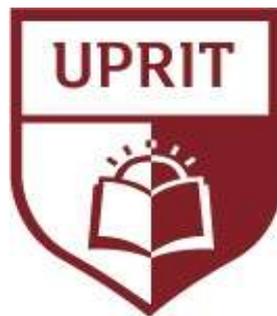


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE
LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN
EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA,
TRUJILLO 2018**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Autor:

Bach. Pepe Walter Heras Flores

Asesor:

Ing. Mg. Eduardo Enrique Durand Bazán

TRUJILLO – PERU

2020

APROBACIÓN DE TESIS

El Asesor y los miembros del Jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la Tesis desarrollada por el Bachiller **Pepe Walter Heras Flores**, denominada: **DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO 2018.**

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

DEDICATORIA

La presente tesis, la dedico en primer lugar a Jehová, quien sabe guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante, enseñándome a enfrentar las adversidades y no desfallecer en el intento.

A mi esposa Teodolinda, por creer en mí, por confiar en mi capacidad, aun que hemos pasado momentos difíciles, siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor; a mis amados hijos: Larisa, David y Caleb, por ser fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

A toda mi familia, principalmente a mi madre Corina y hermano Ceideler que han sido pilares fundamentales en mi formación profesional, a mis otros hermanos, Lola, Maruja, Rosita y Cesar, quienes con sus palabras de aliento me motivaban a que siguiera adelante, siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.

A mis amigos y compañeros Fernando y Wilson, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su valioso tiempo, conocimiento, alegrías y tristeza durante nuestro periodo de estudio.

Gracias a todos

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a nuestro creador Jehová, por haberme dado la vida, salud y el don de la perseverancia para alcanzar mis metas, pese a las dificultades que se presentaron

A la Universidad, porque nos abrió sus puertas para ser mejores personas, buenos profesionales en aras de una mejor calidad de vida para mi familia y contribuir en el desarrollo de nuestro país.

A los Catedráticos, que con el pasar del tiempo se han convertido en nuestros mejores amigos, consejeros y en un ejemplo a seguir.

A mis compañeros de clases, ya que con ellos pasamos buenos y malos momentos, que solo se viven en la Universidad y que con algunos más que compañeros hasta la fecha somos verdaderos amigos.

Pepe Walter Heras Flores

ÍNDICE DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Realidad problemática.	10
1.2 Formulación del problema.	19
1.3 Justificación.	19
1.4Objetivos.	20
1.5Antecedentes.	21
1.6Bases Teóricas.....	26
1.7Definición de términos básicos.	47
1.8Formulación de la hipótesis.....	48
1.9Propuesta de aplicación profesional.....	48
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	49
2.1. Material:.....	49
2.2. Material de estudio.....	49
• Muestreo:.....	50
• Muestra:.....	50
2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.	51
2.3.2.1. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS	54
2.3.2.2. INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	54
2.4. Operacionalización de variables.	59
III. DESARROLLO DE TESIS Y RESULTADOS	60
IV. DISCUSIÓN.....	94
V. CONCLUSIONES.....	97
VI. RECOMENDACIONES.....	99
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	100
ANEXOS.....	103
Anexo 1: Panel fotográfico de las calicatas para el estudio de suelos en el sector el Progreso en el distrito de Víctor Larco.	103
Anexo 2: Guía de observación de licuación de suelos del distrito de Víctor Larco.	106

LISTA DE TABLAS

Tabla 1, Escala de Mercalli Modificada (Bravo, 2015).....	28
Tabla 2, Influencia de varios factores en la susceptibilidad de licuación, L, y la deformación	42
Tabla 3, Susceptibilidad de suelos a sufrir licuación de arenas acorde a Youd y Perkins.....	44
Tabla 4, operacionalización de la variable	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1, granulometría de algunos suelos que han licuado	35
Figura 2, concepto de compacidad relativa	36
Figura 3, Efecto de la historia sísmica sobre las características de licuación de una arena.....	38
Figura 4, Variación de los esfuerzos de cizalla con la profundidad	46
Figura 5, Distrito Víctor Larco Herrera - Trujillo	49
Figura 6, Procedimientos.....	51
Figura 7, cartograma.....	54
Figura 8, procedimiento de análisis.....	54
Figura 9, Las curvas de relación de r_d y profundidad, desarrolladas por Seed e Idriss (1971),	56

RESUMEN

La presente investigación realizada en el distrito de Víctor Larco Herrera, respaldada por la municipalidad distrital de Víctor Larco Herrera y la Universidad Privada de Trujillo, comprende la determinación de las zonas de riesgo de licuación de suelos durante un sismo; el proceso de la investigación tuvo un periodo de duración de aproximadamente dos meses entre la recolección de datos y su análisis en el laboratorio INGEOMA S.A.C. El propósito de esta investigación es realizar un cartograma de riesgo de licuación en esta zona de manera que se tome las medidas adecuadas para la prevención de desastres y pérdidas humanas durante un evento telúrico. Se utilizó el método de Seed e Idriss para determinar la resistencia del suelo contra la potencia de licuación de un sismo supuesto de aproximadamente 7.5 en la escala de intensidad de Mercalli. La investigación se justifica en la alta napa freática de la zona, la humedad y el tipo arenoso de suelo, características propias de un suelo que tiende a licuar; además de la alta densidad de población que habita esta zona sin hacer un estudio de suelos mínimo. La licuación de los suelos puede afectar en gran medida una ciudad durante un sismo, además ésta se puede predecir por eventos pasados o esfuerzos normales del suelo en la zona; para esto se tomó una cantidad de 40 puntos de todo el distrito, según lo indica la norma E030 dependiendo del uso mayoritario del lugar. El ensayo utilizado para la recolección fue el SPT y luego se realizó la caracterización de las muestras para poder determinar su potencial de licuación. Se obtuvieron resultados esperados, donde se observa que mientras más cerca está la costa, más probabilidades de licuar existen; además se logró clasificar los suelos en tres tipos: los suelos que licuan en su totalidad, los suelos que solo licua 5 metros de profundidad, y los suelos que no licuan en absoluto. De esta manera se puede advertir y tomar las medidas adecuadas para cada caso durante un sismo.

ABSTRACT

The present investigation, supported by the district municipality of Víctor Larco Herrera and the University of Trujillo, includes the determination of the zones of risk of liquefaction of soils during an earthquake in said district of the province of Trujillo; the research process lasted approximately two months between data collection and analysis in the laboratory INGEOMA S.A.C. The purpose of this research is to carry out a liquefaction risk cartogram in this area so that appropriate measures are taken for the prevention of disasters and human losses during a telluric event. The method of Seed and Idriss was used to determine the resistance of the soil against the liquefaction power of an assumed earthquake of approximately 7.5 on the Mercalli intensity scale. The research is justified in the high water table of the area, the humidity and the sandy soil type, characteristic of a soil that tends to liquefy; In addition to the high population density that inhabits this area without doing a minimum soil study. The liquefaction of soils can greatly affect a city during an earthquake, and this can be predicted by past events or normal soil stresses in the area; for this, an amount of 40 points was taken from the entire district, as indicated by the E030 standard, depending on the majority use of the place. The test used for the collection was the SPT and then the characterization of the samples was carried out in order to determine their liquefaction potential. Expected results were obtained, where it is observed that the closer the coast is, the more likely to liquefy exist; It was also possible to classify the soils in three types: the soils that liquefy in their entirety, the soils that only liquefy 5 meters deep, and the soils that do not liquefy at all. In this way it is possible to warn and take the appropriate measures for each case during an earthquake.

I. INTRODUCCIÓN.

En el estudio de suelos se evalúa el movimiento de las fuerzas externas (sismos) y por lo tanto una nueva fuerza aparece, la fuerza de inercia, la cual crece significativamente cuando el intervalo de tiempo donde ocurre la deformación cíclica se acorta. Por lo que; aun cuando el nivel de la fuerza es infinitesimal, la fuerza de inercia puede ser considerable. **(Ishihara, 1996)**

Además, es un hecho experimental que el mismo movimiento sísmico produce resultados diferentes en estructuras edificadas en suelos distintos. **(Alarcón, 1989)**

Es sabido que la dinámica de suelos es mucho menos estudiada y más impredecible, causando muchos problemas en los diferentes tipos, en particular, cuando el suelo está compuesto mayormente de arena y está saturado, se produce un fenómeno llamado Licuación de suelos, que se puede explicar cómo la pérdida de resistencia al corte del suelo que, al transformarse en una especie de líquido viscoso, es incapaz de resistir cargas. **(Heras, 2018)**

Se han recopilado de diferentes investigadores información histórica de los eventos sísmicos más importantes que ocurrieron en el Perú desde el siglo XVI hasta el presente, de manera que se tiene una base de datos de las zonas donde hubo y podría ocurrir licuación de suelos. **(Hurtado J. A., 1994)**

(Hurtado J. A., 1994) presentó un mapa de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú. Este mapa se basó en treinta mapas de isosistas de terremotos recientes en intensidades puntuales de terremotos históricos. Este mapa representa el nivel de daño: vibración del suelo, licuación, deslizamientos, etc. Éste indica una alta actividad sísmica en la costa peruana debido a la subducción de la placa Nazca bajo la Placa Sudamericana.

1.1 Realidad problemática.

La realidad en el área de la mecánica de suelos clásica se trabaja con problemas estáticos, los cuales son muy inexactos por las diferentes aproximaciones y suposiciones dado el poco conocimiento y la dificultad de sistematizar las leyes de comportamiento de los suelos, además del estudio experimental del asentamiento, el cual está sujeto a una cantidad determinada de deformación. Sin embargo, en la dinámica de suelos se estudia su movimiento por fuerzas externas (sismos) y por lo tanto una nueva fuerza aparece, la fuerza de inercia, la cual crece significativamente cuando el intervalo de tiempo donde ocurre la deformación cíclica se acorta. Por lo que; aun cuando el nivel de la fuerza es infinitesimal, la fuerza de inercia puede ser considerable. (Ishihara, 1996)

Además, es un hecho experimental que el mismo movimiento sísmico produce resultados diferentes en estructuras asentadas en suelos distintos. (Alarcón, 1989)

En general la dinámica de suelos es mucho menos estudiada y más impredecible, causando muchos problemas en los diferentes tipos, en particular, cuando el suelo está compuesto mayormente de arena y está saturado, se produce un fenómeno llamado Licuación de suelos, que se puede explicar cómo la pérdida de resistencia al corte del suelo que, al transformarse en una especie de líquido viscoso, es incapaz de resistir cargas. (Heras, 2018)

En Japón, (Kuribayashi & Tatsuoka, 1975) hacen una recopilación de los sitios donde se presentó y por ende donde podría presentarse la licuación de suelos desde 1872 hasta 1965 (después del sismo de 1964 en Kobe) y además que existía una relación entre este fenómeno y la intensidad, magnitud y distancia al epicentro del sismo. Ya que existe un gran peligro de sufrir sismos constantemente en esta zona ya que se encuentra en el límite de tres placas tectónicas: Placa del Pacífico, Placa Filipina y Placa Euroasiática.

