Mecánica de Suelos resulta 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 construyen las edificaciones, mismo que sirve de base para determinar el tipo de cimentación a usar<sup>[12]</sup>.

La provincia de Manabí califica como uno de los territorios ecuatorianos que posee un mayor riesgo sísmico. Lo anteriormente expuesto se corrobora en la historia sísmica del país, pues de los terremotos mayores que se han registrado constan los de: Riobamba (1797), de Ibarra (1868), de Ambato (1949) y el del sábado 16 de abril del 2016, a las 6 y 58 de la tarde <sup>[13]</sup>.

Las expertos en Estudios de Suelos no están de acuerdo en decir que existen suelos malos o suelos bueno. Dirán que hay suelos más aptos que otros para la construcción. Dirán también que se puede construir en cualquier tipo de suelo, pero obviamente construir en un suelo menos apto, será mas complejo y se requerirá sistemas de cimentación más complejos y costosos.

## **2.12 Los Suelos Granulares (Suelos Buenos)**

Son suelos compuestos por gravas y arenas. Este material puede estar compuesto por partículas de piedras pequeñísimas (pero posibles de ver a simple vista) y también se encuentran piedras más grandes y bolones. Este tipo de suelos es más firme y amplifica menos las ondas sísmicas. También son suelos muy resistentes frente a las cargas que deben soportar <sup>[14]</sup>.

### 2.13. Los Suelos Finos (Suelos Malos)

Este tipo de Suelo se componen por las arcillas y limos, que son una partículas pequeñísimas (tipo polvo) que pese a tener buena cohesión, sufren grandes cambios al contacto con el agua. Por esta razón, su resistencia dependen de la humedad a la que estén expuestas. Por eso no son lo mejores suelos para fundar los cimientos de una edificación <sup>[15]</sup>.

Una variable muy importante a considerar (y que un estudio de Suelo lo indica) es conocer si existen cuerpos de agua subterráneos y a qué profundidad. Los cuerpos de aguas subterráneos afectan y alteran el comportamiento de determinados tipos de Suelo.

Se pudiera decir que lo más recomendable es construir sobre un suelo resistente que cumpla todas (o la mayoría) de las condiciones descritas de la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de los tipos de suelo

Criterio utilizado	Suelo Bueno Adecuado para construir	Suelo malo No apto para construir
Granulometría/textura	Gruesas	Finas
Color del suelo	Gris	Rojo, amarillo, blanco.
Forma de las partículas	Angulosas	Redondeadas
Peso unitario	Pesado	Liviano
Granulometría	Varios tamaños	Homogéneo
Preconsolidación	Compacto y firme	Blando o suelto
Nivel freático	Sin agua o profunda	Superficial
Plasticidad	No plástico	Plástico
Expansión	No expansivo	Expansivo
Dispersión	No dispersivo	Dispersivo
Colapsable	Estable	Colapsable
Material orgánico	Sin material orgánico	Con material orgánico

Fuente: <sup>[15]</sup>

## **2.14 Los estudios de suelo**

El Estudio de Suelo tiene una función muy práctica y permite conocer los siguientes elementos <sup>[16]</sup>:

- a. Las características físicas, químicas y mecánicas del suelo donde se piensa construir una edificación.
- b. Su composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad.
- c. Ubicación de cuerpos de agua (Napa Freáticas) si las hay.
- d. La profundidad a la que deberás de hacer las fundaciones (Nivel de fundación)
- e. Planificar el diseño, cálculo y dosificación de las fundaciones de la edificación.

Lo que se ha visto es que cuando las personas y constructores no conocen con exactitud las propiedades del suelo, se guían por lo que ha hecho el vecino respecto al tipo de fundaciones a realizar, y por lo general (en el mejor de los casos) se diseñan y construyen unas cimentaciones sobre dimensionadas. La consecuencia de esto es que se gasta mucho dinero en construir cimentaciones más grandes de las que realmente se necesitan <sup>[16]</sup>.

Dependiendo del tipo de suelo, el costo en cimentaciones puede llegar a ser un costo muy elevado del proyecto. Por lo que es recomendable saber con exactitud que tipo de suelo tienes y así hacer un cálculo preciso de las cimentaciones que necesitarás. Es importante considerar que un Estudio de Suelo adecuado y unas buenas cimentaciones ayudaran a que la construcción no se desplome.

En los lugares donde son recurrentes los eventos sísmicos se deberá diseñar y calcular cimentaciones anti-sísmicas.

## **2.15 Trabajo de terreno**

En la primera etapa es donde se inspecciona y toman las muestras de terreno, las que luego irán al laboratorio. En esta etapa se utilizan, por lo general, las siguientes técnicas <sup>[17]</sup>:

### **2.16 Calicata.**

La calicata consiste en realizar excavaciones de una profundidad pequeña o mediana en puntos elegidos del terreno. La idea de una calicata es tener una visión directa del terreno, que generalmente nunca vemos, para su caracterización y análisis. Usualmente para hacer una calicata se utiliza una pala o una retroexcavadora. En la figura 8 se muestran ejemplos de calicatas <sup>[18]</sup>.



figura 8. Ejemplos de calicatas

### 2.17 Método SPT.

El método SPT es un tipo de ensayo de penetración en el suelo. Consiste en la introducción en el terreno de un elemento de penetración, generalmente de forma cónica, unido solidariamente a un varillaje <sup>[19]</sup>.

La hincada se realiza por golpeo de una maza con un peso definido, contando el número de golpes que hay que darle a la varilla para que penetre 20 cm en el terreno, se obtiene lo que denomina la columna de golpes, que no es más que cuántos golpes hace falta emplear para perforar 20 cm a medida que se desciende de nivel <sup>[19]</sup>. En la figura 9 se muestra el ensayo de penetrómetro.



figura 9. Penetrómetro

Esta técnica solo permite saber la resistencia del terreno a distintas profundidades, pero no ofrece información acerca de su naturaleza.

## 2.18 Sondeos

Esta técnica consiste en perforar el terreno con una sonda cilíndrica que va extrayendo la parte atrapada dentro del cilindro. A medida que se sacan las muestras se van colocando por orden de profundidad en cajas de muestras. El objetivo de este ensayo es determinar que tipo de suelo existe a distintas profundidades y también detectar la presencia de agua (si la hay) y determinar el Nivel Freático. En la figura 10 se muestra una prueba de sondeo [20].



figura 10. Prueba de sondeo

## 2.19 Trabajo en el laboratorio

Una vez hecho el trabajo en terrenos, las muestras son llevadas al laboratorio para realizar los ensayos correspondientes. Algunos tipos de ensayos básicos son [21]:

### 2.20 Análisis químico

El objetivo de este ensayo es detectar la presencia de componentes químicos en el suelo. Lo que se busca es la presencia de sulfatos, de cloro y el grado de acidez del suelo analizado, ya que estos elementos van a condicionar las características de los hormigones a emplear en las cimentaciones [22].

### 2.21 Caracterización

Este ensayo busca determinar la granulometría del terreno. Es decir, el porcentaje de distintos tamaños de árido del terreno, la plasticidad, la densidad aparente y real y otras propiedades básicas de la composición del suelo [23].

### 2.22 Ensayos Mecánicos

Su objetivo es saber cuál es la capacidad resistente y la rigidez del material del suelo. Se trata del ensayo de compresión simple, el de corte directo y otros que

indicarán cuáles son las propiedades mecánicas del suelo. Suelen hacerse estos ensayos para materiales cohesivos -arcillas- y raramente para Suelos Granulares (Suelos Buenos) [24].

### **2.23 Redacción del informe**

El informe es el documento técnico final que se debe presentar a las autoridades competentes. Usualmente es redactado y firmado por profesionales autorizados como geólogos e ingenieros civiles [25].

En el informe están los datos recabados, los parámetros mas importantes y un diagnóstico acerca del comportamiento del terreno. La parte más importante del Informe Final son las recomendaciones, pues en el se señala el tipo de fundación/cimentación que es más conveniente realizar [25].

### **2.24 Humedad natural del suelo**

Se denomina humedad natural o contenido de agua de un suelo, a la relación entre el peso de agua contenido en el mismo y el peso de su fase sólida. Se expresa como porcentaje y resulta una relación gravimétrica definida como la relación existente entre el peso del agua y el peso de los sólidos en un volumen dado de suelo [26]. Se define utilizando la ecuación 1.

$$\omega_n = \frac{w_w}{w_s} \quad (1)$$

La humedad natural constituye una propiedad física del suelo que resulta de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen [26].

### **2.25 Nivel freático**

El estudio del agua subterránea y superficial es importante para la realización de obras de ingeniería que permitan diseñar los mecanismos para ejercer el control de amenazas por inestabilidad mecánica del terreno, inundación o por contaminación y el aprovechamiento de las aguas subterráneas como fuente alterna de suministro de agua [27]. En la figura 11 se muestra una imagen del nivel freático [28].

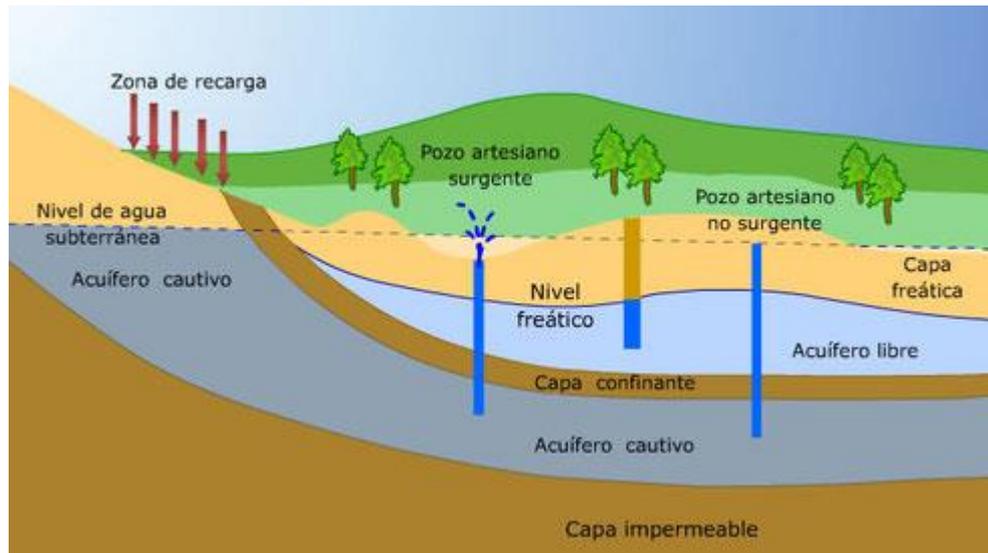


figura 11. Imagen del nivel freático.

## 2.26 Variaciones en el nivel freático

La profundidad del nivel freático es muy variable y puede oscilar entre cero, cuando se inicia 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<sup>[27]</sup>.

## 2.27 Límites de Atterberg

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg <sup>[29]</sup>.

Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados, que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS).

### 2.28 Límite líquido

Límite líquido: cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande y se define como el contenido de agua necesario para que la ranura de un suelo ubicado en el equipo de Casagrande, se cierre después de haberlo dejado caer 25 veces desde una altura de 10 mm <sup>[30]</sup>. En la figura 12 se puede apreciar la cuchara de Casagrande.



figura 12. Cuchara de Casagrande

### 2.29 Límite plástico

El límite plástico se define cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios entre los que se encuentra el desarrollado por Atterberg, el cual dijo en primer lugar que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente <sup>[31]</sup>.

El límite plástico también se define como la humedad más baja con la que pueden formarse con un suelo cilindros de 3 mm. de diámetro, rodando dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros empiecen a resquebrajarse.

El índice de plasticidad se determina utilizando la ecuación 2.

$$I_p \text{ ó } IP = w_l - w_p \quad (2)$$

El índice de liquidez se determina utilizando la ecuación 3.

$$IL = (W_n - W_p) / (W_l - W_p) \quad (W_n = \text{humedad natural}) \quad (3)$$

### 2.30 Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices. Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica [32].

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

El método de determinación granulométrico más sencillo es obtener las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado, que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices. Pero para una medición más exacta se utiliza un granulómetro láser, cuyo rayo difracta en las partículas para poder determinar su tamaño [32].

Para su realización, se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original (suelo o sedimento mezclado) y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices [33].

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

Desde el punto de vista de la Sedimentología, un material heterogéneo se considera mal escogido o seleccionado, mientras que un material homogéneo se considera bien escogido. El grado de selección se expresa con el término escogimiento o sorting.

Desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos, un material heterogéneo se considera bien gradado si sus propiedades mecánicas ofrecen mayor calidad, y un material homogéneo se considera mal gradado, si sus propiedades mecánicas son deficientes.

## CAPITULO III

### 3 Objetivos

#### 3.1. Objetivo general

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

#### 3.2. Objetivos específicos

- Realizar los ensayos de suelo correspondientes al tema.
- Analizar los ensayos realizados en el laboratorio
- Demostrar si en el sector a estudiar la licuefacción del suelo producida por el nivel freático, luego del sismo del 16 A, es el principal factor de daños estructurales.

#### 3.3. Delimitación temporal

El proyecto se desarrolló con información desde febrero de 2016 ya que se cuenta con información actualizada que propicia entender de una manera más sencilla la vulnerabilidad técnica que ofrece la demarcación hidrográfica de la provincia de Manabí.

#### 3.4. Diseño metodológico

##### 3.4.1. Hipótesis

¿Se logrará contrarrestar los daños estructurales en las obras civiles, mediante un análisis de la licuefacción del suelo producida por el nivel freático?.

##### 3.4.1.1. 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, el terreno se comporta como un pseudolíquido y pierde su resistencia al esfuerzo de cizalla, implicando que las edificaciones se hundan por su peso.	<b>LICUEFACCIÓN DEL SUELO</b>  <b>LICUEFACCIÓN INDUCIDA POR TERREMOTOS</b>	Materiales más vulnerables a la licuefacción  Efectos que produce en el suelo	Ensayos de laboratorio  Ensayos de laboratorio

### 3.4.1.2. 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>  <b>VARIACIONES EN EL NIVEL FREÁTICO</b>	TIPOS DE SUELO  DAÑOS DEBIDO A SISMOS	Ensayos de laboratorio  Ensayos de laboratorio

### 3.4.2. Nivel de investigación

La Investigación de Campo definida como el proceso que utilizando el método científico (Investigación pura), permite obtener nuevos conocimientos en el campo de la construcción y los impactos que se pueden derivar de la ocurrencia de los sismos intensos cuando no se ha realizado de forma conveniente el estudio de suelo, así como estudiar una situación para diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos (investigación de campo). Este tipo de investigación es también conocida como investigación in situ ya que se pretende realizar en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio. Ello permite el conocimiento más a fondo del problema, pudiendo manejar los datos con más seguridad y soportarse en diseños exploratorios, descriptivos y experimentales, creando una situación de control en la cual se manipula sobre una o más variables dependientes (efectos). Por tanto, es una situación provocada para introducir determinadas variables de estudio manipuladas para controlar el aumento o disminución de esas variables y sus efectos en las conductas observadas.