Según (Rosado, 2010) en Estados Unidos existe gran cantidad de estaciones que determinan las zonas en riesgo de licuación, así como también monitorean los sismos y las variantes que estos causan, como fue en el terremoto de Northridge en 1994 y otros más. Sin embargo, aún no se puede hacer estudios suficientemente detallados de las variaciones de velocidades del suelo en pequeñas áreas, lo cual sería de gran ayuda para entender el problema de la licuación. (S.S., 1997)

(Rosado, 2010), menciona que en México es donde se hacen más investigaciones sobre las zonas donde se podría localizar licuación ya que se encuentra en una zona de interacción de cinco placas tectónicas: las de Rivera, de Norteamérica, de Cocos, del Caribe y del Pacífico; y existe una gran liberación de energía manifestándose en ondas sísmicas produciéndose en algunos casos licuación, como fue el caso del sismo de Tucumán del 2003. Se observó que las zonas en las que se presenta licuación o desplazamiento lateral del suelo tienen alta posibilidad de repetir la ocurrencia de éste. (Rosado, 2010)

Se han recopilado de diferentes investigadores información histórica de los eventos sísmicos más importantes que ocurrieron en el Perú desde el siglo XVI

hasta el presente, de manera que se tiene una base de datos de las zonas donde hubo y podría ocurrir licuación de suelos.

(Hurtado J. A., 1994) presentó un mapa de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú.

(Hurtado J. A., 1994) menciona que este mapa se basó en treinta mapas de isosistas de terremotos recientes en intensidades puntuales de terremotos históricos, este mapa representa el nivel de daño: vibración del suelo, licuación, deslizamientos, etc; éste indica una alta actividad sísmica en la costa peruana debido a la subducción de la placa Nazca bajo la Placa Sudamericana.

Además (Hurtado J. A., 1994) también presentó un mapa del Perú que muestra diferencias entre las áreas de licuación reales y probables encontradas en la literatura recopilada.

En la ciudad de Moyobamba, ubicada al norte del departamento de San Martín, existen investigadores que han desarrollado tecnologías para la determinación de zonas de riesgo de licuación ya que es una planicie elevada. Durante su historia sísmica ha sufrido grandes daños siendo el fenómeno de licuación de suelos el causante de considerables desastres. Se analizó e identificó las zonas susceptibles a sufrir licuación y se comparó los resultados ocurridos durante los sismos de 1990 y 1991, donde se apreció la coincidencia del fenómeno en los lugares ya previstos.

En Trujillo no se ha realizado ningún estudio de posibles zonas de licuación publicada por alguna entidad de alto rango. Hace cerca de 400 años se produjo un terremoto en el norte del Perú que arruinó los edificios de Trujillo de la época. Según algunas crónicas indican que se agrietó la tierra en varias partes, de las cuales

surgió un lodo negruzco. Además, se decía que *el material viscoso y pestilente expelido envuelto en agua gredosa de que se formaron los ríos que corrieron por las campiñas de la Villa del Santa, el de Barranco u otros, tiñeron sus corrientes con tal maligna inundación*. De estos relatos se deduce que hubo otros efectos en las vertientes. Se estima que la intensidad de este sismo fue de IX en la escala de Mercalli.

En ningún distrito de Trujillo se ha realizado un estudio de zonas de riesgo de licuación de suelos. El distrito de Víctor Larco Herrera está ubicado a 4 km de la ciudad de Trujillo, en la parte Sur Oeste. Su topografía es plana con pendiente uniforme de 0 y 1% hasta una altura de 3 a 10 msnm, a orillas del Océano Pacífico. El recurso Suelo del distrito se caracteriza por el elevado nivel de la capa freática y su salinidad; sin embargo, no existen estudios de posible licuefacción de suelos durante un sismo ya que la mayor preocupación aparente es la erosión costera. (Heras, 2018)

La Norma Técnica E 050 de suelos y cimentaciones, especifica que: el Profesional Responsable efectuará el estudio correspondiente para descartar o verificar la ocurrencia del fenómeno de licuefacción en los suelos ubicados bajo la napa freática. Esto se hará usando el método de Seed e Ydris; este método fue desarrollado en base a observaciones in-situ del comportamiento de depósitos de arenas durante sismos pasados. El proceso involucra el uso de la resistencia a la penetración estándar. (Heras, 2018)

Mussio Arias (2012) encontró que el uso del método sísmico de micro-tremores es eficaz para la estimación del potencial de licuación en un ambiente urbano, utilizando la dispersión de la velocidad de fase de las ondas de corte. La

longitud del tendido y el espaciamiento entre geófonos permitió alcanzar profundidades de hasta 30 m, pudiendo hacer microzonificaciones del suelo. Además, la principal ventaja del uso de los micro-tremores es que no se necesita de una fuente externa para generar una señal o la ejecución de perforaciones, como los métodos geofísicos o geotécnicos convencionales, pudiendo ser registrados en cualquier momento y lugar; además, los instrumentos para su medición y análisis son simples, pudiendo utilizar sensores de velocidad o aceleración, lo cual hace que su uso se vuelva práctico y los costos sean bajos a diferencia de otros métodos. Mussio Arias (2012)

Henriquez Pantaleón (2007) determinó que la licuación es el fenómeno en el cual la resistencia y la rigidez de ciertos suelos es reducida por la acción sísmica u otro tipo de carga rápida. Debido a ello, la aplicación de una carga cíclica (como un sismo, por ejemplo), a un suelo granular en condiciones no drenadas o parcialmente drenadas, origina un incremento de la presión intersticial que reduce en el mismo valor la tensión efectiva, pudiendo bajo ciertas condiciones igualarla, anulando la resistencia del terreno y produciendo el fenómeno conocido como licuación. También existen una serie de factores que afectan de manera directa o indirecta la ocurrencia de este fenómeno, entre los cuales se podrían destacar las propiedades índices y de estado de terreno, las condiciones iniciales de esfuerzo y deformación, y las características de la sollicitación (sismo o cualquier otra carga cíclica). Henriquez Pantaleón (2007)

Brenes Quesada (2008), afirmó que el software desarrollado permite evaluar la susceptibilidad a la licuación en cualquier suelo. Dicho proceso de evaluación se basa en los métodos implementados por investigadores Seed e Idriss y Ambraseys.

Estas consideraciones permiten predecir el comportamiento de los suelos ante la acción de un sismo. Sin embargo, los métodos implementados en el programa (Método de Seed e Idriss y Método de Ambraseys) arrojan valores similares entre sí. Por lo que el usuario está en la decisión de escoger el método que quiera para evaluar la licuación.

La determinación de licuación de suelos es un método muy importante a nivel de zonas de peligro de sismos y donde existe materiales débiles como las arenas. Al iniciarse la vibración, por efecto de un sismo, el material se expande y las partículas sólidas adoptan un estado muy suelto (por pérdida del soporte mutuo entre los granos). Por lo que, las arenas limpias, no consolidadas y saturadas y los ambientes sedimentarios más favorables para el fenómeno podrían ser: playas, barras arenosas y sistemas fluviales, ambientes lacustres, entre otros. Por lo que deben ser los primeros sitios donde realizar los estudios de microzonificación. (Luiska, 2015)

Geomat Ingeniería S.A.C. (RUC: 20550645395), es una empresa ubicada en Miraflores, Lima, que brinda Consultoría y diseños geotécnicos, estudio de suelos, análisis y modelamientos geotécnicos, licuación de suelos. Es una empresa especializada en desarrollar proyectos de ingeniería, supervisión, gerenciamiento de la construcción, construcción y medio ambiente.

Sonmez (2003) menciona que Liquiter es un software para el análisis de la licuefacción de suelos en condiciones sísmicas en el cual los datos de entrada se pueden extraer de varios tipos de ensayos. En síntesis, el programa suministra los siguientes resultados: Factor de seguridad licuefacción/Índice del potencial de licuefacción, Movilidad cíclica para las arcillas, Licuefacción de arenas y arcillas,

CSR, CSR variable según la profundidad (SHAKE), Reconsolidación, Lateral Spreading y Fuerza residual. Sonmez (2003)

Uno de los problemas de las edificaciones por la cual colapsan ante un sismo es por no identificar adecuadamente el tipo suelo en la cual van apoyada la cimentación. Normalmente no hay problemas muy severos, sin embargo, existe un caso muy particular que produce desastrosos resultados en consecuencia de un sismo: la licuefacción.

Sonmez (2003) menciona que Terzaghi (1950), definió de manera precisa este fenómeno como: el arreglo de las partículas de una arena fina o de un limo grueso puede ser tan inestable que una ligera perturbación del equilibrio de los granos ocasiona un re arreglo de las partículas; en consecuencia, las partículas se asientan en posiciones más estables y la porosidad del sedimento decrece. Cuando ocurre este proceso arriba del nivel freático, no tiene efecto notable que al generar asentamientos en la superficie del terreno. Opuestamente, de ocurrir bajo el nivel freático sus consecuencias pueden ser catastróficas, ya que la viscosidad del agua que ocupa los vacíos del área impide un decremento rápido de la porosidad. Sonmez (2003)

Henríquez (2007) menciona que la licuación o licuefacción es uno de los más controvertidos, interesantes e importantes temas en la ingeniería geotécnica. Sus efectos devastadores provocaron la atención de los ingenieros geotécnicos desde los terremotos de Alaska y Nigata, ambos ocurridos en 1964 y con magnitudes superiores a 7.5 en la escala de Richter (Brenes Quesada, 2008). Henríquez (2007) Según (Luiska, 2015) la licuación ha ocurrido en numerosos terremotos, como ha quedado en evidencia en los registros históricos y geológicos, Otro claro ejemplo

de esto es el caso de Chile, donde el terremoto del 3 de marzo de 1985 afectó la zona con mayor densidad de población, donde se encuentran los dos puertos más importantes del país. (Luiska, 2015)

Según (Mussio Arias, 2012) la licuación de los suelos ha sido causa de destrucción de estructuras como puentes, edificios, muelles, viviendas. Además, afecta directamente obras lineales como oleoductos, acueductos, alcantarillado sanitario, líneas de transmisión, carreteras, líneas de ferrocarril. Las líneas vitales son altamente susceptibles a grandes deformaciones del suelo, porque su trazado se realiza a lo largo de grandes distancias y, por lo tanto, al favorecer las bajas pendientes existe altas posibilidades de localizarse en depósitos aluviales o marinos constituidos por suelos no cohesivos, que son altamente vulnerables al fenómeno de licuación. (Mussio Arias, 2012)

Según (Henríquez, 2007) el comportamiento de los suelos ante los efectos de los sismos ha sido estudiado desde hace muchos años, debido a que se ha observado que los daños resultantes de la ocurrencia de terremotos pueden ser influenciados, de muchas maneras, por las características del terreno en una determinada área. El mal comportamiento de los suelos flojos ante los sismos y, en especial, el fenómeno de licuación en los de tipo no cohesivo, ha ocasionado pérdidas de vidas humanas y económicas muy importantes en distintos lugares del mundo. (Henríquez, 2007) Además (Henríquez, 2007) menciona que debido al carácter destructor del fenómeno, se han realizado esfuerzos notables para desarrollar métodos para evaluar la susceptibilidad a la licuación de los suelos y la forma de poder mitigar este fenómeno; también cada vez más los autores que tratan de predecir las zonas en las que se puede presentar. (Henríquez, 2007)

El territorio del Perú es un escenario de múltiples peligros debido a su compleja conformación geológica y geodinámica muy activa, asociada a la complicada configuración morfológica y topográfica que influye notablemente en la variabilidad climática que, bajo la influencia del cambio global, da lugar al incremento de la frecuencia e intensidad de los eventos potencialmente descriptivos. Los terremotos son el peligro mayor de nuestro país. La actividad sísmica en el Perú tiene un amplio desarrollo cuyo origen está relacionado con las condiciones tectónicas regionales y locales, y las condiciones locales de los suelos que determinan la aceleración y la severidad de sacudimiento, que a su vez van a tener notable influencia sobre las estructuras.

Un mapa de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú fue presentado por (Alva, 1983), el mapa se basó en treinta mapas de isosistas de terremotos recientes e intensidades puntuales de terremotos históricos. El mapa representa el nivel de daño independiente de la causa: vibración de suelo, licuación, deslizamientos provocados por terremotos u otros. Este mapa se preparó como parte de un proyecto regional patrocinado por CERESIS. (Centro Regional de Sismología en América del Sur). (Alva, 1983)

Además, son muchos los eventos sísmicos registrados en la historia del Perú que han afectado a las poblaciones, una de estos grandes problemas es la licuefacción de suelos. La revisión de la literatura indica que el fenómeno de licuación de suelos se ha producido en la Costa, sierra y selva alta del Perú. Existe una mayor incidencia de dicho fenómeno en la costa, ya que es donde la concentración de la población ha sido mayor y la sismicidad es más alta. (Alva, 1983)

Sin embargo, en nuestra ciudad y específicamente en el distrito de Víctor Larco Herrera que contiene una alta napa freática y un suelo con gran contenido de arena, no existe un mapa de posibles zonas de licuación actualizado que pueda ser usado para la construcción adecuada de estructuras o para la prevención ante el desastre. Esto hace que no sea totalmente seguro un proyecto que involucre una cimentación superficial o profunda. Por lo tanto, dado el silencio sísmico en el norte del Perú de 44 años, este trabajo se enfocará en identificar las zonas donde sea más propenso la posible licuefacción durante un sismo en el distrito ya mencionado usando diferentes métodos como por ejemplo el que menciona la norma peruana. (Seed e Idriss).

1.2 Formulación del problema.

¿Cuáles son las zonas de riesgo de licuefacción de suelos en el distrito de Víctor Larco Herrera en la provincia de Trujillo?

1.3 Justificación.

El fenómeno de licuación ha causado grandes pérdidas humanas y económicas a nivel nacional y mundial. La licuación de los suelos ha sido causa de destrucción de estructuras como puentes, edificios, muelles y viviendas. Las obras viales como oleoductos, alcantarillados, entre otros, son altamente susceptibles a grandes deformaciones del suelo, porque su trazado se realiza a lo largo de grandes distancias y, por lo tanto, al favorecer las bajas pendientes existe altas posibilidades de localizarse en depósitos aluviales o marinos constituidos por suelos no cohesivos, que son altamente vulnerables al fenómeno de licuación.

La licuación de los suelos no es un tema muy estudiado en el mundo, ya que

la dinámica de suelos no es predecible y no es exacta. Por lo tanto, investigaciones como ésta ayudan a complementar la información general sobre este fenómeno de manera que en un futuro se cuente con distintos mapas de susceptibilidad alrededor del mundo.

Para la correcta construcción de cualquier edificación, ya sea una casa, una residencial, o la infraestructura de una empresa es necesaria una cimentación muy bien estudiada. Además, en un ambiente de costa o playa es muy común que el suelo sea arena y la napa freática sea alta. Y, estando nuestro país en riesgo de sismo, es necesario tener un mapa de zonas de riesgo de manera que se tomen las medidas necesarias en cada caso.

Cada suelo en diferentes partes del mundo está compuesto de manera diferente. En caso del distrito Víctor Larco Herrera en Trujillo tenemos una napa freática muy alta y arena salinosa, lo que nos indica una posible licuación en caso de sismo en ciertas partes. Por lo tanto, es necesario tener un mapa propio ya que no es posible usar mapas generales del Perú o mapas parecidos en el mundo.

Esta investigación, además de ser parte de un conjunto de mapas alrededor del mundo de posibles lugares susceptibles a la licuación de suelos, será la base de futuras investigaciones donde otros tesisistas evaluarán por ejemplo como poder minimizar los daños durante la licuación de suelos, o como mejorar el suelo propenso a licuar o succión de agua para la reducción de zonas de licuefacción, etc.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Determinar las zonas de riesgo de licuefacción de suelos en el distrito de Víctor Larco Herrera- Trujillo.

1.4.2 Objetivos Específicos.

Realizar el ensayo SPT para cada muestra y calcular el número de golpes.

- Realizar la caracterización del suelo, así como el ensayo triaxial y otros que se requieran.
- Determinar la susceptibilidad de los suelos a la licuación durante un sismo mediante el método de Seed e Idriss.

1.5 Antecedentes.

1.5.1 Título: MEJORA DE TERRENOS POTENCIALMENTE LICUABLES CON INYECCIONES DE COMPACTACIÓN.

(Henríquez, 2007) nos dice que desarrollar un nuevo método de diseño que permita mitigar el potencial de licuefacción, tanto en terrenos sin edificar, así como en los ya edificados. Se realizó una base de datos con todos los casos documentados existentes sobre el comportamiento observado de los suelos arenosos en sismos pasados y sus propiedades, mediante ensayos in situ (CTP y SPT) y de laboratorio (granulometría y límites de Atterberg). Se pudo observar, en algunas de ellas, una gran dispersión en las curvas propuestas para la determinación de las variables que intervienen en el análisis de licuación, así como los factores de corrección y/o normalización de la resistencia a la penetración del SPT, la resistencia por punta del CPT y los factores de escala asociados a las magnitudes de los sismos, lo cual introduce incertidumbres a la hora de llevar a cabo este tipo de análisis. El nuevo método de predicción propuesto se sustenta con una base de datos con más de 500 CPTs documentados, en distintos lugares del mundo donde, bajo la acción de diferentes sismos, se ha producido o no licuación. (Henríquez, 2007)

(Henríquez, 2007) nos dice que este estudio adiciona una nueva herramienta para poder confirmar la posibilidad de licuación en el distrito de Víctor Larco Herrera en

Trujillo, de manera que además de los métodos tradicionales se use este método. Además de brindar una posible solución para este problema como es la inyección de compactación. (Henríquez, 2007)

1.5.2 Título: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN SUELOS.

Brenes Quesada (2008), nos dice que propone desarrollar una herramienta programada la cual será capaz de evaluar licuación con sólo introducirle ciertos datos obtenidos del SPT respectivamente. Para realizar este proyecto se procedió a investigar los métodos para la evaluación de la susceptibilidad a la Licuación, para automatizarlos en un programa computacional como lo es el “Brenes Evaluation System”. De los métodos estudiados para evaluar licuación, se escogieron dos cuyos datos son obtenidos de un Ensayo de Penetración Estándar (SPT), uno de los métodos es el desarrollado por Seed e Idriss y el otro, el desarrollado por Ambraseys. Una vez que el usuario ingresa al programa este decide por cuál método quisiera evaluar la susceptibilidad a la licuación, dando un clic en el botón correspondiente a Seed e Idriss o a Ambraseys. El programa se acopló bien a los datos ingresados y brindó una serie de resultados coherentes y consistentes, comparándolos con los datos obtenidos de manera manual. El software desarrollado permite evaluar la susceptibilidad a la licuación en cualquier suelo. Dicho proceso de evaluación se basa en los métodos implementados por investigadores Seed e Idriss y Ambraseys. Estas consideraciones permiten predecir el comportamiento de los suelos ante la acción de un sismo.

Este estudio permitirá que los cálculos manuales en el método designado en nuestro caso, el de Seed e Ydriss puedan ser comprobados de manera computacional, que sería un método más seguro. Además, muestra que los métodos ya mencionados son

usados actualmente y con resultados favorables.

1.5.3 Título: METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO POR LICUACIÓN DEL SUELO, INDUCIDO POR SISMO, USANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

(Rosado, 2010) realizó un mapa de peligro por licuación de suelos inducido por sismos en algunas zonas de la República Mexicana. La estimación del peligro se lleva a cabo mediante la obtención de mapas de características geológicas, topográficas y de aceleración pico del terreno. Se muestran los resultados de un análisis especial de la zona de Manzanillo, afectada por los sismos de Manzanillo (1995) y Tecmán (2003). Se muestran, mapas finales de zonas de diferentes estados de la República Mexicana donde se ha presentado licuación (Chiapas, Baja California, Tlaxcala y Michoacán) y donde se conjugan ciertos factores que permiten esto. Los mapas finales muestran que el área más afectada se encuentra en el puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, esto principalmente para un sismo con magnitudes iguales o superiores a 7. En ese mismo sitio ya se había presentado licuación. (Rosado, 2010)

Este proyecto nos muestra que con mapas también es posible determinar la licuación de los suelos, sin embargo, este método es menos certero ya que no se toman en cuenta las propiedades y esfuerzos de cada estrato.

1.5.4 Título: LICUACIÓN DE SUELOS DURANTE EL SISMO PISCO-PERU-2007.

(Carrillo Gil, 2008) plantea determinar si en el terremoto de pisco hubo licuefacción y sus daños. Se comentan una serie de soluciones diseñadas después de ocurrido el terremoto en base a estudios de campo y aplicación de experiencias y tecnología que evalúa el potencial de licuación de los suelos subyacentes al área crítica más afectada.

De las investigaciones efectuadas se detectó una substancial disminución de la capacidad de carga del suelo licuado que llegó a superar el 50%. Para preservar a las estructuras de daños graves en caso de un sismo severo futuro se adoptaron procedimientos de mejoramiento convenientes para lograr una mejor performance en las cimentaciones reparadas para soportar cargas después del sismo. Se ha establecido fehacientemente que los mayores daños originados por el sismo de Pisco-Perú-2007, ocurrido el 15 de Agosto del 2007, se han originado por el desarrollo de altas presiones intersticiales que produjeron licuación en los estratos superficiales del suelo arenoso saturado subyacente a obras de ingeniería de todo tipo que soportaron un terremoto de magnitud 8.0 Mw y aceleración que llegó hasta 0.48 g, según datos de las agencias oficiales peruanas. (Carrillo Gil, 2008)

Este estudio nos permite darnos cuenta que el fenómeno de licuación no es ajeno a nuestra realidad, ya que en una ciudad costera como la nuestra como lo es Pisco ha ocurrido licuación de suelos y es la causa de la mayor destrucción.