Con estos antecedentes se utilizará un tipo de investigación de campo, por cuanto la investigación corresponde a un tipo de diseño de investigación, que se basa en informaciones obtenidas directamente del sitio afectado, permitiendo cerciorarse de las condiciones reales en que se conseguirán los datos. En otras palabras, se obtendrán muestras de suelos del sector y se realizarán los respectivos ensayos de suelo, en el caso propuesto los ensayos se realizarán en los laboratorios de suelo que cuenta la Universidad Técnica de Manabí.

### **3.4.3. Método**

El método seleccionado es Hipotético-Deductivo, puesto que nos planteamos una hipótesis que se puede analizar deductiva 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.

### **3.4.4. Técnicas**

- a. Realizamos ensayos de suelo en los laboratorios de suelos y rocas de la Universidad Técnica de Manabí.

## **3.5.Recolección y análisis de los datos e interpretación de los resultados**

Fueron analizados los resultados de 3 entrevistas realizadas a especialistas del tema, en relación con los temas que aborda el proyecto, siendo sus resultados los siguientes:

El objetivo de la entrevista se enfocó en obtener criterios de profesionales especializados en la rama, sobre los efectos de las condiciones del suelo y el estado constructivo de las edificaciones en caso de un sismo de gran intensidad en la ciudad de Portoviejo.

- I. El primer tema abordado correspondió al método constructivo de las edificaciones en la ciudad de Portoviejo. Y en ese sentido es importante destacar que el modelo constructivo predominante es el ecléctico; caracterizado por el despliegue de diversos métodos que dan como resultado un complicado entramado de edificaciones, donde cada maestro ha dejado su sello constructivo en base a la interpretación personal de los planos. Por otro lado, las autoridades municipales no han realizado un adecuado trabajo de control sobre los métodos y la calidad constructiva. Todo ello hace difícil predecir el grado de resistencia de las estructuras ante la ocurrencia de un sismo intenso. La mayoría de los especialistas consideran que la situación expuesta anteriormente puede haber influido en el alto grado de destrucción experimentado en algunas zonas, durante el sismo del 16 de abril de 2016. En la figura 13 se muestra una foto donde se pone en evidencia lo analizado anteriormente.



figura 13. Zona altamente afectada por el sismo en la ciudad de Portoviejo

Otros criterios plantean que existen varios métodos constructivos, todos muy acertados, el problema es cuando uno de estos métodos no se los realiza correctamente, todos los métodos están bajo normas de construcción, todos son valederos, hay sistemas muy innovadores, parece que todos tienen sus ventajas, a pesar que yo no los he podido comprobar todos, pero en lo que he podido ver todos garantizan un excelente comportamiento de la estructura, siempre y cuando se respeten sus normas técnicas de construcción.

II. El segundo de los temas abordados correspondió al criterio sobre el estado estructural de las edificaciones de la ciudad de Portoviejo. Los especialistas plantean que las edificaciones presentan daño moderado, de moderado a fuerte, y en la mayoría de las reparaciones a las estructuras se ha aplicado la norma NEC 2015, que es la que está vigente, pero que no cumple con las exigencias para un evento sísmico mayor al que impactó el territorio el 16 de abril de 2016.

En otros criterios se recalca que el estado estructural de las edificaciones es variable. Se expone el ejemplo de que hace algunos años no se pedían ningún tipo de diseño estructural ni estudios de suelo, en diseño estructural bastaba con el que hacía el arquitecto, bueno también depende de cada quien, había personas que aparte del diseño que les da el arquitecto contrataban un ingeniero estructural, pero no era exigido por el Municipio, entonces ya era consciencia de cada uno, entonces desde ese punto de vista, hay construcciones en buen estado y hay construcciones que no están tan bien, ahora es

bueno que el Municipio de Portoviejo este exigiendo un estudio de suelo y un cálculo estructural, hechos por un ingeniero civil.

III. El tercero de los temas técnicos abordados se ofrecieron criterios sobre la influencia de la licuefacción del suelo en los daños ocurridos en las edificaciones durante el sismo del 16 abril del 2016. Los especialistas consideran que efectivamente la licuefacción del suelo resultó uno de los motivos esenciales en los principales focos de destrucción, especialmente a las construcciones cercanas a los ríos y en las edificaciones del centro histórico (zona 0) con alto nivel freático, Un ejemplo claro es la avenida 5 de junio, a la altura de la fruta prohibida y sus alrededores que sufrieron licuefacción con destrucción total de las edificaciones ubicadas en dicho sitio. En dicho lugar se hizo algo que no se debía hacer, construir en las laderas del Río, todo suelo que es joven tiende a moverse durante el sismo y por lo general son los suelos que están cercanos al Río, y hay algunos que no están tan cercanos, hemos encontrado suelos que están lejos del Río y presentan muchas probabilidades de que suceda la licuefacción, esto porque hace algún tiempo el Río llegó a lugares donde en la actualidad uno ni se imagina, y sabemos que el Río consigo lleva arena, lo que ha provocado que en algunos lugares lejanos al Río existan suelos con mucha arena, entonces son suelos que podrían ser licuables. En la figura 14 se muestra una foto donde se puede apreciar los efectos de la licuefacción en las edificaciones del centro histórico de la ciudad de Portoviejo.



figura 14. Efectos de la licuefacción en un edificio del centro histórico en la ciudad de Portoviejo

- IV. El cuarto tema investigado se relaciona con la importancia que tiene el estudio de suelo, como requisito técnico antes de acometer una obra de construcción. En ese sentido se plantea que resulta muy importante, independientemente que algunas personas plantean que un estudio de suelo sale caro, hay que considerar que lo que se invierte en un estudio de suelo se ahorra en fisuras, grietas, asentamientos, pagar mano de obra para arreglar algo, o lo que puede ser peor, cuando se produce un sismo la construcción puede colapsar y poner en riesgo la vida de las personas. Con un buen estudio de suelo se evitan esos riesgos. Con los resultados de un buen estudio de suelo se puede construir en cualquier parte, dichos estudios permiten saber que requisitos técnicos constructivos se deben seguir en cada lugar. Con los datos del estudio de suelo es que se hace el diseño estructural y este es un problema que anteriormente era violado de forma casi generalizada. En los momentos actuales resulta una exigencia legal la realización de esos estudios, que permiten determinar la capacidad admisible del suelo al aplicar las cargas, especialmente en la cimentación y determinar qué tipo de suelo se tiene, el espectro necesita conocer el tipo de suelo, pues con sus resultados se realiza el diseño de la cimentación y el sistema estructural de la obra, lo cual comienza con un adecuado cambio de suelo.
- V. En el tema quinto se investigó sobre las medidas preventivas que deben tomarse para evitar la consecuencia de la licuefacción del suelo en las edificaciones durante un sismo. En este sentido hay que considerar lo planteado en la norma NEC, donde se estipula que para que se produzca la licuefacción del suelo es necesario que el material sea de baja plasticidad, pueden ser arenas, limos de baja plasticidad, con un índice plástico menor del 12% y que estén en presencia de agua, si se cumple esa condición ese suelo es licuable y en esas condiciones lo aconsejable es no construir y de tener que hacerlo, realizar diseños ligeros, cumpliendo normas especiales para la construcción de la cimentación y el sistema estructural. Dentro de las medidas más generales se pueden mencionar: la elaboración de pilotes o micro pilotes; hacer cimentaciones profundas que pasen el extracto licuoso y; que en casas pequeñas hacer losas de cimentación. Otras medidas pueden ser: hacer subdrenes, hacer un buen cambio de suelo, impermeabilizar el suelo, así como si es necesario pilotear.

### **3.6. Verificación de los objetivos**

#### **3.6.1. Realizar los ensayos de suelo correspondientes al tema.**

Este objetivo se cumplió, mediante la realización de un estudio de SPT, para luego llevar las muestras obtenidas al Laboratorio de Suelos, Rocas y Asfalto de la Universidad Técnica de Manabí y proceder a realizar los ensayos de granulometría, humedad natural, límites de Atterberg y límite de contracción, bajo la guía de los docentes que laboran en dicho lugar, y la tutoría de la Ing. María Isabel Zambrano Meza, se desarrolló con éxito y se logró obtener los resultados necesarios, para el cálculo final de este trabajo.

#### **3.6.2. Analizar los ensayos realizados en el laboratorio**

Para el logro del objetivo en referencia, se utilizaron los resultados de los ensayos previamente obtenidos, para analizarlos y se obtuvieron resultados que de acuerdo a los criterios técnicos y a los reportes de las entrevistas, los suelos arenosos y de mediana plasticidad, son suelos expuestos al fenómeno de licuefacción.

#### **3.6.3. Demostrar si en el sector a estudiar la licuefacción del suelo producida por el nivel freático, luego del sismo del 16 A, es el principal factor de daños estructurales.**

El presente objetivo se pudo verificar una vez que se analizaron los resultados, y se realizó la tabla del cálculo de licuefacción, lo cual verifico que el lugar de estudio, la licuefacción fue el principal factor, por el cual varias viviendas colapsaron y otras quedaron muy afectadas en su estructura.

### **3.7. Comprobación de la hipótesis**

Se logrará contrarrestar los daños estructurales en las obras civiles, mediante un análisis de la licuefacción del suelo producida por el nivel freático.

La hipótesis ha sido verificada, por cuanto el análisis determinó que en el lugar objeto de estudio sí hubo efectos de la licuefacción del suelo, en el acontecimiento natural del 16 de abril del 2016, por lo que esta información se vuelve necesario para que instancias que tienen que ver al manejo y control de construcciones de vivienda tomen en cuenta los criterios y elementos descritos en este trabajo de titulación.

## CAPÍTULO IV

### 4. Elaboración del reporte de los resultados

#### 4.1.El sitio del estudio

La investigación permitió estudiar el suelo en la zona ubicada en la calle Pedro Schumacher y callejón 3 de mayo, a un lado del puente Santa Cruz de la ciudad de Portoviejo y realizar los estudios en el Laboratorio de suelos y rocas de la Universidad Técnica de Manabí. En la figura 15 se muestra una foto panorámica del sitio estudiado y se señalan las viviendas que fueron gravemente dañadas bajo los efectos del sismo del 16 de abril de 2016.



figura 15. Sitio estudiado(zona del puente Santa Cruz, antes del sismo del 16 de Abril del 2016)

El proyecto realizado permitió determinar que en la zona estudiada existían antes del sismo 10 viviendas, que todos los años durante el invierno se soportaron inundaciones y nunca ninguna casa colapso, hasta que el 16 de abril de 2016 producto del sismo de 7.8 grados, ocurrieron las siguientes afectaciones:

- 2 viviendas colapsaron totalmente durante el evento;
- 6 viviendas resultaron gravemente afectadas producto de que la tierra se abrió, provocando que sean inhabitables;
- 2 viviendas no sufrieron afectaciones graves;
- 8 familias en total fueron las damnificadas en este sector, las que fueron evacuadas y reubicadas en carpas.

En las figuras 16 A, 16 B y 16 C, se muestran algunas de las afectaciones provocadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en la zona estudiada.



figura 16.A, 16 B Y 16 C. Algunas afectaciones del sismo del 16 de abril de 2016

## 4.2. Trabajo de Campo

En el sitio se procedió a realizar la toma de muestras del suelo para la realización de las pruebas de laboratorio. En la figura 17 se muestra al equipo de técnicos en plena faena de trabajo de toma de muestras.



figura 17. Equipo de técnicos en plena faena de toma de muestras

### 4.3. Los ensayos de laboratorio

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de suelos y rocas de la Universidad Técnica de Manabí. En la figura 18 se muestra al equipo de técnicos realizando los ensayos de laboratorio.



figura 18. Equipo técnico realizando los ensayos de laboratorio

### 4.4. Análisis de los resultados de los ensayos

#### 4.4.1 Ensayo de Granulometría

El objetivo de este ensayo es el de determinar la constante de los suelos.

#### Instrumentos a utilizar

- Juego de tamices, en este caso utilizaremos, los tamices N° 4, 10, 40, 200
- Balanza, previamente calibrada
- Espátulas, trapos de limpieza
- Guantes o herramientas para manejar los recipientes.
- Horno de secado
- Recipientes de muestreo, deben ser de aluminio o porcelana y que soporte altas temperaturas, que sea resistente a la corrosión ya que tendrá contacto con la humedad de las muestras, además deberán tener un código para su respectiva identificación.

#### Procedimiento

- 1.- Colocar la muestra en el recipiente ya pesado
- 2.- Luego se peso la muestra y el recipiente y lo colocamos en el horno a una temperatura de 110°C por 24 horas.

3.- Luego de las 24 horas se retiro la muestra del horno y se espero que esta, este fría, para nuevamente pesarla.

4.- Luego se coloco la muestra en el tamiz número 200 y se lavo, manipulándola ligeramente, hasta que el agua que atraviere el tamiz sea clara.

5.- Finalizado el lavado se coloco la muestra en el horno, a una temperatura de 110°C por 24 horas.

6.- Luego de las 24 horas se retiro nuestra muestra del horno, y se peso para obtener el contenido de finos, y se empezo a realizar el ensayo con los tamices correspondientes.

7.- se coloco los tamices uno encima del otro en su respectivo orden, y se coloco la muestra en el tamiz que tenemos en la parte de arriba.

8.- agitamos en forma circular nuestros tamices por unos minutos

9.- luego se retiro uno a uno los tamices, y se deposito el material que retiene cada uno en los recipientes ya identificados y se peso.

10.- finalmente se calculo el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa por cada malla.

- Primero se cálculo el peso retenido acumulado, que no es nada más que ir sumando el peso actual más el anterior.
- Luego se calculo el porcentaje retenido mediante esta formula

$$\% \text{ retenido} = (\text{Peso retenido actual} * 100) / \text{total del material retenido}$$

- Porcentaje que pasa por cada malla mediante esta formula

$$\% \text{ que pasa por cada malla} = \text{Porcentaje retenido} - 100\%$$

## Tablas de clasificación de los suelos

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	50 máx										
N°20	30 máx	50 máx					51 mín				
N° 200	15 máx	25 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	10 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características del material que pasa el tamiz N° 40							N.P.				
Límite Líquido			40 mín	41 mín	40 máx	41 mín		40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
INDICE DE PLASTICIDAD	6 máx	6 máx	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín		10 máx	10 máx		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 peso secos y maduros).		Símbolo del grupo.	Nombres típicos.	Información necesaria para la descripción de los	Criterios de Clasificación en el Laboratorio.																													
<p>Suelo de arena gruesa. Más de 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 a simple vista).</p> <p>Abrir: Más de la mitad de la fracción gruesa para pasar al tamiz N° 40.</p> <p>(Para la clasificación visual puede usarse que la abertura del tamiz N° 40 equivale a medio centímetro).</p> <p>Abrir con limar (cantidad apreciable de finar).</p>	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios.	<b>GW</b>	Gravas bien graduadas, mezclas de gravas y arenas con pocos finos o sin ellos.	<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 descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.</p> <p>Para suelos inalterados agréguese información sobre estructura, compactación, cementación, condiciones de humedad y características del drenaje.</p> <p>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).</b></p>	<p><math>Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}</math> Mayor de 4      <math>Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} + D_{60}}</math> Entre 1 y 3.</p> <p><b>No satisfacen todos los requisitos granulométricos de las GW.</b></p> <p>Limite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. menor de 4.      Por encima de la línea "A" con L.P. entre 4 y 7 casos límites que requieren el empleo de símbolos dobles.</p> <p>Limite 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 satisfacen todos los requisitos granulométricos de las SW.</b></p> <p>Limite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. menor de 4.      Por encima de la línea "A" con L.P. entre 4 y 7 casos límites que requieren el empleo de símbolos dobles.</p> <p>Limite de Atterberg por debajo de la línea "A" o L.P. mayor de 7.</p>																													
	<p>Métodos de identificación que pasa por el tamiz N° 40.</p> <table border="1"> <tr> <td>Resistencia en estado seco (a la disgregación).</td> <td>Dilatancia (reacción a la agitación).</td> <td>Tenacidad (consistencia cerca del L.P.).</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nula a ligera.</td> <td>Rápida o lenta.</td> <td>Nula.</td> <td><b>ML</b></td> </tr> <tr> <td>Media a alta.</td> <td>Nula a muy lenta.</td> <td>Media.</td> <td><b>CL</b></td> </tr> <tr> <td>Ligera a media.</td> <td>Lenta.</td> <td>Ligera.</td> <td><b>OL</b></td> </tr> <tr> <td>Ligera a media.</td> <td>Lenta a nula.</td> <td>Ligera a media.</td> <td><b>MH</b></td> </tr> <tr> <td>Alta a muy alta.</td> <td>Nula a muy lenta.</td> <td>Alta.</td> <td><b>CH</b></td> </tr> <tr> <td>Media a alta.</td> <td>Nula a muy lenta.</td> <td>Ligera a media.</td> <td><b>OH</b></td> </tr> </table>	Resistencia en estado seco (a la disgregación).	Dilatancia (reacción a la agitación).			Tenacidad (consistencia cerca del L.P.).		Nula a ligera.	Rápida o lenta.	Nula.	<b>ML</b>	Media a alta.	Nula a muy lenta.	Media.	<b>CL</b>	Ligera a media.	Lenta.	Ligera.	<b>OL</b>	Ligera a media.	Lenta a nula.	Ligera a media.	<b>MH</b>	Alta a muy alta.	Nula a muy lenta.	Alta.	<b>CH</b>	Media a alta.	Nula a muy lenta.	Ligera a media.	<b>OH</b>			
	Resistencia en estado seco (a la disgregación).	Dilatancia (reacción a la agitación).	Tenacidad (consistencia cerca del L.P.).																															
	Nula a ligera.	Rápida o lenta.	Nula.			<b>ML</b>																												
	Media a alta.	Nula a muy lenta.	Media.			<b>CL</b>																												
	Ligera a media.	Lenta.	Ligera.			<b>OL</b>																												
	Ligera a media.	Lenta a nula.	Ligera a media.			<b>MH</b>																												
	Alta a muy alta.	Nula a muy lenta.	Alta.			<b>CH</b>																												
	Media a alta.	Nula a muy lenta.	Ligera a media.			<b>OH</b>																												
	<p>Limar y acillar con Límite Líquido menor de 50.</p>																																	
<p>Limar y acillar con Límite Líquido mayor de 50.</p>																																		
<p>Suelos altamente orgánicos.</p>	Fácilmente identificables por: color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura porosa.		<b>Turba y otros suelos altamente orgánicos.</b>	Ejemplo: Limar ceroso, marrón. Ligero y plástico, porcentaje reducido de arena fina, numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco in situ (ML).																														

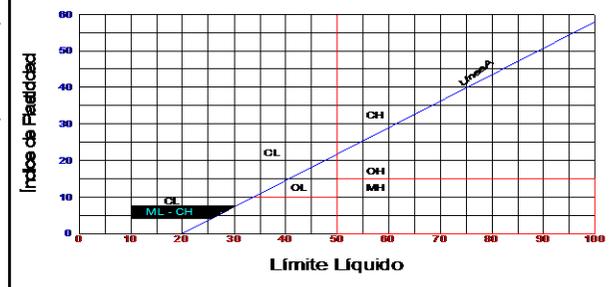
Utilizar la curva granulométrica para identificar las fracciones de arena y arena fina en la columna de identificación de campo.

Determinar el porcentaje de grava y arena a partir de la curva granulométrica. Según el porcentaje de finar (fracción que pasa por el tamiz N° 200) hacer un subgrupo de clasificación como sigue:

- Menor del 5%: **GM, GP, SM, SP**
- Mayor del 5%: **GM, GC, SM, SC.**

Como Límite que requieren el empleo de símbolo dobles.

**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**



**Gráfico de plasticidad para la clasificación en el laboratorio de suelos de grano fino.**

**ANÁLISIS DE NUESTRAS MUESTRAS, TOMADAS EN LA CALLE PEDRO SCHUMACHER Y CALLEJÓN 3 DE MAYO.**

**MUESTRA N° 1**

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>	0	0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,16	0,16	0,76	99,24
<b>40</b>	0,11	0,27	1,29	98,71
<b>200</b>	18,78	19,05	90,84	9,16
total pasa No. 200	1,92	20,97	100	0,00
total	20,97			

peso inicial = 150

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

**MUESTRA N° 2**

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>	0	0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,5	0,5	2,21	97,79
<b>40</b>	0,15	0,65	2,88	97,12
<b>200</b>	21,15	21,8	96,46	3,54
total pasa No. 200	0,8	22,6	100,00	0,00
total	22,6			

peso inicial = 150,12

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla organica limosa de baja Plasticidad		<b>OL</b>	SUSCS

### MUESTRA N° 3

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	1,12	1,12	4,62	95,38
<b>40</b>	0,2	1,32	5,45	94,55
<b>200</b>	21,93	23,25	95,92	4,08
total pasa No. 200	0,99	24,24	100,00	0,00
total	24,24			

peso inicial = 155,40

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla organica limosa de baja Plasticidadd		<b>OL</b>	SUSCS

### MUESTRA N° 4

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0	0	0,00	100,00
<b>40</b>	0,01	0,01	0,03	99,97
<b>200</b>	35,67	35,68	94,44	5,56
total pasa No. 200	2,1	37,78	100,00	0,00
total	37,78			

peso inicial = 157,78

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-6</b>	AASHTO
Arcilla organica limosa de baja Plasticidadd		<b>OL</b>	SUSCS

### MUESTRA N°5

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>	0	0	0,00	100,00
<b>10</b>	0	0	0,00	100,00
<b>40</b>	0,07	0,07	0,18	99,82
<b>200</b>	38,51	38,58	99,56	0,44
total pasa No. 200	0,17	38,75	100,00	0,00
total	38,75			

peso inicial = 152,68

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla organica limosa de baja Plasticidad		<b>OL</b>	SUSCS

### MUESTRA N°6

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0	0	0,00	100,00
<b>40</b>	0,04	0,04	0,10	99,90
<b>200</b>	39,51	39,55	98,88	1,13
total pasa No. 200	0,45	40	100,00	0,00
total	40			

peso inicial = 151,80

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla organica limosa de baja Plasticidad		<b>OL</b>	SUSCS

### MUESTRA N°7

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,06	0,06	0,10	99,90
<b>40</b>	1,17	1,23	1,97	98,03
<b>200</b>	58,52	59,75	95,55	4,45
total pasa No. 200	2,78	62,53	100,00	0,00
total	62,53			

peso inicial = 151,51

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

### MUESTRA N°8

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,22	0,22	0,46	99,54
<b>40</b>	1,29	1,51	3,14	96,86
<b>200</b>	44,7	46,21	96,17	3,83
total pasa No. 200	1,84	48,05	100,00	0,00
total	48,05			

peso inicial = 154,11

Grava y Arena arcillosa o limosa	Excelente o bueno	<b>A-2-4</b>	AASHTO
Arcilla organica limosa de baja Plasticidadd		<b>OL</b>	SUSCS

**MUESTRA N°9**

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0	0	0,00	100,00
<b>40</b>	0,21	0,21	12,80	87,20
<b>200</b>	1,3	1,51	92,07	7,93
total pasa No. 200	0,13	1,64	100,00	0,00
total	1,64			

peso inicial = 160,28
-----------------------

Suelos arcillosos	REGULAR O MALO	<b>A-7</b>	AASHTO
Arcilla organica de Plasticidad media a alta		<b>CH</b>	SUSCS

**MUESTRA N° 10**

Tamiz No	Peso Rect. Par.	Peso Rect. Ac.	% Rect	% Pasa
<b>No. 4</b>		0	0,00	100,00
<b>10</b>	0,58	0,58	7,58	92,42
<b>40</b>	0,93	1,51	19,74	80,26
<b>200</b>	5,38	6,89	90,07	9,93
total pasa No. 200	0,76	7,65	100,00	0,00
total	7,65			

peso inicial = 155,68
-----------------------

Suelos arcillosos	REGULAR O MALO	<b>A-7</b>	AASHTO
Arcilla organica de Plasticidad muy alta		<b>OH</b>	SUSCS

#### 4.4.2 Ensayo de humedad natural

El objetivo de este ensayo es el determinar la cantidad de agua presente en cada muestra.

##### Instrumentos a Utilizar

- Horno de secado
- Recipientes de muestreo, deben ser de aluminio o porcelana y que soporte altas temperaturas, que sea resistente a la corrosión ya que tendrá contacto con la humedad de las muestras, además deberán tener un código para su respectiva identificación.
- Balanza, previamente calibrada
- Espátulas, trapos de limpieza
- Guantes o herramientas para manejar los recipientes.

##### Procedimiento

- 1.- Se selecciono un recipiente y se peso (recipiente) **T**
- 2.- Luego se selecciono la muestra que se va a ensayar y se coloco en el recipiente
- 3.- Se peso el recipiente con la muestra a ensayar y se obtubo (recipiente + muestra húmeda) **H**
- 4.- Luego se procede a dejar el recipiente con la muestra en el horno a temperatura de 110 °C por 24 horas
- 5.- Se retiro la muestra a las 24 horas y se deajo enfriar, luego se peso y se obtubo (recipiente + muestra seca) **S**
- 6.- Se calculo con la formula  $A = H - S$ , el contenido de agua de la muestra, donde:  
A= contenido de agua  
H= recipiente + muestra húmeda  
S= recipiente + muestra seca
- 7.- Luego se calculo la masa del suelo seco con la formula  $C = S - T$ , donde:  
C= suelo seco  
S= recipiente + muestra seca  
T= recipiente
- 8.- Finalmente se calculo el porcentaje de humedad con la Formula

$$\% \text{ HUMEDAD} = (A * 100) / C.$$

**ANÁLISIS DE NUESTRAS MUESTRAS, TOMADAS EN LA CALLE PEDRO SCHUMACHER Y CALLEJÓN 3 DE MAYO.**

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
17	21,99	19,33	7,49	2,66	11,84	22,47	22,39
x	20,1	18,11	9,19	1,99	8,92	22,31	

En la muestra número 1, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, con diferentes cantidades de la muestra, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad medio, obtuvimos la extracción de la muestra mediante un numero de SPT 11, y que el tipo de suelo era Limo Arenoso.

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
z	26,45	21,49	7,94	4,96	13,55	36,61	37,06
m	25,6	20,58	7,2	5,02	13,38	37,52	

En la muestra número 2, al igual que en la muestra número 1, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad que aún sigue siendo medio, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 5 y que el tipo de suelo era Limo Arenoso.

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
11	27,93	22,89	8,78	5,04	14,11	35,72	35,26
48	24,93	20,57	8,04	4,36	12,53	34,80	

En la muestra número 3, al igual que en las anteriores, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad medio, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 5 y que el tipo de suelo era Limo Arenoso.

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
130	34,13	27,08	8,6	7,05	18,48	38,15	38,52
88	33,8	27,09	9,84	6,71	17,25	38,90	

En la muestra número 4, al igual que en las anteriores, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad medio, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 4 y que el tipo de suelo era Limo Arenoso.

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	$\Sigma$ H/3
0	31,14	24,97	8,87	6,17	16,1	38,32	37,90
41	33,45	26,78	8,98	6,67	17,8	37,47	

En la muestra número 5, al igual que en las anteriores, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad medio, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 7 y que el tipo de suelo era Limo Arenoso.

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	$\Sigma$ H/3
18	32,68	26,2	7,48	6,48	18,72	34,62	34,61
B	28,49	23,3	8,3	5,19	15	34,60	

En la muestra número 6, al igual que en las anteriores, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad medio, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 11 y que el tipo de suelo era Arena Limosa.

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	$\Sigma$ H/3
30	31,81	26,1	8,58	5,71	17,52	32,59	32,22
50	34,37	28,19	8,79	6,18	19,4	31,86	

En la muestra número 7, al igual que en las anteriores, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad medio, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 23 y que el tipo de suelo era Arena Limosa.

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	$\Sigma$ H/3
63	27,32	22,55	8,23	4,77	14,32	33,31	33,80
33	27,9	22,99	8,67	4,91	14,32	34,29	

En la muestra número 8, al igual que en las anteriores, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad medio, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 12 y que el tipo de suelo era Arena Limosa.

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
80	22,22	16,26	7,23	5,96	9,03	66,00	66,22
40	22,35	16,73	8,27	5,62	8,46	66,43	

En la muestra número 9, al igual que en las anteriores, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad alta, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 13 y que el tipo de suelo era Limo Arcilloso.

MUESTRA N10							
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
65	25,38	19,39	9,78	5,99	9,61	62,33	62,37
24	24,68	18,24	7,92	6,44	10,32	62,40	

En la muestra número 10, al igual que en las anteriores, se realizó dos veces el ensayo de humedad natural, y se hizo un promedio de las dos muestras, lo que nos determinó un porcentaje de humedad alta, obtuvimos la muestra mediante un numero de SPT 12 y que el tipo de suelo era Limo Arcilloso.

### **4.4.3 ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG**

#### **LIMITE LIQUIDO**

Su objetivo es determinar las siguientes constantes del suelo:

- Limite liquido
- Índice de flujo
- Primer parámetro para determinar índice de plasticidad

#### **Instrumentos a Utilizar**

- Aparato de Casa Grande
- Ranurador
- Balanza previamente calibrada
- Recipientes de muestreo, deben ser de aluminio o porcelana y que soporte altas temperaturas, que sea resistente a la corrosión ya que tendrá contacto con la humedad de las muestras, además deberán tener un código para su respectiva identificación.
- Horno de secado
- Tamiz 40
- Placa de vidrio
- Espátulas, trapos de limpieza
- Guantes o herramientas para manejar los recipientes

#### **Procedimiento**

- 1.- Se dejó secando la muestra en el horno, por 24 horas a 110°C
- 2.- Luego se tamizó la muestra en el tamiz N° 40, con el fin de separar el suelo.
- 3.- Luego se dejó reposando en agua, una cantidad de la muestra que obtuvimos después de tamizar por 24 horas.
- 4.- Transcurrida las 24 horas se bate la muestra para homogenizarla, y eliminar el oxígeno que puede contener.
- 5.- Se colocó una porción de la muestra en la copa de Casa Grande, luego se engrasó y se usó el ranurador para dividir la muestra.
- 6.- Una vez que la copa esté a 1 cm, se levantó y se dejó caer la copa a razón de 2 golpes por segundo, hasta que el surco se cierre, se debió llevar la cuenta de los golpes.
- 7.- El proceso se realiza 3 veces.
- 8.- Una pequeña porción de esa muestra se colocó sobre uno de los recipientes de muestreo y se anotó su peso.
- 9.- Luego se llevó al horno por 24 horas, dichas porciones de muestras obtenidas.
- 10.- Finalmente se retiró del horno y se volvió a pesar.