1.5.5 Título: ANÁLISIS DE LICUACIÓN DINÁMICA DE UNA PRESA DE RELAVES RECRECIDA AGUAS ARRIBA,

(Aliaga y Urbina, 2015) plantean evaluar el potencial de licuación para el recrecimiento de una presa de relaves construida aguas arriba, ubicada en el departamento de Ancash, aplicando el Método de Olson. Se aplicará el Método de Olson, el cual se basa en índices de resistencia para realizar el análisis de licuación. Asimismo, se realizó un análisis de licuación utilizando el Método Simplificado propuesto originalmente por Seed e Idriss, para comparar y validar los resultados obtenidos con el Método de Olson. A través de la evaluación de la licuación utilizando el método propuesto por Olson se pretende demostrar que dicho análisis se puede llevar a cabo para evaluar el potencial de licuación en terrenos inclinados, ya que la fórmula original del Método Simplificado no estaba

destinada para la evaluación de la licuación en dichos escenarios. El método simplificado resultó más conservador en el cálculo del potencial de licuación, mostrando más detalladamente la variabilidad entre los puntos donde se realizaron sondeos, aunque valiéndose de algunos coeficientes y factores de corrección que indujeron mayor incertidumbre en el análisis. El método de Olson es más conciso en ese aspecto, y se centra en la evaluación de una superficie crítica, lo cual brindó resultados más homogéneos pero menos conservadores. En el proyecto evaluado, la aplicación del método simplificado de Idriss en el análisis del potencial de licuación produjo resultados más conservadores, indicando la ocurrencia de licuación en varios puntos (con valores de FSL entre 0.4 y 1), incluso para la aceleración más baja analizada (0.23 g). El método de Olson 2001, en cambio, sólo predice la licuación para los casos con aceleraciones de 0.30 g y 0.37 g con valores FSL en un rango de 0.75 a 0.93. (Aliaga y Urbina, 2015)

Este método nos permite darnos cuenta que existen muchos más métodos modernos con una visión diferente, por ejemplo en este caso, el método de Olson que también se tratará de aplicar a nuestro caso, el distrito Victor Larco Herrera en la ciudad de Trujillo.

1.5.6 Título: INVESTIGACIÓN DE LA MATRÍZ EN LAS GRAVAS DEL PERÚ MODELO GRAVA DE VENTANILLA.

(Shuan, 2011) pretende estudiar la presencia de gravas especiales en el Perú en las cuales se han registrado problemas de colapso, licuación, cementación y otros, es una evidencia de la influencia que tiene la matriz que las engloba y que condiciona su comportamiento. A la grava se le adicionó porcentajes variables de matriz para llenar progresivamente los vacíos y analizar la influencia en sus parámetros de resistencia al corte como consecuencia de la presencia de la matriz. Para estos fines se desarrolló una serie de

ensayos de corte directo en la mezcla de grava y matriz, para obtener los parámetros C y ϕ en condiciones drenadas, las matrices utilizadas fueron arenas y suelos finos. A medida que se incrementa la matriz en la grava, se produce una reducción en la relación de vacíos y consecuentemente el aumento del peso unitario seco. En la investigación se establece que el efecto es una reducción paulatina del ángulo de fricción interna relacionada al porcentaje de matriz empleado y un aumento de la cohesión, infiriéndole propiedades de los suelos finos. (Shuan, 2011)

Esta investigación nos muestra que la licuefacción no solo se presenta en arenas sino también en gravas, pero en casos especiales. Esto nos permite tener un mayor cuidado al seleccionar nuestras áreas de estudio.

1.6 Bases Teóricas.

1.6.1 SISMICIDAD.

(Rosado, 2010) nos dice que los sismos son provocados por el movimiento entre placas tectónicas que forman la corteza terrestre. Referente a Perú y el resto de Latinoamérica, las placas que interactúan en la región son las de Nazca, Sudamericana, Norteamérica, Rivera, Cocos, del Caribe, Scotia y Antártica. Cada placa tiene actividad diferente con las otras placas colindantes. Un tipo de actividad entre placas es aquella en la que chocan dos placas con desplazamiento contrario, provocando fuerzas de fricción y deformaciones. Al deformarse las placas se acumula energía, sin embargo, llega el momento en que la fricción no soporta la fuerza de deformación, rompiéndose el equilibrio y liberándose energía en forma de ondas, lo que comúnmente llamamos sismo. Estos son los llamados sismos de subducción. Las zonas de subducción en el planeta abarcan cerca de 55 000 km y generalmente implican actividad volcánica, consecuencia de las altas presiones y temperaturas alcanzadas por la litosfera (placa) que subduce. Debido a su

ubicación tectónica, los sismos de subducción son quizá los más comunes en la parte del litoral del Pacífico de Perú. (Rosado, 2010)

(Rosado, 2010) manifiesta que sin embargo, en el planeta no todos los sismos son de subducción. Si hay algún desplazamiento relativo horizontal de las fallas se produce un sismo intraplaca, que como su nombre lo dice, se produce en el interior de una placa.

La sismicidad de un lugar depende de la cercanía a la fuente tectónica. En algunos casos, las instituciones gubernamentales o de investigación de los países ponen a disposición mapas de riesgo y/o peligro sísmico, en donde queda registrada la sismicidad del lugar. Éste tipo de mapas generalmente se publican en códigos de diseño sismoresistente de estructuras. (Rosado, 2010)

a) Parámetros sísmicos

(Rosado, 2010) indica que el Momento sísmico, propuesto por Aki en 1966, tiene que ver con el tamaño de la fuente, haciéndolo un parámetro útil para medir el tamaño del evento. Éste parámetro es el producto del coeficiente de rigidez del medio donde se produce el terremoto, el área de la dislocación, y el desplazamiento medio de la misma. En la mayoría de los casos es difícil estimar las dimensiones de la falla, y el momento sísmico se determina a partir del espectro de las ondas sísmicas registradas. (Rosado, 2010)

b) Magnitud.

(Rosado, 2010) menciona que se tienen diferentes tipos de magnitud, dependiendo de la aplicación se pueden calcular:

Magnitud local (M_L)

Magnitud de ondas de volumen (M_O)

Magnitud duración (M_D)

Magnitud tsunami (M_T)

Magnitud energía (M_E)

Magnitud de ondas superficiales (M_s)

Magnitud momento (M_M) (Kanamori, 1977)

c) Intensidad.

(Rosado, 2010) indica que es el único parámetro no instrumentado, se mide en base a las afectaciones sufridas por la población y las estructuras de un área. La escala de medición de intensidad más utilizada en América es la de Mercalli Modificada, mientras en Europa es más común la propuesta por Medvedev, Karnik y Sponheuer.

ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA		
Grado	Intensidad	Efectos
I	Instrumental	Registrado solo por sismógrafos.
II	Muy débil	Percibido por algunas personas en pisos altos.
III	Ligero	Perceptible en interiores, los objetos suspendidos se balancean, similar al paso de un camión.
IV	Moderado	Percibido por la mayoría de las personas en la calle y en interiores, oscilación de objetos colgantes, ventanas y cristalería crujen.
V	Algo fuerte	Despiertan las personas dormidas, algunos objetos caen, cuadros, puertas y contraventanas se balancean.
VI	Fuerte	Los muebles se mueven, los cuadros se caen, los platos y la cristalería se rompen. Las campanas suenan solas y algunas chimeneas se derrumban, los tabiques se resquebrajan.
VII	Muy fuerte	Es difícil mantenerse en pie, se caen los aleros de los tejados, tejas chimeneas y comisas de edificios, se forman olas en los estanques. Suenan todas las campanas. Caen algunas estatuas y muros, torres y edificios son deteriorados. Aparecen grietas en el suelo húmedo y en taludes abruptos. Cambian los niveles los acuíferos.
VIII	Destruyivo	Pánico general, las casas comienzan a caer, gritas en el suelo, raíles de tren deformados, puentes y conducciones subterráneas rotas.
IX	Ruinoso	Pánico general. Muchos edificios destruidos, graves daños en presas. Desprendimientos de tierras, desbordamientos de ríos, canales, lagos, etc.
X	Desastroso	Pánico general. Pocos edificios en pie, calles muy deformadas, conducciones subterráneas inservibles. Aparecen fallas en el terreno de salto apreciable.
XI	Muy desastroso	Destrucción total, los objetos lanzados al aire, desplazamiento de grandes masas rocosas. La topografía queda cambiada.
XII	Catastrófico	

Tabla 1, Escala de Mercalli Modificada (Bravo, 2015)

d) Aceleración máxima o aceleración pico.

(Rosado, 2010) dice que es la aceleración máxima registrada en los acelerogramas

obtenidos en un lugar. La aceleración varía de acuerdo al tipo de suelo.

e) Velocidad máxima.

(Rosado, 2010) dice que es la velocidad máxima a la que se desplazan las ondas en un medio.

f) Peligrosidad Sísmica.

(Rosado, 2010) dice que la peligrosidad sísmica se define como la probabilidad de excedencia de un movimiento sísmico con duración fija y en un lugar determinado. La peligrosidad sísmica generalmente depende de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones del suelo, por lo cual es muy frecuente encontrarla en función de estos términos, aunque también lo puede estar en función de la intensidad macro sísmica, que se relaciona con la destructividad del evento. (Rosado, 2010)

(Rosado, 2010) indica que para realizar un buen estudio de peligrosidad sísmica es necesario conocer dos aspectos importantes: la sismicidad regional y las características de atenuación del lugar. Si se combinan estos dos elementos se puede tener una caracterización del movimiento debido a sismos en la zona de estudio, aunque para hacerla más completa se debe tomar en cuenta el tipo de fuente y la forma de propagación de energía. En caso de hacer microzonificación, también se considera la amplificación de las ondas en el lugar. (Rosado, 2010)

(Rosado, 2010) indica que los análisis de evaluación del peligro sísmico en las últimas décadas han sido mejorados con la utilización de los datos geológicos que permiten obtener la historia sísmica de las fallas activas. Los registros históricos e instrumentales son sumamente importantes para reflejar precisión en los valores de sismicidad a largo plazo y efectuar correctas evaluaciones del peligro por eventos sísmicos. (Rosado, 2010)

1.6.2 FENOMENOS INDUCIDOS POR LOS SISMOS EN LOS SUELOS

GRANULARES FINOS.

(Enríquez, 2007) menciona que Dos de los principales fenómenos que los sismos pueden inducir en los suelos granulares finos son los cambios de volumen y la reducción de la resistencia al esfuerzo cortante.

Dichos fenómenos se analizan a continuación:

Cambios de volumen (densificación-asientos)

(Rosado, 2010) menciona que la aplicación de carga cíclica a una muestra de arena trae como resultado el cambio progresivo de volumen, aún en el caso de arenas densas, las cuales se comportan como dilatantes bajo carga unidireccional o monotónica; en el caso de medios granulares sueltos el comportamiento es contractivo. Varias técnicas, tanto de laboratorio como de campo, se han desarrollado para estudiar este fenómeno. Estudios basados en ensayos de corte simple y mesas vibratoras, con niveles de aceleración y amplitudes de deformación semejantes a los esperados en temblores intensos, han mostrado que la amplitud de deformación, la compacidad relativa y el número de ciclos de carga son los principales factores que gobiernan la densificación de suelos granulares secos o saturados bajo condiciones drenadas. (Rosado, 2010)

(Rosado, 2010) dice que a partir de los resultados de los ensayos citados, se puede concluir que los aspectos más importantes relacionados con los cambios de volumen de suelos granulares son los siguientes:

- a. Los esfuerzos cortantes cíclicos constituyen el medio más efectivo de densificación.
- b. Para una densidad dada, la intensidad de la aceleración es un parámetro significativo que afecta la velocidad y magnitud de la densificación.
- c. A mayores esfuerzos verticales, la magnitud de la densificación resulta menor.
- d. A igualdad de desplazamientos cortantes, la reducción de volumen aumenta con el

número de ciclos de carga aplicados.