## **Limite Plástico**

El objetivo de este ensayo es determinar la mínima humedad en la que el suelo obtiene un comportamiento plástico, es decir, en la que el suelo no admite deformaciones sin rotura.

### **Instrumentos a utilizar**

- Balanza previamente calibrada
- Recipientes de muestreo, deben ser de aluminio o porcelana y que soporte altas temperaturas, que sea resistente a la corrosión ya que tendrá contacto con la humedad de las muestras, además deberán tener un código para su respectiva identificación.
- Horno de secado
- Tamiz N° 40
- Placa de vidrio
- Espátulas, trapos de limpieza
- Guantes o herramientas para manejar los recipientes

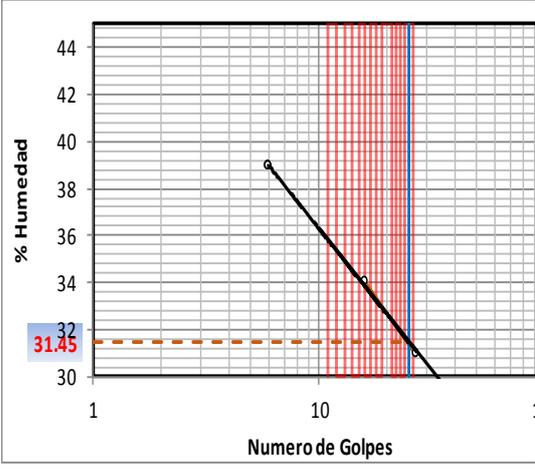
### **Procedimiento**

- 1.- Se dejó secar la muestra para que pierda la humedad natural.
- 2.- Luego se tamizó la muestra en el tamiz N° 40, con el fin de separar el suelo.
- 3.- Luego se dejó reposando en agua, una cantidad de la muestra que obtuvimos después de tamizar por 24 horas.
- 4.- Transcurrida las 24 horas se bate la muestra para uniformar y formar una masa consistente de la muestra.
- 5.- Luego se sacó una porción de la muestra y con la ayuda de las palmas de la mano se procedió a hacer cilindros de 3 mm.
- 6.- Finalmente se colocó los cilindros en el horno por 24 horas, para transcurrido el tiempo estipulado sacarlos y pesarlos.

**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SPT (m1)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE PEDRO SCHUMASHER  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S 80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	11	2	90
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	19.60	15.12	15.08
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	17.04	13.43	13.21
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2.56	1.69	1.87
MASA DE RECIPIENTE (P4)	8.76	8.46	8.41
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	8.28	4.97	4.80
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	30.92	34.00	38.96
# DE GOLPES	27	16	6



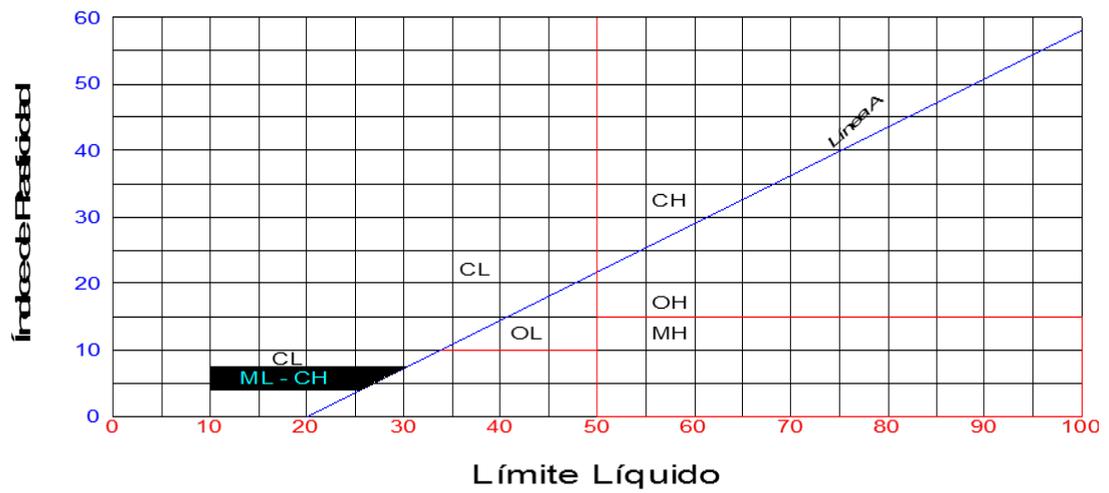
**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	n	28	26
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	8.17	9.00	7.28
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	7.76	8.50	6.85
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.55	0.50	0.43
MASA DE RECIPIENTE (P4)	5.99	6.44	5.08
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	1.77	2.06	1.77
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	31.07	24.27	24.29

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

L. Líquido =	31.45
L. Plástico =	26.55
I. Plasticidad =	4.9

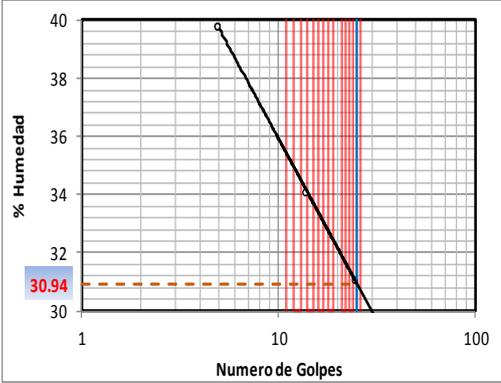
**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**



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

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	K	V	34
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	17.16	16.04	15.93
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	15.19	14.27	13.71
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	1.97	1.77	2.22
MASA DE RECIPIENTE (P4)	8.83	9.07	8.12
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	6.36	5.2	5.59
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	30.97	34.04	39.71
# DE GOLPES	25	14	5



**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	13	18	14
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	8.72	7.36	6.13
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	8.35	6.97	5.71
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.37	0.39	0.42
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6.67	5.22	3.79
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	1.68	1.75	1.92
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	22.02	22.29	21.88

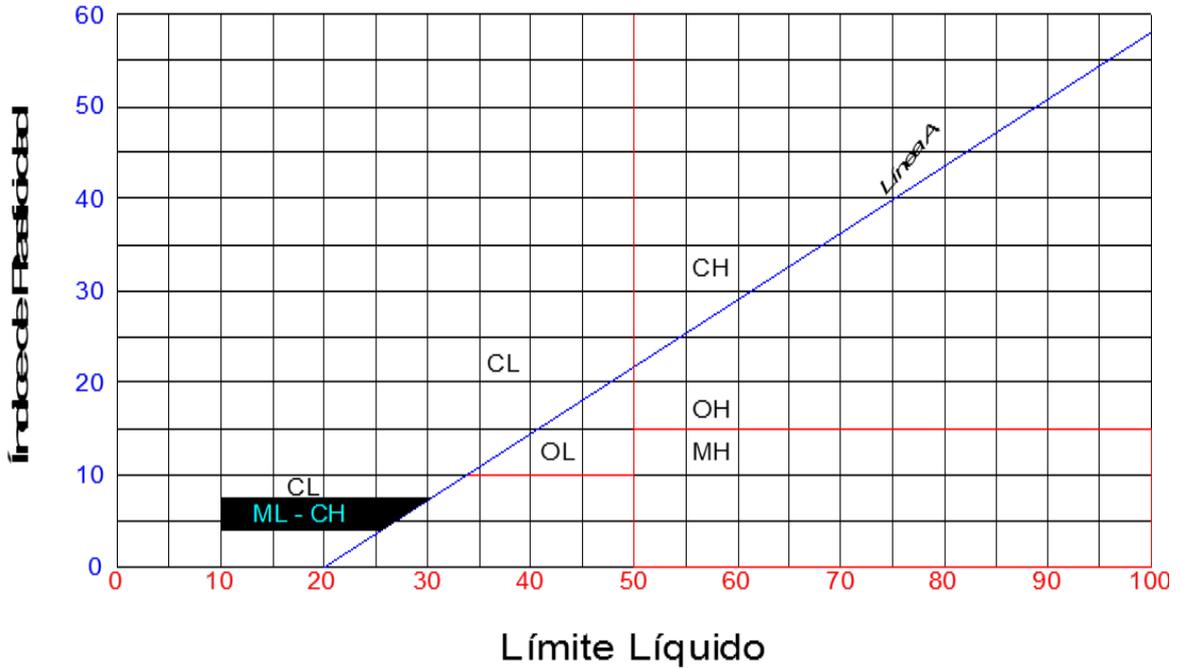
Observaciones :

Normas de Referencia

- INEN 691-1982
- INEN 692-1982
- ASTM D 4318-98
- AASHTO T 89-94
- AASHTO T 90-94

L. Líquido =	30.94
L. Plástico =	22.06
I. Plasticidad =	8.88

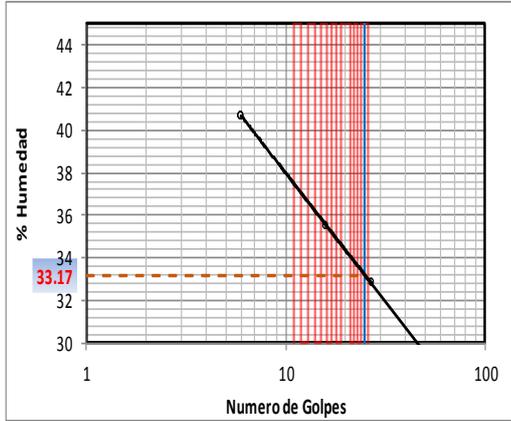
**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**



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

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	T	25	44
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	16.91	15.65	16.05
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	14.81	13.75	13.87
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2.1	1.9	2.18
MASA DE RECIPIENTE (P4)	8.41	8.39	8.51
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	6.4	5.36	5.36
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	32.81	35.45	40.67
# DE GOLPES	27	16	6



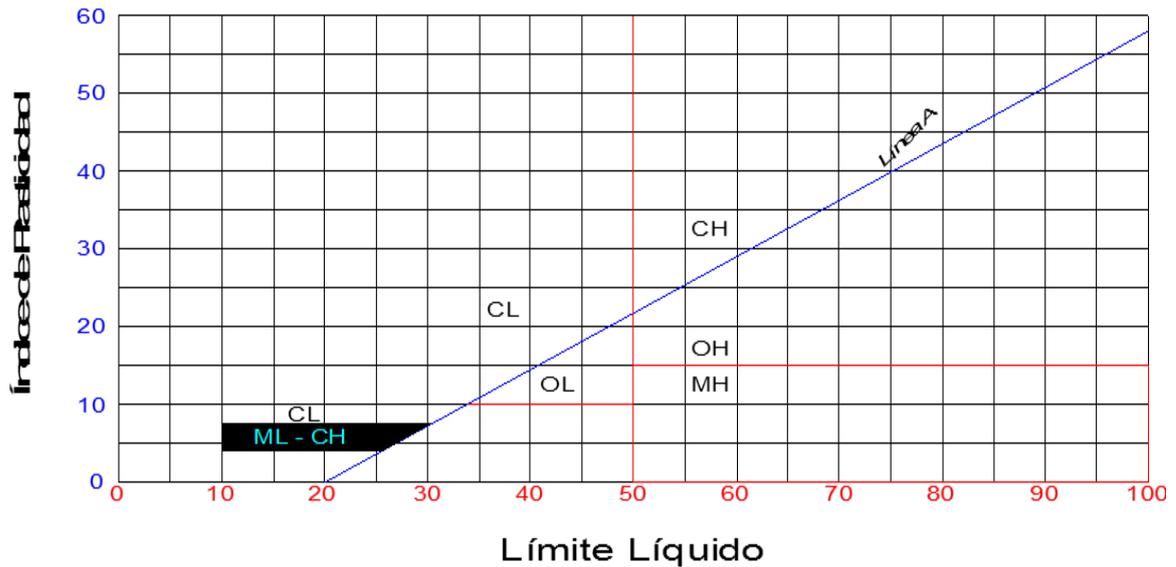
**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	12	3	30
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	9.18	7.77	9.03
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	8.58	7.3	8.55
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.6	0.47	0.48
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6.09	5.35	6.52
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	2.49	1.95	2.03
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	24.10	24.10	23.65

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

L. Líquido =	33.17
L. Plástico =	23.95
I. Plasticidad =	9.22

**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**

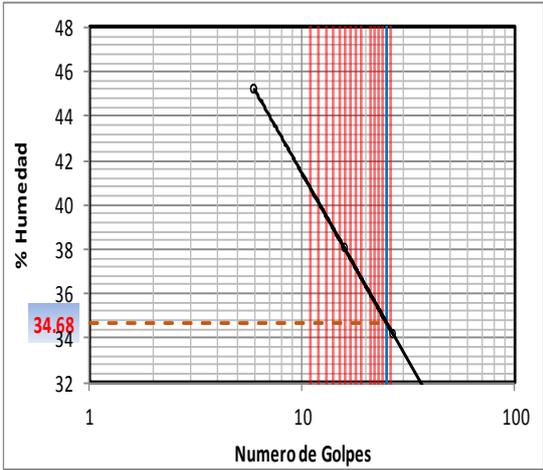


**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SPT (m4)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE PEDRO SCHUMASHER  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	5	Z	E
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	15.77	15.4	14.84
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	14.16	13.38	12.87
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	1.61	2.02	1.97
MASA DE RECIPIENTE (P4)	9.44	8.06	8.51
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	4.72	5.32	4.36
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	34.11	37.97	45.18
# DE GOLPES	27	16	6

NOTA: TODOS LOS VALORES SON EN GRAMOS



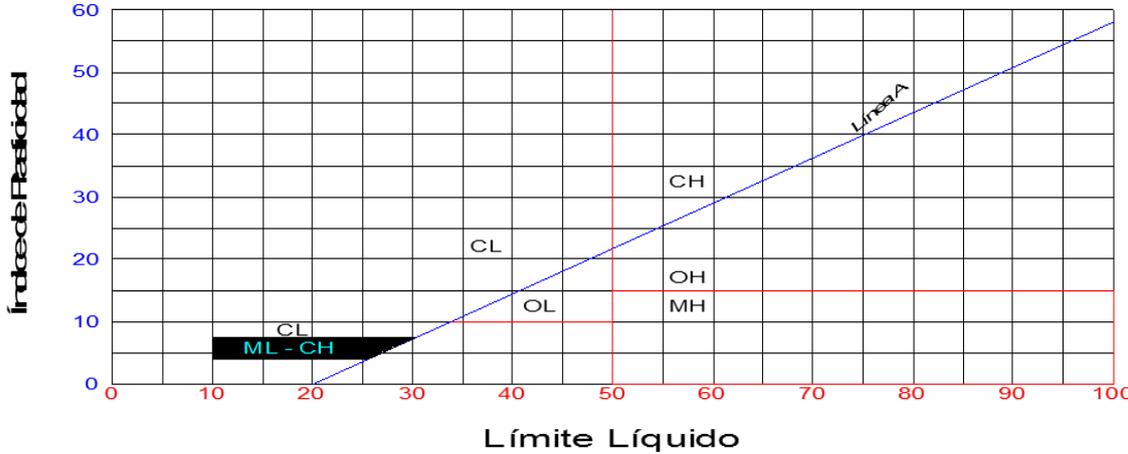
**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	C	2	21
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	7.87	7.3	7.55
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	7.54	6.98	7.25
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.33	0.32	0.3
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6.2	5.68	6
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	1.34	1.3	1.25
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	24.63	24.62	24.00

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

L. Líquido =	34.68
L. Plástico =	24.41
I. Plasticidad =	10.27

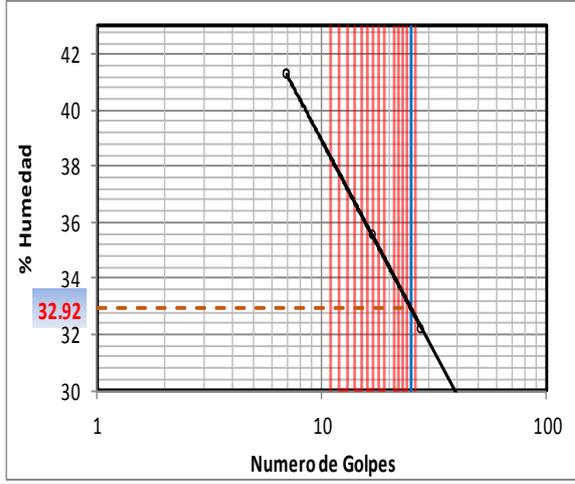
**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**



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

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	R	W	91
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	17.33	16	18.06
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	15.26	13.82	15.3
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2.07	2.18	2.76
MASA DE RECIPIENTE (P4)	8.82	7.68	8.61
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	6.44	6.14	6.69
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	32.14	35.50	41.26
# DE GOLPES	28	17	7



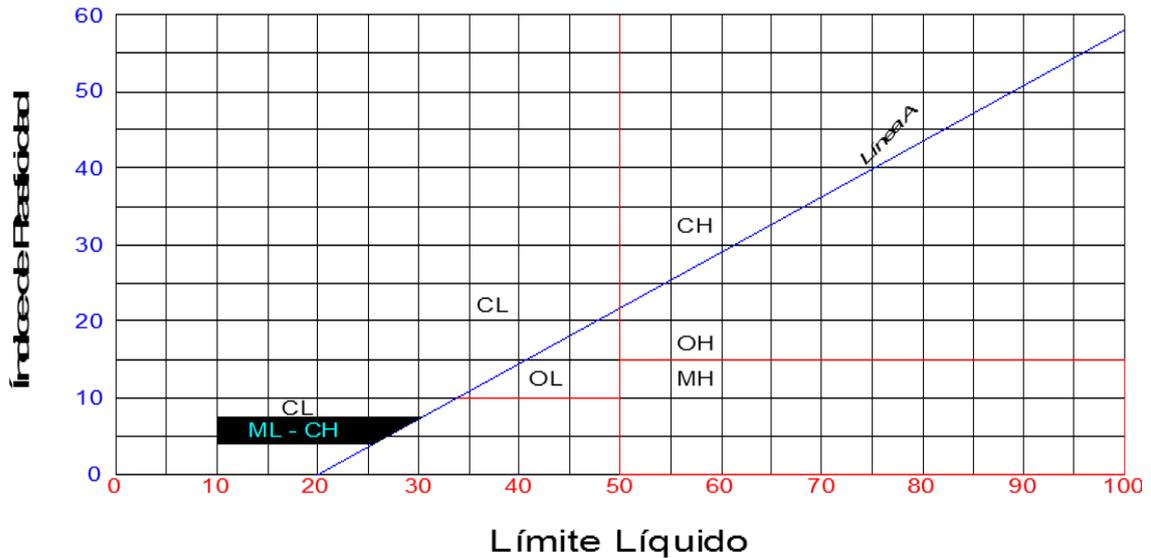
**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	I	J	29
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	7.85	7.28	7.71
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	7.5	6.88	7.36
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.35	0.4	0.35
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6.17	5.39	6.07
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	1.33	1.49	1.29
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	26.32	26.85	27.13

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

L. Líquido =	32.92
L. Plástico =	26.76
I. Plasticidad =	6.16

**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**

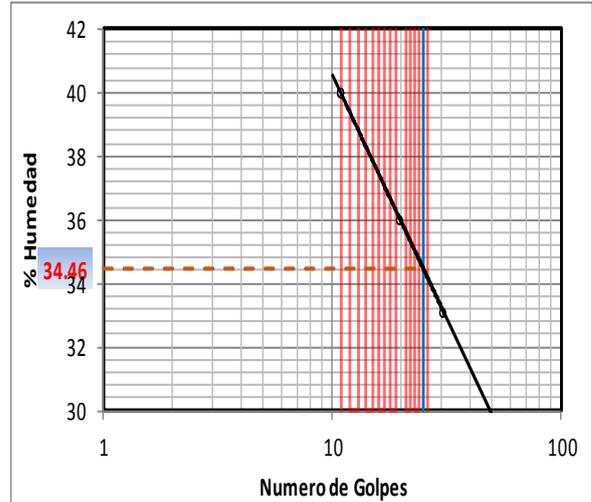


**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SPT (m6)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE PEDRO SCHUMASHER  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

NOTA: TODOS LOS VALORES SON EN GRAMOS

RECIPIENTE #	55	Ñ	M
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	17.27	16.9	16.71
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	15.04	15.05	14.29
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2.23	1.85	2.42
MASA DE RECIPIENTE (P4)	8.29	9.9	8.23
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	6.75	5.15	6.06
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	33.04	35.92	39.93
# DE GOLPES	31	20	11



**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	20	R	6
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	8.01	7.16	7.3
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	7.68	6.84	7.01
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.33	0.32	0.29
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6.39	5.59	5.85
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	1.29	1.25	1.16
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	25.58	25.60	25.00

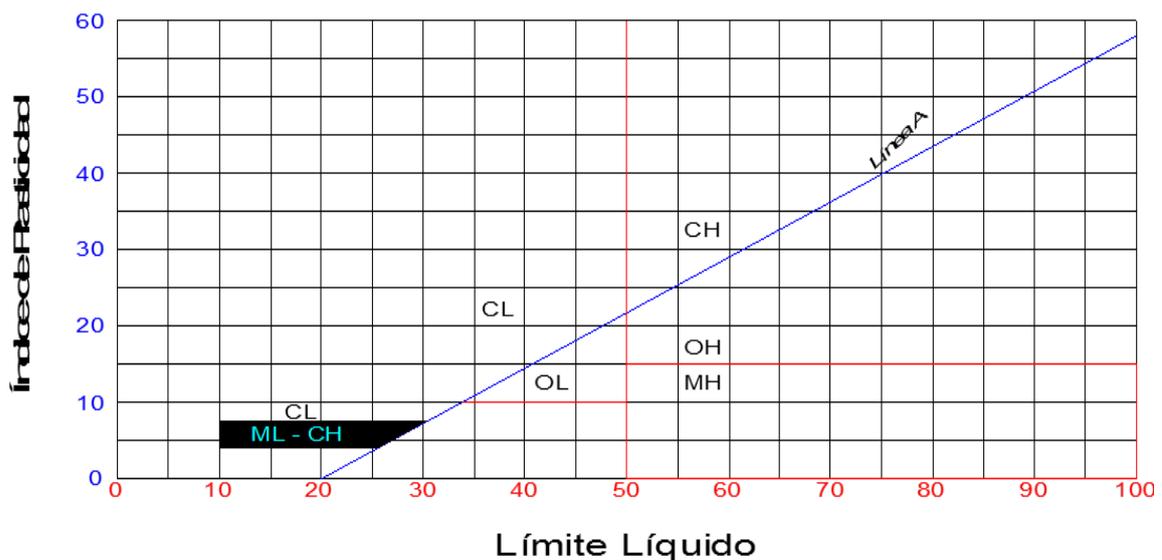
Observaciones :

Normas de Referencia

- INEN 691-1982
- INEN 692-1982
- ASTM D 4318-98
- AASHTO T 89-94
- AASHTO T 90-94

L. Líquido =	34.46
L. Plástico =	25.39
I. Plasticidad =	9.07

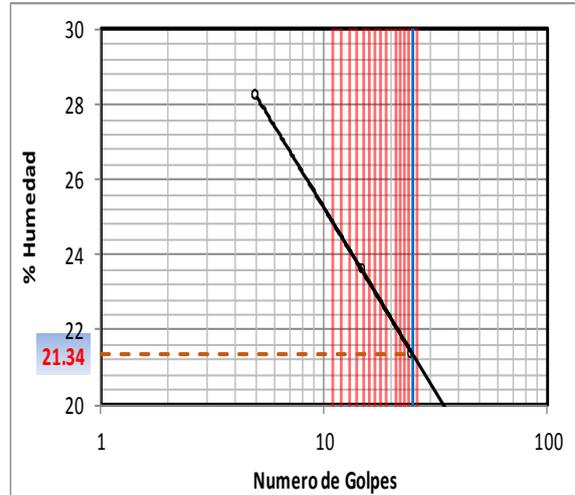
**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**



**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELOSPT (m7)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE PEDRO SCHUMASHER  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	17	B	64
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	13.47	15.27	14.38
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	12.42	13.94	13.17
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	1.05	1.33	1.21
MASA DE RECIPIENTE (P4)	7.49	8.3	8.88
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	4.93	5.64	4.29
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	21.30	23.58	28.21
# DE GOLPES	25	15	5



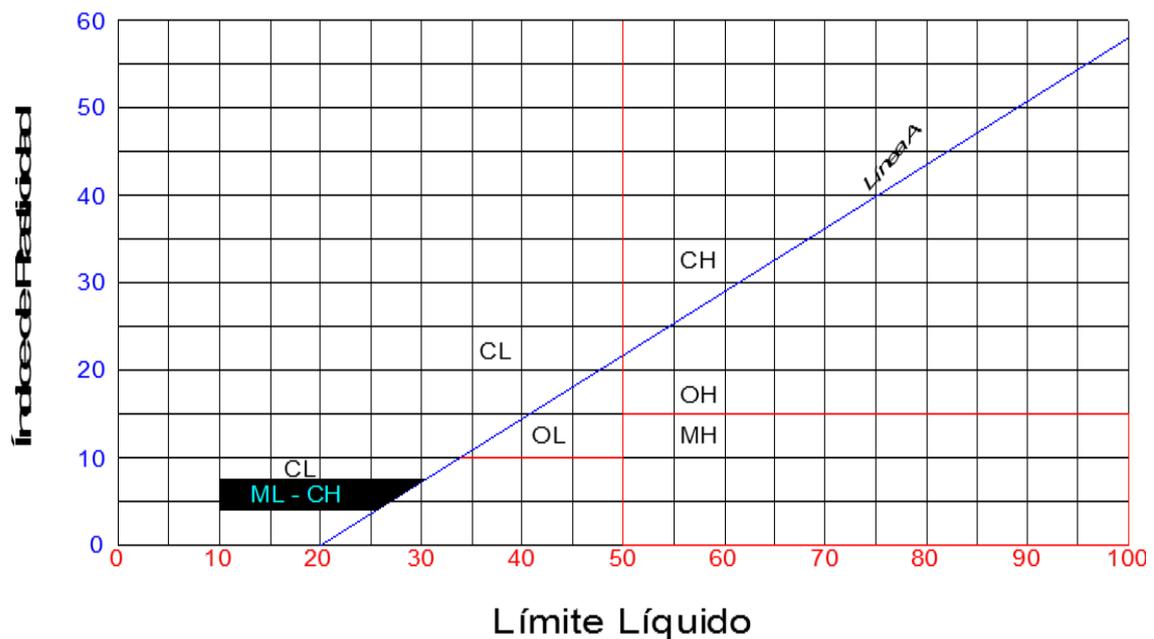
**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	5	9	H
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	8.25	8.9	8.49
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	7.96	8.59	8.13
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.29	0.31	0.36
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6.26	6.78	6.02
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	1.70	1.81	2.11
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	17.06	17.13	17.06

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

L. Líquido =	21.34
L. Plástico =	17.08
I. Plasticidad =	4.26

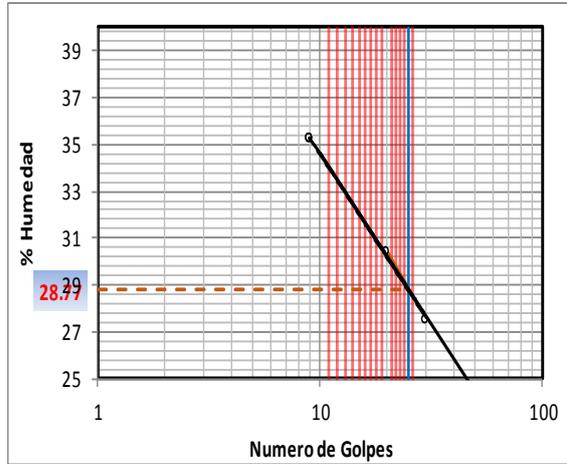
**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**



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

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	77	0	130
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	16.26	18.32	16.08
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	14.63	16.12	14.13
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	1.63	2.2	1.95
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	8.7	8.88	8.6
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	5.93	7.24	5.53
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	27.49	30.39	35.26
# DE GOLPES	30	20	9



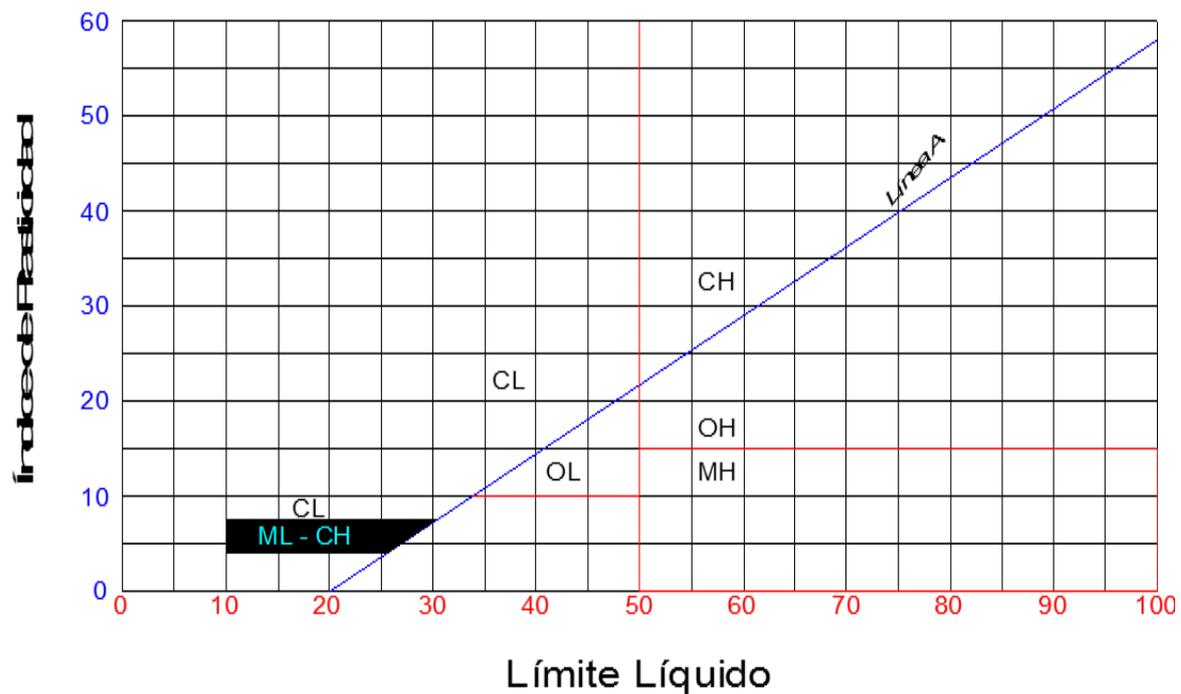
**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	4	6	14
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	8.84	8.3	9.04
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	8.4	7.92	8.6
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0.44	0.38	0.44
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	6.35	6.15	6.52
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	2.05	1.77	2.08
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	21.46	21.47	21.15