- e. La densificación sería, aparentemente, independiente de la frecuencia del movimiento.
- f. Con base en los resultados obtenidos a partir de pruebas en mesa vibratoria, Figura 1, se infiere que en la medida que se incrementa la aceleración vertical, se incrementa el peso volumétrico hasta un valor máximo, después del cual el peso volumétrico tiende a disminuir en la medida que se incrementa la aceleración.

Reducción de la resistencia al esfuerzo cortante (aumento de la presión de poro-licuación).

Cuando la tendencia a la reducción de volumen de un suelo granular saturado, citada en el punto anterior, ocurre en condiciones tales que la expulsión rápida del agua de los poros está fuertemente restringida, se desarrollan presiones de poro positivas.

La magnitud del incremento de presión de poro depende de la magnitud del cambio de volumen que el suelo tiende a sufrir y del grado de restricción al flujo de agua que ocurre en la masa del suelo, y puede prácticamente igualar a la presión efectiva de confinamiento actuante sobre la misma. De cualquier modo, por el principio de los esfuerzos efectivos, la resistencia del suelo se reduce proporcionalmente al incremento de presión de poro y, en el caso extremo, se anula dando lugar al fenómeno de licuación.

Una fuerte restricción al flujo de agua puede deberse a la baja permeabilidad del suelo mismo, o a su confinamiento parcial o total por otros materiales menos permeables. Estas dos últimas causas, determinadas exclusivamente por las restricciones de frontera, son las que hacen tan difícil dilucidar si, en el campo, una masa de suelo es susceptible de licuarse en ciertas condiciones de excitación. En consecuencia, el desarrollo de licuación en el laboratorio, en muestras no drenadas, es requisito necesario, pero no suficiente para la ocurrencia de licuación del mismo suelo en el campo. (Henriquez Pantaleón, 2007)

1.6.3 LICUACION DE SUELOS

(Henríquez, 2007) nos dice que la licuación es el fenómeno en el cual la resistencia y la rigidez de ciertos suelos, son reducidas por la acción sísmica u otro tipo de carga rápida.

La licuación y fenómenos relacionados a ella, han sido responsables de grandes daños en sismos históricos en todo el mundo. Esta ocurre en suelos teóricamente saturados, es decir, suelos cuyos espacios entre las partículas individuales que lo componen, están completamente llenos de agua. (Henríquez, 2007)

Para entender el proceso de licuación del suelo, es necesario definir dicho fenómeno. Se entiende por licuación la pérdida de esfuerzo en un suelo no cohesivo saturado debido a la acumulación de presiones de agua de poro durante una carga cíclica. Una definición más precisa es la dada por Terzaghi en 1950.

El arreglo de las partículas de una arena fina o de un limo grueso puede ser tan inestable que una ligera perturbación del equilibrio de los granos ocasiona un rearrreglo de las partículas; en consecuencia, las partículas se asientan en posiciones más estables y la porosidad del sedimento decrece.

Cuando ocurre este proceso arriba del nivel freático, no tiene más efecto notable que el generar asentamientos en la superficie del terreno. Opuestamente, de ocurrir bajo el nivel freático sus consecuencias pueden ser catastróficas, ya que la viscosidad del agua que ocupa los vacíos de la arena impide un decremento rápido de la porosidad. (Terzaghi, 1950)

La licuación es el resultado de la tendencia de los suelos a disminuir su volumen cuando han sido sometidos a una carga cíclica. En suelos no cohesivos, la transformación de un estado sólido a líquido es consecuencia del aumento de la presión

de poro que disminuye el coeficiente de fricción durante un terremoto.

De manera más general, diversos autores han definido la licuación como la transformación de *un estado sólido a un estado líquido como consecuencia del aumento en la presión de poro y la reducción de la presión efectiva de la masa del suelo*. Por lo tanto, la carga soportada inicialmente en dirección vertical por los puntos de contacto, es ahora soportada por el agua que ocupa los vacíos en el suelo. De esta manera, el suelo pierde su resistencia y se comporta como un fluido. (Rosado, 2010)

Los primeros estudios cuantitativos de este fenómeno pertenecieron, originalmente, al análisis estático de taludes naturales en las márgenes del río Mississippi. Estos habían presentado un comportamiento inestable, provocado por la subida gradual del nivel freático y en algunos casos fluctuaciones en el nivel de marea, modificando las redes de filtración del terreno. A causa de estas variaciones se producían deslizamientos, y el mismo se detenía cuando el ángulo del talud había alcanzado unos escasos grados. Para explicar este fenómeno Casagrande (1916) propuso el concepto de *Relación de vacío crítica*. Posteriormente, se realizó un estudio extensivo de numerosos deslizamientos a lo largo de la rivera del río Mississippi.

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos desarrolló métodos empíricos con el objetivo de evaluar la ocurrencia de estos deslizamientos. Durante los últimos 40 años, el estudio de este fenómeno se ha extendido incluyendo el comportamiento del suelo bajo acciones cíclicas ocasionada por vibraciones sísmicas. Aún cuando el resultado final (pérdida de la resistencia del suelo) es el mismo (si éste es causado por una acción dinámica o estática), la tensión de corte que provoca la disminución de la resistencia del suelo bajo condiciones de carga cíclica es mucho menor que la necesaria para causar el mismo efecto bajo condición de carga estática.

Las evidencias superficiales más comunes de la ocurrencia del fenómeno de licuación son:

- Los volcanes de arena.
- Las grietas en el terreno.
- Las pérdidas de capacidad portante.
- Los movimientos laterales.
- Las oscilaciones horizontales del terreno.
- Las fallas de taludes por flujo del terreno. (Henriquez, 2007)

1.6.3.1 Factores que directamente influyen en la ocurrencia del fenómeno de la licuación.

Los factores más importantes, basados principalmente en evidencia experimental de laboratorio, pueden agruparse en las tres categorías que se presentan a continuación:

- Propiedades índices y de estado de los suelos.
- Condiciones iniciales de esfuerzo y de deformación.
- Características de la sollicitación.

Algunos de estos factores, son difíciles de controlar, de manera precisa, en los ensayos de laboratorio e imposible de evaluar fidedignamente en el campo.

Propiedades índices y de estado de los suelos

En esta categoría se ubican características geotécnicas tales como:

Tipo de suelo

En general los suelos uniformemente graduados son más susceptibles de licuarse que los bien graduados. Dentro de los primeros, las arenas finas se licuan más fácilmente que las gravas o suelos arcillosos aluviales.

En suelos bien graduados, al reacomodarse las partículas más pequeñas (llenando los huecos dejados por las partículas más grandes) bajo condiciones drenadas, se produce un menor cambio de volumen, y por ende, un menor incremento en la presión intersticial bajo condiciones no drenadas.

Evidencias en sismos recientes revelan que en la mayoría de casos de licuación han estado involucrados suelos uniformemente graduados.

La forma de las partículas del suelo también puede ser un factor de influencia.

Suelos con partículas de forma redondeadas tienden a densificarse más fácil que los con partículas de forma angulosa. Las partículas de forma redondeadas frecuentemente tienen origen fluvial o aluvial, en donde es común encontrar depósitos de suelos flojos saturados, siendo usualmente la susceptibilidad a la licuación alta.

Se pueden establecer límites en las curvas granulométricas definiendo fronteras que separan los suelos licuables de los no licuables (Figura 6).

La frontera inferior, condicionada por el tamaño de las partículas, muestra la influencia del contenido de finos en la disminución de la tendencia del suelo a densificar. Los finos plásticos hacen más difícil la liberación de las partículas de arena para moverse unas con respecto a otras, buscando un arreglo más denso. Por lo tanto, el contenido de finos es un elemento importante en la ocurrencia o no de licuación y éste ha sido tomado en cuenta en los métodos de predicción “In Situ”. La frontera superior es significativa, porque está asociada a la permeabilidad de materiales más gruesos. De esa manera, incrementando la permeabilidad, se incrementa la capacidad de drenaje, por ende, la velocidad con que se pueden disipar las presiones intersticiales. (National Research Council, 1985)

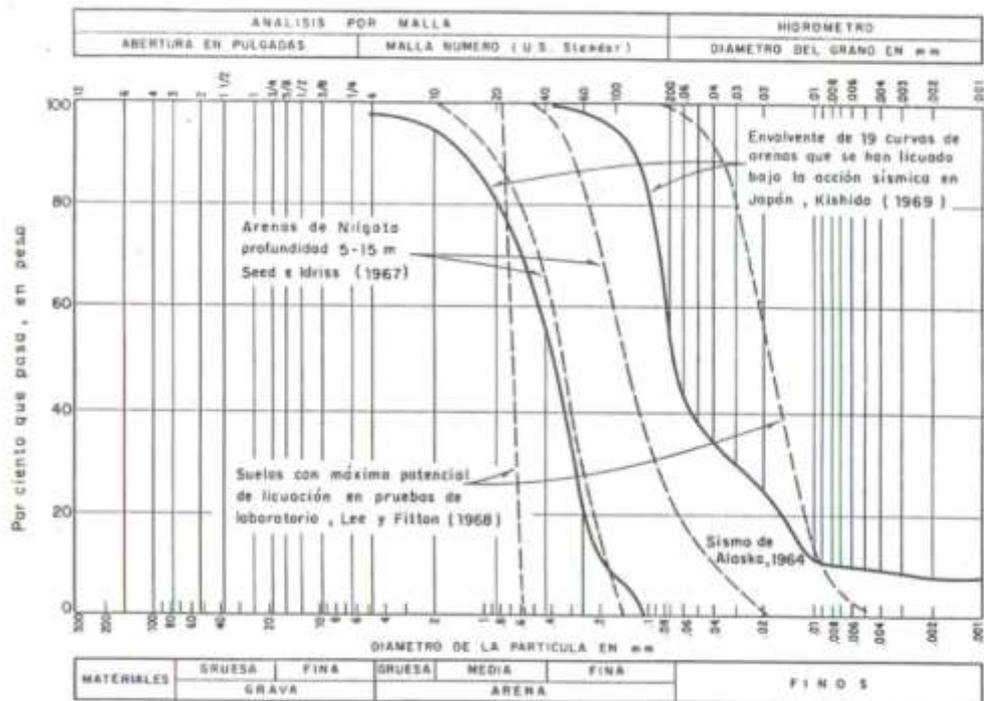


Figura 1, granulometría de algunos suelos que han licuado

1.6.3.2 Compacidad relativa (Cr) - relación de vacíos (e).

Una arena suelta es más susceptible de licuarse que una arena densa. En sismos previos, se han licuado suelos cuya compacidad relativa o densidad relativa (C_r) era del orden del 50 por ciento o menor (indicativa de alta susceptibilidad a cambios de volumen). Por el contrario, en arenas con una C_r del orden del 70 por ciento o mayor, no se produjo este fenómeno. En la Figura 7 se ilustra el concepto de compacidad relativa.