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

L. Líquido =	28.77
L. Plástico =	21.36
I. Plasticidad =	7.41

**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**

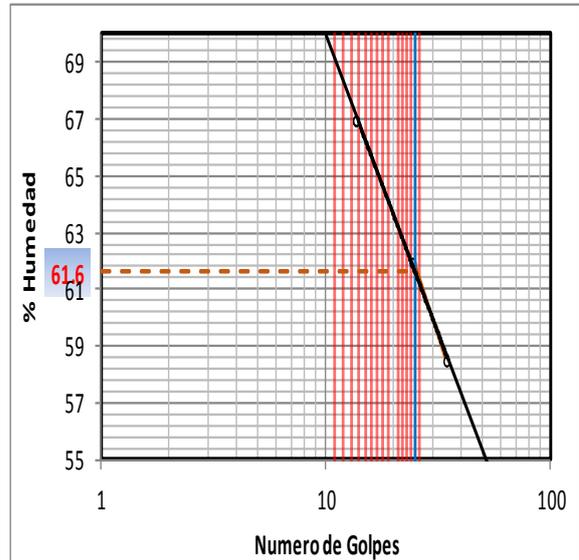


**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SPT (m9)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE PEDRO SCHUMASHER  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

NOTA: TODOS LOS VALORES SON EN GRAMOS

RECIPIENTE #	P	16	18
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	15.09	16.39	15.49
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	12.68	13.34	12.28
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2.41	3.05	3.21
MASA DE RECIPIENTE (P4)	8.55	8.41	7.48
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	4.13	4.93	4.8
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	58.35	61.87	66.88
# DE GOLPES	35	25	14



**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	W	16	25
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	7.71	7.5	7.14
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	7.32	7.08	6.79
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.39	0.42	0.35
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6.1	5.77	5.7
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	1.22	1.31	1.09
% DE HUMEDAD (W = P3 x 100 ÷ P5)	31.97	32.06	32.11

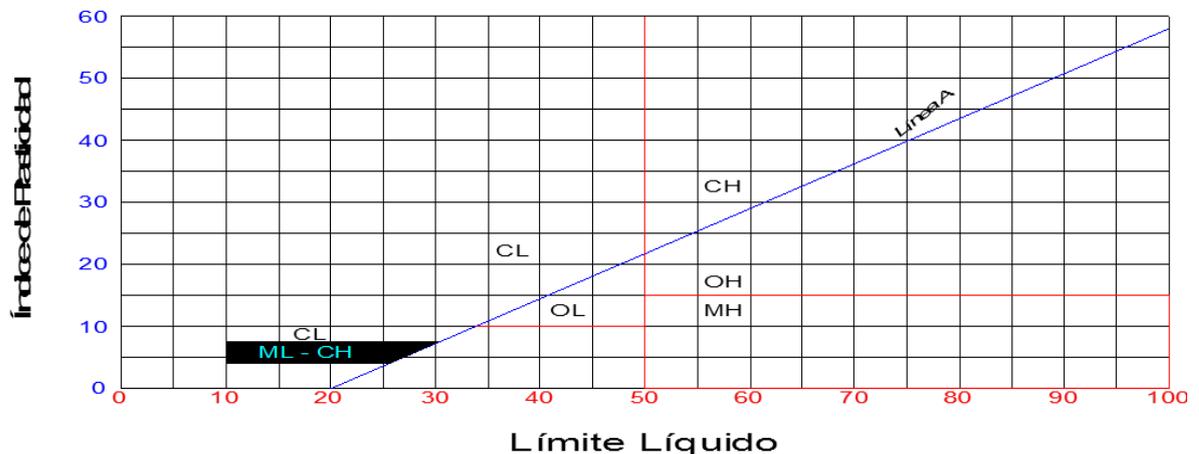
Observaciones :

Normas de Referencia

- INEN 691-1982
- INEN 692-1982
- ASTM D 4318-98
- AASHTO T 89-94
- AASHTO T 90-94

L. Líquido =	61.6
L. Plástico =	32.05
I. Plasticidad =	29.55

**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**

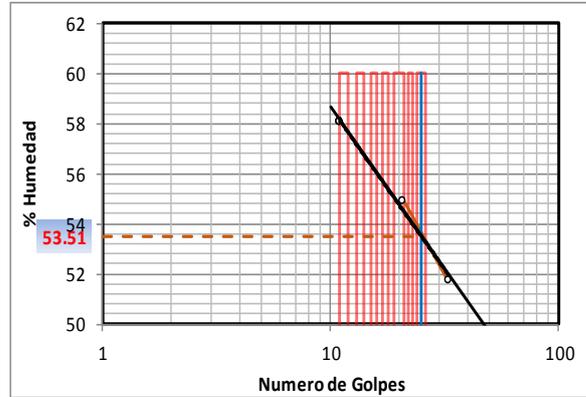


**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SPT (m10)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE PEDRO SCHUMASHER  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S 80°27'26.75"O

**LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	B	50	J
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	15.41	14.79	16.2
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	12.99	12.66	13.43
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2.42	2.13	2.77
MASA DE RECIPIENTE (P4)	8.31	8.78	8.66
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	4.68	3.88	4.77
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	51.71	54.90	58.07
# DE GOLPES	33	21	11

NOTA: TODOS LOS VALORES SON EN GRAMOS



**LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	13	30	15
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	8.37	8.23	7.69
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	7.99	7.85	7.24
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	0.38	0.38	0.45
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6.68	6.52	5.68
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	1.31	1.33	1.56
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	29.01	28.57	28.85

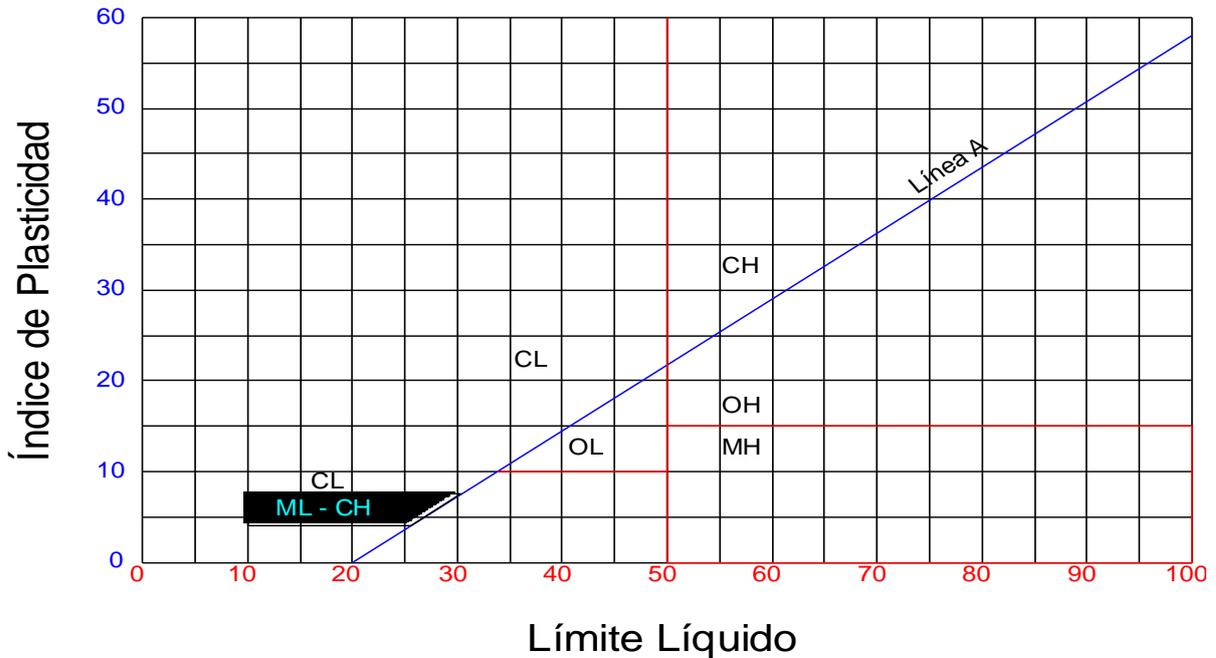
Observaciones:

Normas de Referencia

- INEN 691-1982
- INEN 692-1982
- ASTM D 4318-98
- AASHTO T 89-94
- AASHTO T 90-94

L. Líquido =	53.51
L. Plástico =	28.81
I. Plasticidad =	24.7

**CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE**



#### **4.4.4 Ensayo de limite de contracción**

El objetivo de este ensayo, es determinar el contenido de humedad máximo que el suelo tolera, antes de sufrir cambios en su volumen.

##### **Instrumentos a utilizar**

- Capsula de contracción
- Plato de evaporación
- Recipiente de vidrio (volumétrico)
- Mercurio
- Tamiz N° 40
- Grasa lubricante
- Placa plástica con 3 apoyos
- Probeta graduada de 25 ml. Y graduada de 0.2 ml
- Espátulas, trapos de limpieza
- Guantes o herramientas para manejar los recipientes.
- Horno de secado
- Balanza, previamente calibrada
- Recipientes de muestreo, deben ser de aluminio o porcelana y que soporte altas temperaturas, que sea resistente a la corrosión ya que tendrá contacto con la humedad de las muestras, además deberán tener un código para su respectiva identificación.

##### **Procedimiento**

- 1.- utilizamos material pasante del tamiz N° 40.
- 2.- amasamos y lo llevamos a un contenido de humedad similar o algo superior al limite liquido.
- 3.- Luego recubrimos el interior de la capsula con una capa fina de grasa.
- 4.- Procedemos a llenar la capsula, en 3 capas, y vamos compactando cada capa con golpes suaves sobre una superficie firme para eliminar burbujas de aire.
- 5.- Luego al finalizar las 3 capas enrazamos con la espátula y pesamos, para determinar el contenido de humedad y se lleva al horno.
- 6.- Lo dejamos secar en el horno a temperatura estándar, y una vez seco lo retiramos y hallamos el peso seco.
- 7.-luego de que hemos determinado el volumen de la muestra seca, utilizamos el desplazamiento en mercurio.

8.- Colocamos la pastilla de suelo sobre un recipiente enrasado con mercurio, y se introduce con la ayuda de una placa plástica, de tres puntas.

9.- En un recipiente se recoge el volumen de mercurio desplazado, y lo colocamos en una probeta para determinar su volumen.

10.- luego determinamos el volumen inicial que será igual al volumen de la capsula, de la misma forma vertimos el mercurio dentro de la capsula y luego lo colocamos en la probeta para hacer la lectura correspondiente.

### LIMITE DE CONTRACCIÓN

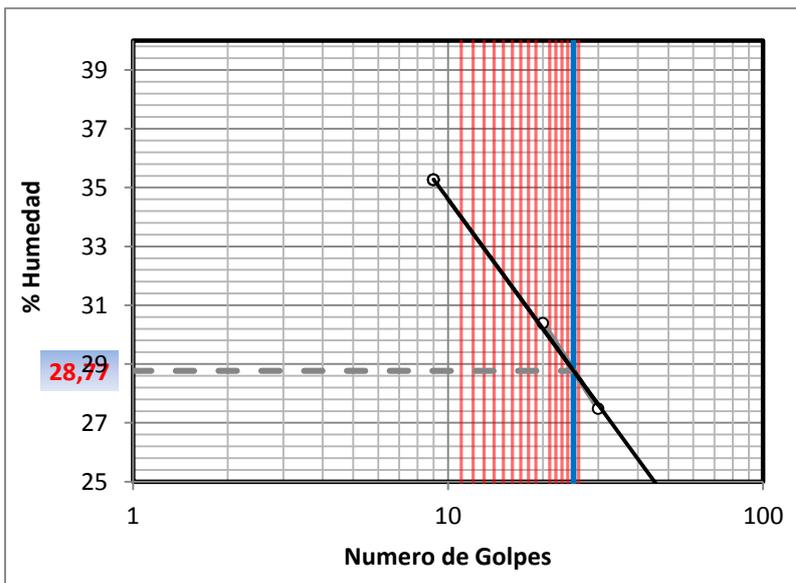
**PROYECTO:** TESIS LICUEFACCION DEL SUELO SPT (m8)  
**UBICACION:** CANTON PORTOVIEJO CALLE PEDRO SCHUMASHER  
**COORDENADAS:** 1°3'41.62"S80°27'26.75"O

### **LIMITE LÍQUIDO**

RECIPIENTE #	77	0	130
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	<b>16,26</b>	<b>18,32</b>	<b>16,08</b>
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	<b>14,63</b>	<b>16,12</b>	<b>14,13</b>
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	1,63	2,2	1,95
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	<b>8,7</b>	<b>8,88</b>	<b>8,6</b>
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	5,93	7,24	5,53
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	<b>27,49</b>	<b>30,39</b>	<b>35,26</b>
# DE GOLPES	30	20	9

### **LIMITE PLÁSTICO**

RECIPIENTE #	4	6	14
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	<b>8,84</b>	<b>8,3</b>	<b>9,04</b>
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	<b>8,4</b>	<b>7,92</b>	<b>8,6</b>
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	0,44	0,38	0,44
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	<b>6,35</b>	<b>6,15</b>	<b>6,52</b>
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	2,05	1,77	2,08
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	<b>21,46</b>	<b>21,47</b>	<b>21,15</b>



**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>28,77</b>
<b>L. Plástico =</b>	<b>21,36</b>
<b>I. Plasticidad =</b>	<b>7,41</b>

LIMITE DE CONTRACCION								
NOMBRE DE CAPSULA		1	2	V	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 = $\frac{V - V_o}{D} \times 100$		19,78	17,33	
D=C - A	P. del Suelo seco (g)	22,44	26,78					
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	
				lc= LL - Lc	Indice de Contracción lc (%)	9,54	10,69	

### Analisis del Ensayo de Limite de Contraccion.

Los resultados del ensayo de limite de contracción en las dos muestras tomadas, nos dan un limite de contracción alto, por lo que según la tabla de limites de contracción, los suelos con porcentajes de contracción de 10% a 15% son suelos pobres.

A mayor porcentaje de contracción el suelo es mas pobre.

#### 4.5 Desarrollo del cálculo de licuefaccion del suelo, en el sitio de estudio

Varios investigadores han recabado datos de sismos y han estudiado sitios en los que se en generado procesos de licuefacción y donde no, en distintas regiones y países del mundo. Con esta información se han generado metodologías de cálculo para evaluar la posibilidad que tiene una zona definida de generar procesos que lleven a la licuefacción [34].

Los métodos de evaluación más conocidos son los que se analizan las relaciones de tensiones cíclicas que generan los sismos y los comparan con la relación de tensiones cíclicas que resisten los suelos donde se supone ocurrirá el sismo de diseño. Del cociente de estas dos relaciones, se obtiene un coeficiente de seguridad que cuantifica la posibilidad de que ocurran procesos de licuefacción.

Debemos destacar que cuando nos referimos a relaciones de tensiones cíclicas estamos hablando de relacionar las tensiones de corte “ $\tau$ ” con las tensiones verticales efectivas en el mismo punto “ $\sigma'v$ ”.

Para evaluar el proceso y obtener el coeficiente de seguridad, se requieren realizar varios pasos de un proceso de cálculo basado fundamentalmente en los ensayos de SPT que realizamos en el campo.

A continuación detallaremos los pasos para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo durante un sismo.

1. Realizar la mayor cantidad de investigaciones geotécnicas para definir con propiedad la estratigrafía del sitio, como ser perforaciones, calicatas, ensayos de SPT, ensayos de cono, extracciones de muestras, etc. Ejecutar en forma complementaria los estudios de laboratorio que correspondan para conocer con propiedad en tipo de material que se trata, como ser: Propiedades índices, los análisis granulométricos por lavado de las muestras, de forma de identificar perfectamente los materiales de los distintos mantos.

2. Hacer un estudio detallado de las tensiones verticales totales  $\sigma_v$  y de las tensiones verticales efectivas  $\sigma_v'$  para cada nivel.

3. Evaluar la relación de Tensiones Cíclicas (CSR) (Cyclic Straining Ratio) durante la ocurrencia de un sismo, que representa la relación de tensiones de corte a una profundidad dada, que se genera por las solicitaciones ocasionadas cuando sobreviene el sismo de diseño y la tensión efectiva vertical que se manifiesta al mismo nivel.

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

4. Finalmente lo que calculamos hasta acá supone que la columna de suelo analizada se comporta como un sólido rígido, esto no es así ya que la columna de suelos, como se verá, tiene movimientos relativos distintos que disminuyen a medida que aumenta la profundidad, por lo que la ecuación anterior debe ser afectada por un coeficiente de reducción “rd” que vale 1 para el nivel de la superficie y disminuye 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 “rd” que se define como un factor de flexibilidad de la columna de suelos desde la superficie a la profundidad que se está evaluando, queda definido como: La relación entre el pico de tensiones de corte al pie de la columna de suelos ( $\tau_{máx}d$ ) y la tensión de corte de un cuerpo rígido ( $\tau_{máx}r$ ).

Si la columna analizada estuviera compuesta por un material rígido, el valor de rd para cualquier profundidad sería igual a 1 Existen numerosos caminos para aproximar el valor de rd para una profundidad “z”, se calcula utilizando las siguientes ecuaciones: Para valores de  $z \leq 34$  m

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

Donde:

M es la magnitud del sismo y además los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  se calculan con las siguientes ecuaciones en función de la profundidad “z”.

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

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

### 5. Influencia de la Magnitud del Sismo

Los valores dados por la ecuación anterior, son válidos para un sismo de diseño de magnitud  $M = 7,5$  de la escala 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  $M = 7,5$ .

Este factor de escala queda definido por la siguiente relación:

$$MSF = \frac{CSR\ m = 7,8}{CSRm}$$

Es decir la relación entre las tensiones de corte cíclicas provocadas por un sismo de magnitud “M” y las tensiones de corte 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 cuál la ecuación de CSRm quedaría de la siguiente forma:

$$CSRm = 0,65 \left(\frac{a\ max}{g}\right) * \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_v'}\right) * \left(\frac{rd}{MSF}\right)$$

### 6. Valores a considerar de los ensayos de SPT

Evaluar los valores de los ensayos de penetración SPT a través del N° de golpes 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 a la cañería que conecta en profundidad con el sacamuestras normalizado de Terzaghi. Sin embargo los trabajos que permiten calcular el potencial de Licuefacción y que están basados en el ensayo SPT, están referidos a un equipo standard de ensayo que

transmite una energía del 60 % de la nominal teórica, por lo tanto hay que corregir los ensayos que tenemos hechos con una energía E1 a esta nueva energía E60 haciendo

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

Donde “N” es el N° de golpes logrado para una energía E1 y N60 es el N° de golpes que se requeriría utilizando una energía del 60 %. A título de ejemplo, supongamos que tenemos un equipo que transmite una energía del 95 % con respecto a la nominal teórica y que queremos transformar un ensayo de SPT que nos dio N = 9 golpes con este equipo, a otro valor que nos hubiera dado el equipo Standard 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 considera un equipo Standard, en la tabla que se adjunta figuran una serie de características que dan varios 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

## 7. Influencia de la tapada del suelo

Teniendo el valor estandarizado de N que hemos llamado N60, tenemos ahora que obtener el valor normalizado del SPT, que llamaremos (N1)60. Esta corrección que corresponde aplicar únicamente a los suelos granulares, deriva de los cambios que experimentan los suelos de este tipo con la presión de confinamiento, que en los mantos naturales es una función directa de la tapada o más directamente de la profundidad “z” a la que se ejecuta el ensayo.

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 la atmosfera que equivale a 101 kPa o a 1kg/cm<sup>2</sup> o a 10tn/m<sup>2</sup>.

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

#### 8. Correcciones por contenido de finos

El valor de (N1)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 (N1)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 a la licuefacción en las arenas limosas. Para compensar este efecto se recomienda aumentar el número de golpes del SPT a medida que aumenta el contenido de finos del suelo granular, es decir el valor de (N1)60 debe ser incrementado en una cantidad  $\Delta(N1)60$  que dependerá del contenido de finos del suelo.

$$(N1)60_{cf} = (N1)60 + \Delta(N1)60$$

El valor de  $\Delta(N1)60$  puede ser evaluado a partir del contenido de finos de la arena con la siguiente ecuación propuesta por Idriss y Boulanger 2004.

$$\Delta(N1)60 = \exp\left(1,63 + \frac{9,7}{CF} - \left(\frac{15,7}{CF}\right)^2\right)$$

Para aplicar esta corrección, un incremento de resistencia a la penetración de síntesis,  $q_{1cN}$ , o (N1)60, se añade a la resistencia calculada normalizado  $q_{1cN}$ . Este incremento representa las influencias combinadas del contenido fino sobre resistencia a la penetración en función de la FC.

For $FC \geq 35\%$	$\Delta q_{1cN} = 60$	$\Delta (N_1)_{60} = 7.2$
For $FC \leq 5\%$	$\Delta q_{1cN} = 0$	$\Delta (N_1)_{60} = 0$
For $5\% < FC < 35\%$	$\Delta q_{1cN} = 2 (FC - 5)$	$\Delta (N_1)_{60} = (1.2/5) (FC - 5)$

## 9. Relación de Resistencia Cíclica.

Una vez calculados los valores de (N1)60CF corregida por presión de la tapada, por la energía utilizada por el equipo que ejecuta el ensayo y por el contenido de finos, estamos en condiciones de evaluar cual será el esfuerzo cíclico generado por el sismo para producir licuefacción en el suelo estudiado.

Para ello se evaluaron ejecutando estudios de suelos con equipos de SPT a lo largo de muchos años en distintos sitios del planeta donde se generaron sismos y que se generaron o no problemas de licuefacción. Estos valores son ploteados en gráficos donde en ordenadas se representa la Relación de Resistencia Cíclica “CRR” máxima del suelo y en abcisas el número de golpes corregido del SPT (N1)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 los que se ubican por debajo de la misma representan a estratigrafías donde no se sepera que ocurran problemas de licuefacción. Las últimas investigaciones realizadas por Idriss y Boulanger 2004, permiten obtener la ecuación de la Relación de resistencia cíclica CRR para un sismo de magnitud  $M = 7,5$  y una presión efectiva de  $1 \text{ atm} \approx 1\text{kg/cm}^2 \approx 101 \text{ kPa} \approx 10 \text{ tn/m}^2$ .

$$(CRR)_{m7,8} = \exp \left[ \frac{(N1)60CF}{14,1} + \left( \frac{(N1)60CF}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N1)60CF}{23,6} \right)^3 + \left( \frac{(N1)60CF}{25,4} \right)^4 - 2,8 \right]$$

La razón de 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. En la Figura que se adjunta se presentan las curvas que relaciona CRR con los valores corregidos del ensayo de SPT, para suelos no cohesivos con un contenido de finos menor que 35%.

Como hemos dicho éstas curvas son aplicables para sismos con magnitud  $M = 7,5$ . Para considerar la resistencia del suelo para un sismo de otra magnitud  $M \neq 7,5$ , debe aplicarse un factor de ajuste, el cual se estima mediante los resultados medidos y recomendados por Seed et al 1983 que se muestran en la siguiente figura.

Matemáticamente se puede utilizar la siguiente expresión para obtener el valor de  $K_m$  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 generen una presión efectiva menor o igual

a  $\sigma_v' = 1$  atm Para profundidades que generen una tensión mayor de  $\sigma_v' = 1$  atm debe aplicarse un factor de corrección por sobrecarga efectiva.

Este factor que llamaremos  $K\sigma$  puede ser estimado mediante la siguiente ecuación:

$$K\alpha = 1 - C\sigma * \text{Ln}\left(\frac{\sigma_v'}{Pa}\right) \leq 1,3$$

Donde:

$$C\sigma = \left(\frac{1}{18,9 - 2,55 * \sqrt{(N1)60}}\right) \leq 0,3$$

Finalmente se debe aplicar una tercera corrección por tensiones de corte estáticas, generalmente provocadas por las tensiones inducidas por la estructura que se analiza, esta corrección se indica con “ $K\alpha$ ” en la que  $\alpha$  es la relación de tensiones estáticas  $\alpha = \tau_{ho}/\sigma_v'$  que puede ser calculada con las cartas de distribución de tensiones 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 CRR, para cualquier sismo particular y para cualquier profundidad se determina mediante la expresión:

$$CRRM = CRR7,8 * KM * K\sigma * K\alpha$$

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

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

**CRRM** = Relación de Resistencia Cíclica que presenta el suelo para un sismo de magnitud M.

**CSRM** = Relación de Tensiones Cíclicas impuestas por el sismo de magnitud M.

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

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).

En la página siguiente se adjunta la tabla del cálculo de licuefacción, realizada en Excel, a una profundidad de hasta 10 metros, realizada a los lados del puente Santa Cruz, en la Ciudad de Portoviejo, luego del sismo del 16 de Abril del 2016, en la que varias viviendas colapsaron y otras resultaron afectadas.

**Tabla 2. Resultados generales de los ensayos de laboratorio (Tabla de licuefacción)**

Profundidad m	Contenido de finos %	Tipos de suelos CU	N	$q_v$ Kn/m <sup>2</sup>	U kn/m <sup>2</sup>	$q_v'$ Kn/m <sup>2</sup>	CN	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	$\Delta(N_1)_{60}$	(N <sub>1</sub> ) <sub>60CF</sub>	$\alpha(z)$	$\beta(z)$	rd	MSF	CSR <sub>M</sub>	K <sub>M</sub>	K $\alpha$	$C\theta \leq 0,3$	$K\theta \leq 1,3$	CRR7.8	CRR <sub>M</sub>	F <sub>s</sub>	Aplicable
1	1.92	CL	11	18.73	0	18.73	2.26	17.4	7E-27	0	-0.03	0.00	1.00	0.92	0.35	0.95	1.00	0.12	0.92	0.06	0.05	0.15	No
2	0.8	OL	4	37.46	30	7.46	3.58	6.3	5E-162	6.3	-0.08	0.01	0.99	0.92	0.18	0.95	1.00	0.08	1.02	0.09	0.09	0.51	No
3	0.99	OL	5	74.92	30	44.92	1.46	7.9	5E-105	7.9	-0.13	0.02	0.99	0.92	0.58	0.95	1.00	0.09	0.87	0.10	0.09	0.15	Si
4	2.1	OL	4	89.02	40	49.02	1.40	6.3	3E-22	6.3	-0.20	0.02	0.98	0.92	0.63	0.95	1.00	0.08	0.87	0.09	0.08	0.13	Si
5	0.17	OL	7	103.12	50	53.12	1.34	11.1	0E+00	11.1	-0.27	0.03	0.97	0.92	0.66	0.95	1.00	0.10	0.84	0.13	0.10	0.15	Si
6	0.45	OL	8	117.22	60	57.22	1.29	12.7	0E+00	12.7	-0.34	0.04	0.96	0.92	0.69	0.95	1.00	0.10	0.82	0.14	0.11	0.16	Si
7	2.78	CL	14	131.32	70	61.32	1.25	22.2	2E-12	22.2	-0.42	0.05	0.95	0.92	0.72	0.95	1.00	0.15	0.74	0.24	0.17	0.23	Si
8	1.84	OL	12	145.42	80	65.42	1.21	19	2E-29	19	-0.50	0.06	0.94	0.92	0.73	0.95	1.00	0.13	0.76	0.19	0.14	0.19	Si
9	0.13	CH	13	159.52	90	69.52	1.17	20.6	0E+00	20.6	-0.59	0.07	0.93	0.92	0.75	0.95	1.00	0.14	0.74	0.21	0.15	0.20	Si
10	0.76	OH	12	173.62	100	73.62	1.14	19	8E-180	19	-0.68	0.08	0.92	0.92	0.76	0.95	1.00	0.13	0.74	0.19	0.14	0.18	Si

<b>Simbología</b>		Relación de tensiones cíclicas =	<b>CSR<sub>M</sub></b>	Relación de resistencia cíclica =	<b>CRR<sub>M</sub></b>
Esfuerzo vertical =	<b><math>q_v</math></b>	NSPT corregido =	<b>(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub></b>	Relación de resistencia cíclica debido al sismo	<b>CRR7.8</b>
Presión de poros =	<b>u</b>	Incremento de NSPT corregido =	<b><math>\Delta(N_1)_{60}</math></b>	Relación de tensiones cíclicas debido al sismo	<b>CRR<sub>M</sub></b>
Numero de golpes =	<b>N</b>	NSPT corregido con contenido de finos pasantes del tamiz N° 200	<b>(N<sub>1</sub>)<sub>60CF</sub></b>	Magnitud de corrección del sismo =	<b>K<sub>M</sub></b>
Esfuerzo vertical efectivo =	<b><math>q_v'</math></b>	Factor de corrección por profundidad =	<b>rd</b>	Factor de corrección por tensiones de corte =	<b>K<math>\alpha</math></b>
Factor de corrección al NSPT	<b>CN</b>	Factor de escala de magnitud =	<b>MSF</b>	Factor de seguridad =	<b>F<sub>s</sub></b>

<b>Densidades</b>				
	<b>Natural</b>	<b>Saturada</b>	<b>Agua</b>	<b>UNIDADES</b>
1.00 m	14.5	18.9	10	KN/M3
2.00 m	12.2	17.6	10	KN/M3
3.00 m	14.7	19.2	10	KN/M3
4.00 m	12.2	17.6	10	KN/M3
5.00 m	14.7	19.2	10	KN/M3
6.00 m	14.7	19.2	10	KN/M3
7.00 m	14.5	18.9	10	KN/M3
8.00 m	14.5	18.9	10	KN/M3
9.00 m	14.5	18.9	10	KN/M3
10.00 m	14.5	18.9	10	KN/M3

<b>N° DE GOLPES</b>		<b>CARACTERISTICAS DEL SUELO</b>
<b>Menos de</b>	<b>2</b>	<b>Muy blanda</b>
<b>2</b>	<b>4</b>	<b>Blanda</b>
<b>4</b>	<b>8</b>	<b>Media</b>
<b>8</b>	<b>15</b>	<b>Firme</b>
<b>15</b>	<b>30</b>	<b>Muy firme</b>
<b>Más de</b>	<b>30</b>	<b>Dura</b>

#### 4.6 Análisis final del cálculo de licuefacción

Una vez realizado nuestro SPT, y después de realizar todos los ensayos correspondientes, para finalmente elaborar nuestra tabla de análisis de licuefacción, se encontro que, en este lugar de estudio, si hubo licuefacción del suelo el día 16 de abril del 2016, lo que finalmente fue el principal motivo por el cual colapsaron las viviendas y otras presentaron graves daños en su estructura.