La densidad relativa puede ser reproducida aproximadamente en laboratorio usando muestras reconstruidas, sin embargo, en situaciones típicas de campo, donde el suelo tiene estratificaciones complejas, ésta aproximación pierde su significado.

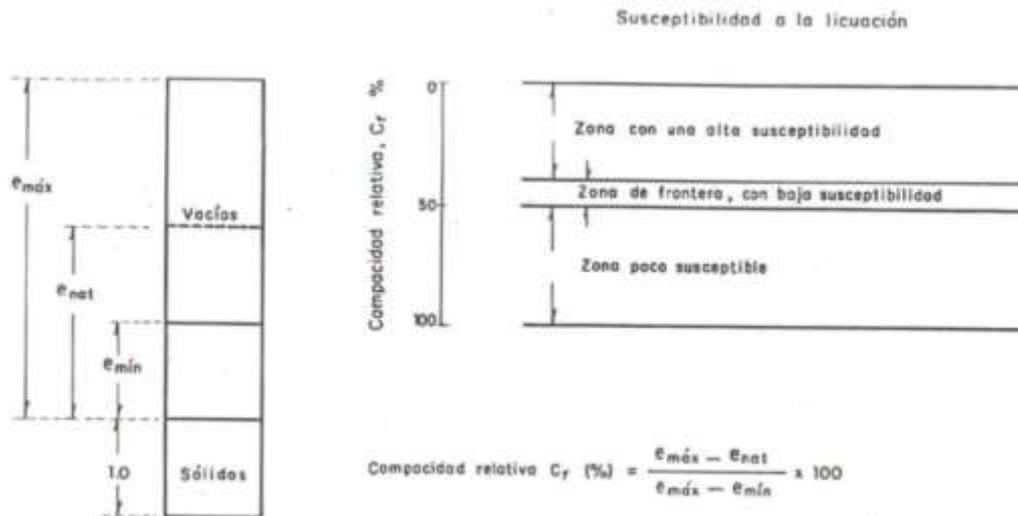


Figura 2, concepto de compacidad relativa.

1.6.3.3 Condiciones iniciales de esfuerzo y de deformación

Corresponden a las características de la historia previa de esfuerzos o de deformaciones que ha soportado el suelo, como, por ejemplo:

1.6.3.4 Esfuerzo confinante inicial

La susceptibilidad a la licuación disminuye al aumentar el esfuerzo confinante.

Los ensayos de laboratorio han permitido comprobar que, para una misma relación de vacíos inicial, el esfuerzo cortante requerido para comenzar la licuación bajo condiciones de carga repetida, se incrementa con el aumento de la presión de confinamiento (Figuras 2 y 3).

Debido a lo anterior, y a las evidencias de campo con que se cuenta, se puede decir que difícilmente se presenta el fenómeno de licuación a profundidades superiores a los 20 metros.

Dada la dificultad de estimar el confinamiento lateral en campo, la tensión efectiva vertical es usada para definir el nivel de confinamiento. (Kanamori, 1977)

1.6.3.5 Lapso de esfuerzo sostenido

Experiencias de laboratorio indican que muestras idénticas sometidas a cargas sostenidas por períodos que variaron de 0,1 a 100 días antes del ensayo, sufrieron en función del tiempo, aumentos de hasta un 25 por ciento en el valor de la relación de esfuerzos cíclicos que produce licuación. Lo anterior se debe a que aparentemente, para un mismo volumen, con el tiempo se hace más fuerte el contacto entre las partículas.

1.6.3.6 Historia previa de deformaciones

Este importante factor fue señalado por primera vez por (Finn & Bransby, 1970), quienes comprobaron por medio de experiencias en laboratorio, que la característica del fenómeno de licuación es influida por la historia previa de deformaciones. Por otro lado, los resultados de experimentos en los cuales muestras de arena se sometieron previamente a una serie de vibraciones de pequeña amplitud, permitieron a (Seed, Mori, & Chan, 1975) verificar que por efecto de la historia sísmica se incrementa considerablemente la resistencia a la licuación (Figura 8). En otras palabras, de acuerdo con la evidencia experimental con que se cuenta, se puede afirmar que, para un número de ciclos dados, las muestras de arena sometidas a perturbaciones previas que inducen esfuerzos o deformaciones de bajo nivel, requieren una relación de esfuerzos cíclicos mayor para licuarse.

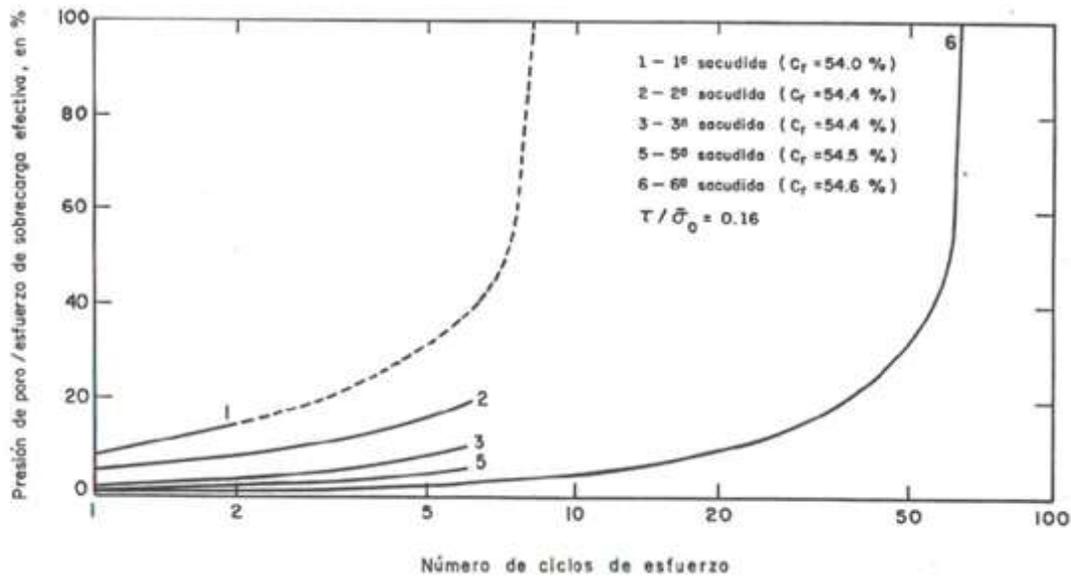


Figura 3, Efecto de la historia sísmica sobre las características de licuación de una arena.

1.6.3.7 Características de la sollicitación

a) Magnitud del esfuerzo repetido

Cualquier suelo granular con una relación de vacíos mayor que la mínima es susceptible de sufrir pérdida parcial o total de resistencia, si la excitación es de intensidad suficiente.

Los terremotos generan componentes de la aceleración y por ende tensiones en las tres direcciones principales. La tensión más crítica, desde el punto de vista de la licuación, surge de la propagación vertical de las ondas tangenciales horizontales. La componente vertical no se considera de importancia, porque son de naturaleza dilatante y serán completamente absorbidas por la presión intersticial.

b) Número de ciclos de esfuerzo

A través de estudios de laboratorio, se ha podido observar que en una muestra sujeta a carga repetida, con un nivel de esfuerzo o de deformación definido, el inicio

de la licuación dependerá de la aplicación de un número de ciclos de esfuerzo adecuado a cada caso (Figura 3). Esto tuvo su confirmación “in-situ”, durante el terremoto de Alaska de 1964, ya que allí los deslizamientos ocurrieron después de 90 segundos de comenzado el sismo. (Henriquez Pantaleón, 2007)

c) Proceso de licuación

Es un fenómeno complejo, aún no es muy claro y bien comprendido cómo ocurre, por lo que se tienen diferentes interpretaciones. Sin embargo, una manera simple de describirlo es la siguiente:

Un depósito de suelo consiste en un grupo de partículas individuales, cada una de ellas se encuentra en contacto con otras circundantes. Las partículas apoyadas entre sí producen fuerzas de contacto que las mantienen juntas y en su lugar, derivando en la estabilidad del suelo y proporcionándole resistencia.

Si se tiene un grupo de partículas de suelo no cohesivo, suelto y saturado, y se le aplica una carga violenta se genera la ruptura de su estructura. Al deteriorarse la estructura, las partículas se mueven libremente buscando la manera de formar una estructura más densa.

Durante un sismo la aplicación de la carga es rápida y espontánea, no se da tiempo a que la estructura se reacomode lentamente y se expulse el agua contenida en los poros. Esto se ve acompañado de un incremento en la presión del agua (provocando la reducción de fricción entre partículas), al grado en que el suelo comienza a ablandarse y perder resistencia.

Las fuerzas de contacto entre partículas se vuelven mínimas debido sobre todo a la alta presión del agua. En casos extremos, la presión de agua es tan grande que las partículas se ven separadas y comienzan a moverse libremente en ésta,

comportándose como un líquido viscoso más que como sólido.

Antes de un terremoto, la presión del agua es relativamente baja. Al ocurrir un sismo, la presión del agua puede ser tan grande, que como se mencionó previamente, las partículas tengan la libertad de moverse, para posteriormente reacomodarse de manera estable (figura 1.2). Actividades como voladuras o aquellas relacionadas con vibraciones del suelo también pueden generar un aumento en la presión del agua y por lo tanto fallamiento de éste. (Ambraseys, 1969).

d) Métodos existentes para evaluar el peligro por licuación del suelo por sismo.

Dependiendo del caso de estudio, la mayoría de los autores se inclinan por calcular la susceptibilidad de un área a presentar licuación haciendo modificaciones a tres métodos preexistentes, aclarando que no son los únicos, el cálculo del Índice Máximo de Licuación, el método propuesto por Youd y Perkins (1978) o el método propuesto por Seed e Idriss (1971), recientemente, también se ha expandido el uso del cálculo de la velocidad de ondas s como indicador de posible licuación. Cabe aclarar que cada autor adapta el método de cálculo acorde al área y los datos con los que cuenta. A continuación, se dará una breve explicación de estos métodos.

e) Índice máximo de licuación

El Índice Máximo de Licuación, llamado LSI por sus siglas en inglés (Liquefaction Severity Index), es un método de grado 1, de manera general es una medida del desplazamiento del suelo medido en pulgadas. Está basado en el desplazamiento lateral de depósitos deltaicos y fluviales del Holoceno (Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering TC4, 1993)

Para seleccionar el ambiente geológico, el LSI se normaliza con respecto a las

condiciones propias de cada sitio, principalmente el movimiento del terreno. El movimiento del terreno puede quedar en función de la aceleración pico del suelo o la velocidad pico del suelo y la duración del movimiento.

(Youd T. L., 1987) propone los factores de deformación del suelo por licuación, que deberían tomarse en cuenta al calcular el LSI.

f) Método propuesto por Youd y Perkins

Se trata de un método cualitativo en el que se requiere la compilación de dos mapas que arrojaran un tercero. El primer mapa consiste en áreas de posible fallamiento del suelo. El fallamiento del suelo es una función de la sismicidad del área y el radio de ocurrencia de un sismo de intensidad suficiente como para causarlo, esto en un área con materiales susceptibles a la licuación. Si se toma en cuenta un periodo de recurrencia de este tipo de fenómenos, se puede tener un mapa en términos de probabilidades. La información mínima requerida para hacer un mapa de posible fallamiento del suelo es la localización y frecuencia de la ocurrencia de sismos que igualmente tengan una magnitud y distancia desde su epicentro hasta las zonas en donde puede inducir licuación del suelo.

Tabla 2, Influencia de varios factores en la susceptibilidad de licuación, L, y la deformación

Factor	Influencia	Valor por LSI
Factores sismológicos		
Intensidad del movimiento	L y X incrementan con la intensidad	-
Duración del movimiento del suelo	L y X incrementan con la duración del movimiento	-
Factores sedimentológicos		
Espesor del estrato licuable	L y X generalmente incrementan con el espesor	Mayor de 3 m
Área de la zona susceptible a la licuación	X generalmente incrementa con la extensión del área	Capa continua bajo un área mayor
Confinamiento del estrato por sedimentos impermeables	L y X incrementan con el drenaje lento	No especificado
Edad de los sedimentos	L decrece con la edad del sedimento	Holoceno tardío
Litificación y sedimentación	L y X decrecen con la litificación y cementación	No cementado
Modo de emplazamiento	L y X decrecen con altas energías en el emplazamiento	Depósitos fluviales o de otro tipo por o en agua
Factores topográficos		
Pendiente del terreno	L y X decrecen o incrementan dependiendo de si el sedimento es contractivo o dilatativo	Pendientes de entre 0.5 y 5%
Cercanía de la superficie libre	X generalmente incrementa con la cercanía de la superficie libre	No especificado
Factores Hidrológicos		
Nivel freático	L y X decrecen con la profundidad del nivel freático	Profundidad menor o en 3 m aproximadamente
Presión artesiana	L y X incrementan con la presión artesiana	Menor que 0
Factores ingenieriles		
Tamaño de grano de sedimento	L es mayor en arenas limpias que en arenas sucias	Suelos granulares no cohesivos
Densidad relativa del sedimento	L y X decrecen con el incremento de la densidad o la resistencia a la penetración	$2 < N_1 < 10$
Fábrica o empaque de arreglo	L se ve influenciada por el empaquetamiento o la fábrica	No especificado

El segundo mapa es un mapa de susceptibilidad a fallamiento del suelo, éste se basa en la geología del lugar y la susceptibilidad de estos a presentar licuación. Es importante marcar las zonas más susceptibles a fallar como serían sedimentos mal graduados, de origen fluvial y perteneciente al Holoceno.

g) Mapa de Fallamiento del suelo

El mapa de fallamiento del suelo se hace de manera similar a uno de riesgo

sísmico. Las fuentes sísmicas son divididas en áreas fuente y fallas, la actividad sísmica en ambos casos se considera constante. Se estima que la energía liberada durante un sismo en un área fuente se distribuye de manera uniforme sobre el área afectada. Para las fallas, cualquier sismo tiene una posición definida, pero en este caso se asume que su posición es toda la falla. Hay que puntualizar, que los autores suponen que la energía liberada durante un sismo dado no pasará más allá de la frontera del área o falla fuente donde ocurre.

Para un punto dado, la posibilidad de que falle el suelo debido a una fuente dada es calculada de la siguiente manera. Se calcula la distancia entre el punto a evaluar y el centro del área fuente, el cual representa el punto de energía liberada. Para cada rango de magnitudes dadas de la sismicidad de las áreas fuente se considera el valor medio de dicho rango.

h) Mapa de susceptibilidad a presentar agrietamientos y/o asentamientos

Este resulta más fácil de realizar que el mapa de fallamiento del suelo, Youd y Perkins (1978) proponen tomar en cuenta principalmente las características geológicas de la región de acuerdo a la tabla 3.2. En ella se presentan los factores a considerar acorde a la edad del depósito, ésta se divide en cuatro periodos. Se observa que los depósitos de menos de 500 años y aquellos correspondientes al Holoceno presentan una mayor susceptibilidad que aquellos del pleistoceno o prepleistoceno, quizá debido a un mayor asentamiento. Además, las zonas de playa o relacionadas con depósitos de ríos de baja energía son las que presentan mayor posibilidad de licuación.

La combinación de un mapa con el reconocimiento de zonas geológicas susceptibles a licuación del suelo y el mapa de fallamiento darán como resultado un

tercer mapa. Este último es el mapa de susceptibilidad de licuación, que era la relación que se quería encontrar. (Youd T. L., 1978)

Tabla 3, Susceptibilidad de suelos a sufrir licuación de arenas acorde a Youd y Perkins

DISTRIBUCIÓN DE SEDIMENTOS NO COHESIVOS		SUSCEPTIBILIDAD DE ACUERDO A LA EDAD DEL DEPÓSITO			
		Menos de 500 años	Holoceno	Pleistoceno	Pre pleistoceno
DEPÓSITOS CONTINETALES					
Canal de río	Localmente variable	Muy alta	Alta	Baja	Muy baja
Llanura de inundación	Localmente variable	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Abanicos y planos aluviales	Dispersos	Moderada	Baja	Baja	Muy baja
Terrazas y planos marinos	Dispersos	-	Baja	Muy baja	Muy baja
Delta y abanico delta	Dispersos	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Lacustre y playa	Variable	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Bases de laderas	Variable	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Talud	Dispersos	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja
Dunas	Dispersos	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Loess (deposito eólico)	Variable	Alta	Alta	Alta	Muy baja
Depósitos glaciares	Variable	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja
Tuff (roca compuesta de cenizas y polvo volcánico endurecido)	Raro	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja
Tefra (material volcánico de precipitación)	Dispersos	Alta	Alta	?	?
Residuos solidos	Raro	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja
Sebka	Localmente variable	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
AMBIENTES COSTEROS					
Delta	Dispersos	Muy alta	Alta	Baja	Muy baja
Estuario	Localmente variable	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Playa alta energía	Dispersos	Moderada	Baja	Muy baja	Muy baja
Playa baja energía	Dispersos	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Laguna	Localmente variable	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Orilla de costa	Localmente variable	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
AMBIENTES ARTIFICIALES					
sedimentos no compactados	Variable	Muy alta	-	-	-
Sedimentos compactados	Variable	Baja	-	-	-

i) Método simplificado de Seed e Idriss

Tomando en cuenta el tipo de suelo, la densidad relativa, la presión de

confinamiento inicial, la intensidad del movimiento sísmico y su duración, Seed e Idriss (1971) proponen un método para evaluar la susceptibilidad de un suelo a licuarse. A continuación, se explicará brevemente en qué consiste.

Después de establecer todas las condiciones de suelo y del supuesto evento, se determina el tiempo que duran los esfuerzos de cizalla a que este es sometido a diferentes profundidades.

Considerar los ciclos de esfuerzos provocados por el sismo como si fueran uniformes, además de graficarlos en función de la profundidad. Para ello se considera la intensidad del movimiento del suelo, la duración temporal del evento y la variación de los esfuerzos de cizalla con la profundidad de interés.

Tomar muestras de estratos a diferentes profundidades en el área de interés. Someter estas muestras a pruebas de compresión tomando en cuenta las presiones de confinamiento iniciales en campo. Tomando en cuenta los ciclos de esfuerzos provocados por el sismo, calcular en laboratorio un número de ciclos similar o aproximado a este que provoquen la licuación de la muestra. Para ello deben considerarse factores como el tipo de suelo, condiciones de emplazamiento y condiciones iniciales de esfuerzo efectivo.

Para comparar los esfuerzos de cizalla del sismo con los requeridos para causar licuación, determinar los depósitos en que se espera que pueda ocurrir licuación. Si se tratan esfuerzos diferentes a varias profundidades, se puede hacer un análisis de la respuesta del suelo. (Seed H. e idriss, 1971)

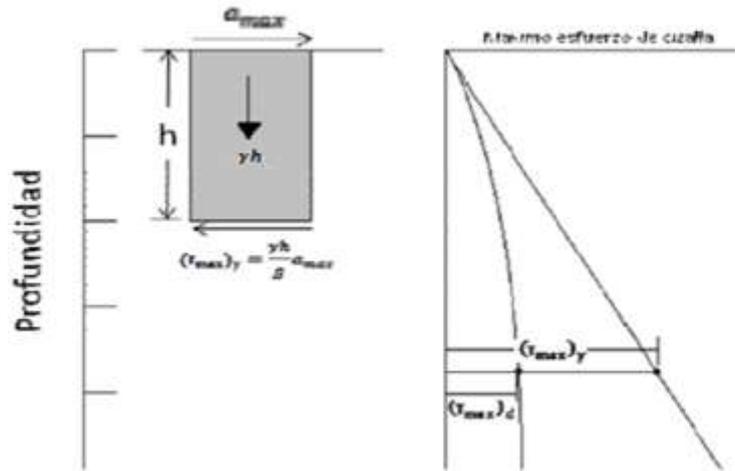


Figura 4, Variación de los esfuerzos de cizalla con la profundidad

1.7 Definición de términos básicos.

Licuefacción: La licuefacción describe el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (carga), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado. Es uno de los fenómenos más dramáticos y destructivos y, además, más polémicos y peor explicados que pueden ser inducidos en depósitos por acciones sísmicas. (Heras, 2018)

Sismo: El sismo es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la actividad de fallas geológicas. (Heras, 2018)

Suelo: Suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas. Desde el punto de vista ingenieril se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden

ser separados sin un aporte significativamente alto de energía. (Heras, 2018)

Zonas de riesgo: Son los lugares más propensos a sufrir el fenómeno de licuefacción en una zona determinada. (Heras, 2018)

1.8 Formulación de la hipótesis.

La presente investigación es no experimental descriptiva por lo tanto no es pertinente la elaboración de la hipótesis.

1.9 Propuesta de aplicación profesional.

En Trujillo no se ha realizado ningún estudio de posibles zonas de licuación publicada por alguna entidad de alto rango. Hace cerca de 400 años se produjo un terremoto en el norte del Perú que arruinó los edificios de Trujillo de la época. Se tendrá que realizar el ensayo SPT para cada muestra y calcular el número de golpes, realizar la caracterización del suelo, así como el ensayo triaxial y otros que se requieran y, determinar la susceptibilidad de los suelos a la licuación durante un sismo mediante el método de Seed e Idriss. Para determinar las zonas de riesgo de licuación de suelos, el instrumento de recolección de datos es la matriz de datos, donde se consigna la información obtenida de la revisión de las diferentes publicaciones referidas al tema. Se considera también como fuentes de información, las publicaciones de las Tesis referidas al tema d zonas de riesgo de licuación de suelos. Estando nuestro país en riesgo de sismo, es necesario tener un mapa de zonas de riesgo de manera que se tomen las medidas necesarias en cada caso. Esta investigación, además de ser parte de un conjunto de mapas alrededor del mundo de posibles lugares susceptibles a la licuación de suelos, será la base de futuras investigaciones donde otros tesisistas evaluarán por ejemplo como poder minimizar los daños durante la licuación de suelos, o como mejorar el suelo propenso a licuar

o succión de agua para la reducción de zonas de licuefacción, etc.

II. MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1. Material:

a) Materiales

Los materiales empleados son básicamente útiles de escritorio como papel, lapiceros, uso de equipos multimedia, impresora, entre otros.

b) Humano.