Ya que, en la mayoría de muestras, encontramos un suelo con mucha presencia de Arena, de baja plasticidad y un límite de contracción de mediano a alto, lo que nos determina que este terreno es bastante susceptible al fenómeno de licuefacción.

## CAPITULO V

### 5.1. Conclusiones

1. La investigación permitió comprobar que de las diez viviendas que se encontraban construidas en el sitio: calle Pedro Schumacher y callejón 3 de mayo, a un lado del puente Santa Cruz de la ciudad de Portoviejo, solamente dos de ellas estaban construidas de acuerdo a las exigencias y requisitos técnicos que le permitieron soportar el terremoto intenso ocurrido el 16 de abril de 2016. Especialmente en lo relacionado al estudio y preparación del suelo, pues sus cimientos y sistema estructural fueron construidos con los requerimientos técnicos exigidos, que les permitió soportar el sismo intenso sin haber sufrido daños de consideración.
2. Se pudo comprobar que en el caso de las seis viviendas que resultaron con daños serios y las dos que se colapsaron, fue motivado por la licuefacción del terreno, pues se encontraban próximas al río, además de no haberse construido bajo principios exigentes de construcción, donde no se realizó el estudio de suelo y su preparación fue muy débil.
3. Los resultados de los estudios de suelo realizado en el laboratorio de suelos y rocas de la Universidad Técnica de Manabí confirmaron, que las características del suelo y la presencia de manto freático superficial en la calle Pedro Schumacher y callejón 3 de mayo, a un lado del puente Santa Cruz de la ciudad de Portoviejo, hacen suponer que con la ocurrencia de un sismo intenso, se vuelva a producir el efecto de licuefacción del terreno, poniendo en peligro las estructuras construidas sobre dicho suelo, que no cumplan con rigurosos requerimientos de construcción estructural.

## **5.2. Recomendaciones**

1. Dada las características específicas del suelo en la calle Pedro Schumacher y callejón 3 de mayo, a un lado del puente Santa Cruz de la ciudad de Portoviejo, implica que las futuras obras de reconstrucción de las viviendas afectadas, tomen en consideración el riesgo real de licuefacción del terreno ante la ocurrencia de un sismo que pueda impactar a dicho sitio, por lo que se deberán cumplir rigurosas normas de preparación del suelo y para la construcción del sistema estructural.
2. En muchos otros sitios de la ciudad de Portoviejo se sufrieron consecuencias similares a las ocurridas en la calle Pedro Schumacher y callejón 3 de mayo, a un lado del puente Santa Cruz, por lo que resulta recomendable la realización de estudios rigurosos de suelo, así como su acondicionamiento, como requisito previo a la construcción de viviendas en la ciudad.

## CAPÍTULO VI

### 6.1.Presupuesto

Tabla: Análisis del presupuesto

RUBRO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Recursos Humanos	2	450,00	900,00
Recursos Materiales			
Papel	1000	4,00	4,00
Impresión	100	6,00	26,00
Transporte	5	10,00	50,00
Sub total			970,00
12% IVA			115,20
<b>TOTAL</b>			<b>1085,20</b>

Fuente: Docentes de la Universidad Técnica de Manabí

Elaboración: Autor del trabajo de titulación

## 6.2.Cronograma valorado

TIEMPOS ACTIVIDADES	Semanas										RECURSOS			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Humanos	Materiales	Otros	Costos USD
Recopilación de información	■	■									Investigadores de la carrera de Ingeniería Civil y Autores	Textos, Folletos e Internet	Varios	10,0
Aplicación de las técnicas		■	■								Investigadores de la carrera de Ingeniería Civil y Autores	Libros e Internet Equipamiento de laboratorio	Varios	15,0
Encuestas tabulación y análisis de datos			■	■							Autores Personal encuestado	Fotocopias, cuadernos de apuntes ,lápices	Varios	20,0
Tema y planteamiento de problema				■							Investigadores de la carrera de Ingeniería Civil y Autores	Textos, Folletos e Internet	Varios	15,0
Desarrollo del marco teórico				■	■						Investigadores de la carrera de Ingeniería Civil y Autores	Textos, Folletos e Internet	Varios	20,0
Visualización del alcance de estudio						■					Investigadores de la carrera de Ingeniería Civil y Autores	Textos, Folletos e Internet	Varios	10,0
Desarrollo y diseño de la investigación							■				Investigadores de la carrera de Ingeniería Civil y Autores	Textos, Folletos e Internet	Varios	15,0
Definición y selección de la muestra y recolección y análisis de datos								■			Investigadores de la carrera de Ingeniería Civil y Autores	Textos, Folletos e Internet	Varios	10,0
Reporte de los resultados (conclusiones y recomendaciones)									■		Investigadores de la carrera de Ingeniería Civil y Autores	Fotocopias, cuadernos de apuntes ,lápices	Varios	40,0
Presentación del proyecto final al tutor y revisor del trabajo de titulación										■	Autores	Carpeta, Impresiones y Sobres A4	Varios	50,0
Sustentación										■	Autores y Tribunal	Computadora , Proyector		000,0

### 6.3. Bibliografía

1. Sánchez D, et al., *Terremotos. Cuando tiembla la tierra*. Estáticos El Mundo. Material instructivo comunitario, 2016. **Consultado 20 julio 2016. Disponible en:** <http://estaticos.elmundo.es/aula/laminas/terremotos.pdf>.
2. Alfio B and Henríquez S, *Para defenderse de los terremotos hay que saber de ellos*. Movimondo. Unión Europea (DIPECHO), 2001. **E. M. Defensa Civil, INETER. Disponible en:** <http://webserver2.ineter.gob.ni/proyectos/movimondo/documentos/terremotos.pdf>.
3. Vidal F, *Los terremotos y sus causas*. Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, 2010. **Disponible en:** [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/\\$File/ETA-C1.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/$File/ETA-C1.pdf).
4. Caballero, M.C., *Sismos y Terremotos*. Instituto de Geofísica, 2016.
5. Dávila Madrid R, *Sismología. Notas Introductorias*. Centro de Geociencias UNAM. Campus Juriquilla. México, 2011. **Posgrado en Ciencias de la Tierra. Centro de Geociencias. Disponible en:** <http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/sismo/IntroSism.pdf>.
6. Jorge E. Alva H, et al., *Efectos en el terreno ocasionados por los sismos del Alto Mayo en Perú*. Consultado el 20 de noviembre de 2016, Disponible en: [http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis26\\_a.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis26_a.pdf), 2016.
7. Morales S José, *Efectos sobre el terreno debido a sacudidas sísmicas*. Instituto Andaluz de Geofísica y prevención de desastres sísmicos, 2015. **Consultado el 20 de noviembre de 2016. Disponible en:** [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C3/\\$File/ETA-C3.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C3/$File/ETA-C3.pdf).
8. Pirielles, M.R., *Los Terremotos*. Unidad I, Tema IV, Curso 2011-2012, 2012.
9. Leoni, A.J., *Proceso de licuefacción del suelo*. Universidad Nacional de la Mata. Área Geotecnia. Facultad de Ingeniería UNLP 2011.
10. Ecurrred, *Licuefacción*. Consultado el 20 de abril de 2017. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Premios\\_WSIS](https://www.ecured.cu/Premios_WSIS), 2016.
11. Cusco, G.R.d., *Estudio de mecánica de suelo EMS*. Informe técnico sobre el mejoramiento de la capacidad resolutive de ñilos servicios de salud del hospital Antonio Lorena Nivel III- I Cusco, 2012. **Gerencia de estudios de proyectos**.
12. Arquigráfico, *Importancia del estudio de suelos*. Consultado el 20 de noviembre de 2016, Disponible en: <http://www.arkigrafico.com/estudio-de-suelos-en-la-construccion-acuten-para-evitar-desplomes-en-los-edificios/>, 2016.
13. SAECSA, *Tecnología solar aplicada*. Consultado 20 julio de 2016. Disponible en: <http://saecasolar.com/catalogos/Luminarias.pdf>, 2016.
14. Flores, V.V., *Estudio de suelo con fines de cimentación*. Informe Técnico. Mejoramiento de los servicios de salud del puesto de salud Paruque Abajo- Red Otuzco- Julcan, 2008. **Laboratorio Geotécnico y Ensayos de Materiales de la Construcción**.
15. Carlos, C., *¿Qué es, cómo se hace y para qué sirve un Estudio de Suelo?* Disponible en: <http://blog.about-haus.com/estudio-de-suelo/>, 2016.
16. Robles, B.D., *Estudio de suelos*. Proyecto Salón Comunal Vereda la Ovejera. Municipio del Tambo. Departamento de Nariño, 2014. **Alcaldía Municipal**.
17. Carrasco, D., *Estudio de terreno para la escuela Monje Vela*. Consultor del Ministerio de Educación Zonal 3. Río Bamba. Ecuador, 2014.
18. SEPOR, *Uso de calicata para evaluar el riego*. Universidad de Talca. Cartilla de divulgación, Gobierno de Chile, 2015.

19. López, M.R.E., *Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración*. Convenio entre la cátedra de Geotecnia de la Universidad Tecnológica Nacional, Unidad Académica Concordia y Facultad Regional Buenos Aires. , 2003.
20. Contreras, A., *Ensayo S-19. Método Standard para el ensayo de penetración y obtención de muestras de suelo 2015*.
21. Botía, D.W.A., *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. Trabajo de grado. , 2015. **Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá.**
22. Suarez, V.J.S., *Guía de Laboratorio del Área de Suelos*. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, 2013.
23. Polanco, R.A., *Práctica de laboratorio de mecánica de suelo 1*. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chichahua, 2015.
24. Valencia, S.J.M., *Diseño del sistema documental del laboratorio de suelos y materiales, Ingeniero Angel Guzman Urbina, de la escuela de Ingeniería Civil*. Universidad del Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2008.
25. Lira, F.L., *Informe de prospección de suelos y análisis de muestras en laboratorio*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, 2011. **Informe No 615.754. Planta de áridos de Aconcagua.**
26. Garibay, M.T., *Determinación de humedad natural*. Consultado el 25 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Determinacion%20de%20humedad%20natural.PDF>, 2005.
27. Acosta Jesús D, Padilla Jesús D, and Grisales Sebastián, *Cómo influye el nivel freático en las obras civiles*. Prezi, 2015. **Consultado el 20 de noviembre de 2016, Disponible en: <https://prezi.com/ffpxsmftmds5/como-influye-el-nivel-freatico-en-obras-civiles/>**.
28. Borfitz, A., *Trabajo práctico de laboratorio No 2a. Humedad natural*. Catedra Geotecnia. Disponible en: <http://ing.unne.edu.ar/pub/Geotecnia/2k8-04-10/l2-pi.pdf>, 2008.
29. Gomez, G.M., *Límite de consistencia de los agregados para mezclas de concreto*. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Civil y Geomática, 2009. **Universidad Nacional Autónoma de México.**
30. Acevedo, V.M.E., *Determinación experimental del índice de compresión en las arcillas del valle de México y la relación que guarda con las propiedades índice*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.
31. Calero, S.V.E., *Determinación del comportamiento del hinchamiento y retracción de suelos que tienen plasticidad, en algunos puntos de la carretera longitudinal del norte, en el tramo comprendido entre Metapan del departamento de Santa Ana y Sensuntepeque del departamento de Cabañas*. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad del Salvador, 2016.
32. Carreras, M., *Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz No 200 en agregado mineral por lavado*. Laboratorio de materiales de la construcción. Universidad Centroamericana. El Salvador, 2015.
33. Salager, J.L., *Granulometría teoría*. Cuaderno FIRP S554-A. Módulo de enseñanza en fenómenos interfaciales, 2007. **Laboratorio de formulación interfases, reología y procesos. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Mérida, Venezuela.**
34. Leoni, A.J., *Licuefacción*. Facultad de Ingeniería UNLP, 2015. **Consultado el 15 de marzo de 2017. Disponible en: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/root0\\_Apunte%20sobre%20Licuefaccion%20e%20suelos.pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/root0_Apunte%20sobre%20Licuefaccion%20e%20suelos.pdf)**.

## 6.4 Anexos

Entrevista técnica especializada a profesores, especialistas e ingenieros civiles en la Universidad Técnica de Manabí.

Objetivos: Obtener criterios especializados sobre los efectos de las condiciones del suelo y el estado constructivo de las edificaciones en caso de ocurrencia de un sismo de gran intensidad en la ciudad de Portoviejo.

- 1- ¿Cuál es su criterio respecto al estado constructivo de las edificaciones en la ciudad de Portoviejo?
- 2- ¿Usted considera que el efecto de la licuefacción del terreno contribuyó a la gravedad de los daños ocurridos en las edificaciones durante el sismo del 16 de abril de 2016. Puede poner ejemplos?
- 3- ¿Qué importancia usted le concede al estudio del suelo previo a la realización de las construcciones?
- 4- ¿Qué parámetros usted considera que pueden ser tomado en consideración para predecir la posible ocurrencia de licuefacción del suelo durante un sismo intenso?
- 5- ¿Qué medidas preventivas usted considera que debe tomarse para evitar la consecuencia de la licuefacción del terreno en las edificaciones durante un sismo?

Entrevistado: \_\_\_\_\_

No de cédula: \_\_\_\_\_



Entrevista al Ing. Arturo Sosa, colaborador del laboratorio de suelos de la U.T.M.



Entrevista al Ing. Martin Veliz, Director del Laboratorio de Suelos de la U.T.M



Entrevista al Ing. Lincoln García, Docente especializado en Estructuras y Sismos



Autores de la tesis, en la toma de muestras, mediante la técnica de SPT.



Autores de la tesis, durante la toma de las muestras en el sitio de estudio.



Autores de la tesis, depositando las muestras en fundas plásticas para que no pierdan sus características.



Autores de la tesis y docente tutora, realizando ensayos de Laboratorio



Autor de la tesis, realizando ensayo de plasticidad



Autores de la tesis, durante los ensayos de laboratorio, apuntando los datos de las muestras.



Autor de la tesis, lavando el material a utilizar en los ensayos.