El recurso humano empleado es el tesista Pepe Walter Heras Flores y el Mg. Ing. Eduardo Enrique Durand bazán.

c) Servicios.

Los empleados en la presente investigación son los servicios de topografía, los estudios de mecánica de suelos con equipos de perforación para obtener muestras.

d) Otros.

También se consideran servicios adicionales como alquiler de unidades para movilidad.

2.2. Material de estudio.

2.2.1. Población.

La población es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado, al querer hacer un mapa de posibles zonas de licuación de todo el distrito de Víctor Larco Herrera, nuestra población será todo el suelo de dicho distrito.

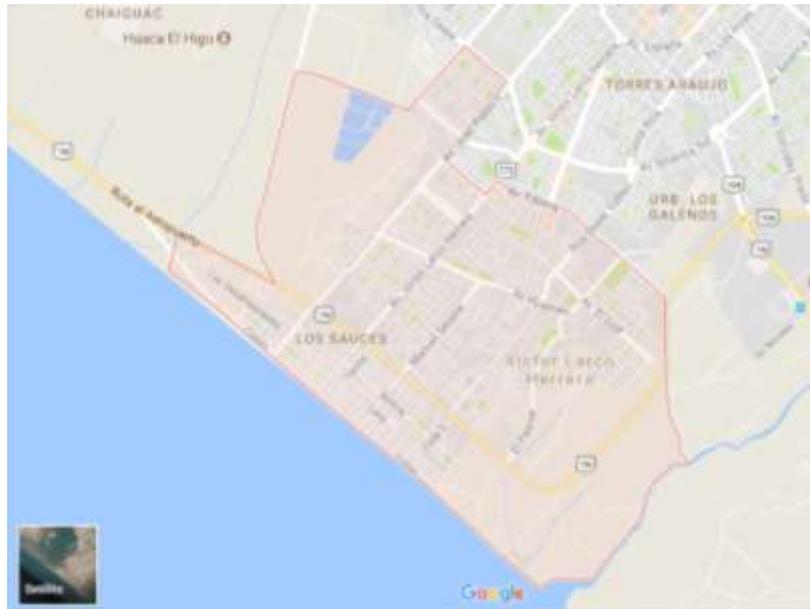


Figura 5, Distrito Víctor Larco Herrera – Trujillo

2.2.2. Muestra.

La muestra es un subconjunto de la población y para esto se debe tomar una cierta técnica de muestreo. Escogemos una técnica NO PROBABILÍSTICA – POR JUICIO ya que no tenemos un número de datos y ya que se trata de suelos, la norma E-050 de suelos y cimentaciones establece que según su tabla N°6 se haga tres puntos de investigación por cada Hectárea de terreno habilitado para urbanizaciones de viviendas unifamiliares de hasta 3 pisos; por lo que en total tendremos 3 puntos de investigación.

- **Muestreo:**



MUESTREO



NO
PROBABILÍSTICO



POR JUICIO
DE
EXPERTOS

- **Muestra:**



3 PUNTOS SPT

2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

2.3.1. Para recolectar datos.

Detalla las técnicas de recolección son procedimientos para recolectar la información necesaria para el logro de los objetivos de la presente investigación. Se escoge la técnica de OBSERVACIÓN ya que es un acto en el que entran en una estrecha y simultánea relación el observador (sujeto) y el objeto y su principal ventaja es que los datos se recogen directamente de los objetos o fenómenos percibidos mediante registros de campo de donde se recolectarán los datos. El instrumento es la herramienta con la que se hará la recolección de datos, en este caso la observación, para este caso, al ser un tema de suelos/ sísmica se utilizará una GUÍA DE OBSERVACIÓN ya que se necesita tener todos los datos recogidos de una manera ordenada y planificada. Ésta guía se presenta en el anexo N°1.

VALIDACIÓN: la mencionada guía de observación es elaborada por el MINISTERIO DEL AMBIENTE- VICE MINISTERIO DE GESTIÓN AMBIENTAL-DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD AMBIENTAL.

- PROCEDIMIENTOS:



Figura 6, Procedimientos

- EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Para la caracterización, el muestreo consiste en realizar perforaciones por cada hectárea de terreno habilitado, a una profundidad de 5 metros de profundidad. Del material extraído se extraen tres muestras alteradas que se colocan en bolsas negras para posteriormente ser trasladadas al laboratorio de INGEOMA S.A.C. Ahí el material es analizado a través de diferentes ensayos, con el fin de ser caracterizado. Con el fin de identificar las muestras extraídas, estas son etiquetadas con la fecha de cuando fueron extraídas y la ubicación de donde proviene el material.

- PRUEBAS DE LABORATORIO

Después de extraer las muestras, se deben efectuar los siguientes ensayos de laboratorio:

- a. Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422, MTC E107)

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

- b. Límite Líquido (ASTM D-4318, MTC E110)

Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

- c. Límite Plástico (ASTM D-4318, MTC E111)

Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

- d. Contenido de humedad (ASTM D-2216, MTC E108)

Este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

- ENSAYO CORTE DIRECTO

Su principal finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo-deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante.

Es un ensayo complejo, pero la información que entrega es la más

representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser cargada. Alcanzado ese estado de equilibrio, se aumenta la presión normal ó axial (σ_1), sin modificar la presión lateral aplicada (σ_3), hasta que se produzca la falla. Realizando por lo menos 3 pruebas, con presiones laterales diferentes, en un gráfico se dibujan los círculos de Mohr que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a éstos, se determinan los parámetros ϕ y c del suelo. Dependiendo del tipo de suelo y las condiciones en que este trabajará, las alternativas para realizar el ensayo serán consolidados no drenado (CU), no consolidado no drenado (UU) o consolidado drenado (CD).

2.3.2. Para procesar datos.

2.3.2.1. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS

El método escogido es la ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA ya que la presente investigación es no experimental y el método se encarga de recolectar, presentar y caracterizar un conjunto de datos con el fin de describir apropiadamente las diversas características de ese conjunto.

2.3.2.2. INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

El instrumento que se utilizará es el CARTOGRAMA, ya que se desea hacer un mapa de riesgo de nuestra variable, la licuefacción en el distrito Víctor Larco Herrera, y éste permitirá determinar las zonas más propensas y las que son seguras de construir. Además, usando colores se podrá saber el nivel de

posible licuación (variable ordinal)

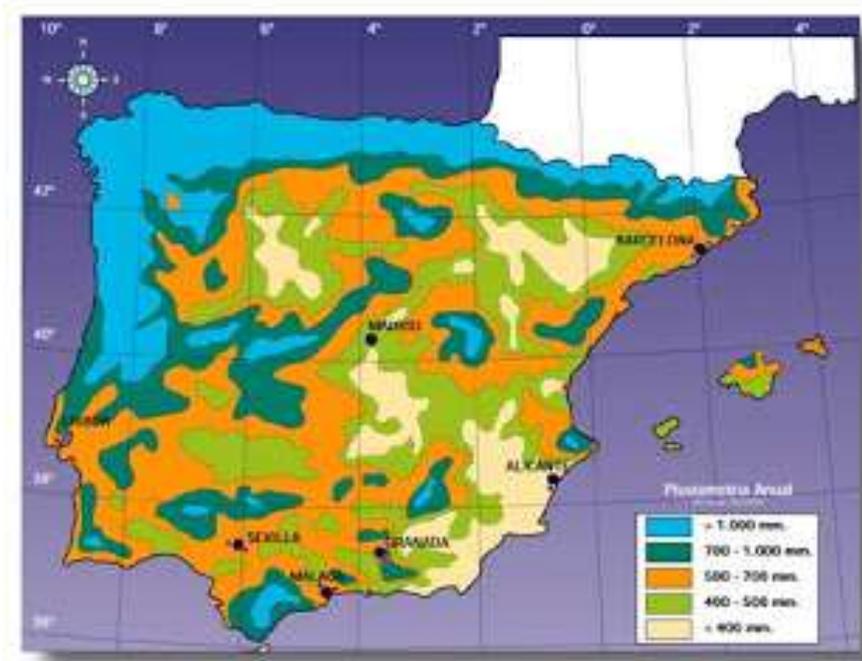


Figura 7, Modelo de cartograma

- PROCEDIMIENTOS

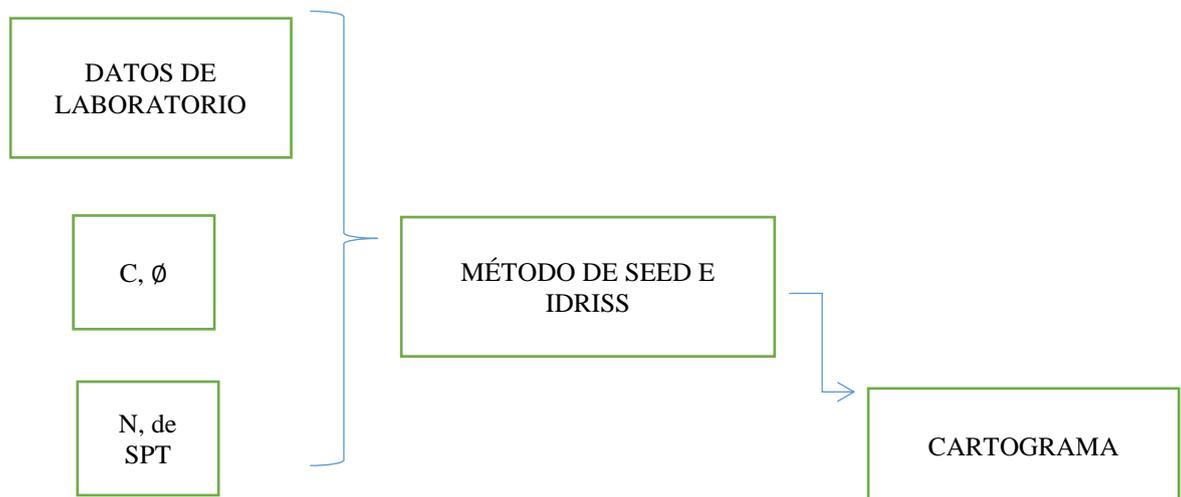


Figura 8, procedimiento de análisis

- MÉTODO DE SEED E IDRISS

La relación de esfuerzo cíclico (CSR) y la relación de la resistencia

cíclica (CRR).

Para evaluar la resistencia por licuación de suelo es necesario calcular dos variables:

La demanda sísmica que se espera en las capas de suelo durante un sismo de diseño, expresada en términos de resistencia CSR (cyclic stress ratio).

La resistencia de suelo para oponerse a la licuación, expresado con CRR (cyclic resistance ratio).

- Evaluación de CSR

Seed e Idriss (1971) formulan la ecuación para el cálculo de la relación de esfuerzos cíclicos (CSR, cyclic stress ratio):

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d$$

a_{max} = máxima aceleración de la superficie de suelo generada por un sismo de diseño

g = aceleración de gravedad

(σ_{vo}) = esfuerzo normal vertical total, referido a la superficie de suelo

(σ_{vo}') = esfuerzo normal vertical efectivo, referido a la superficie de suelo,

r_d = coeficiente de reducción de esfuerzos, que toma en cuenta la deformabilidad del perfil de subsuelo.

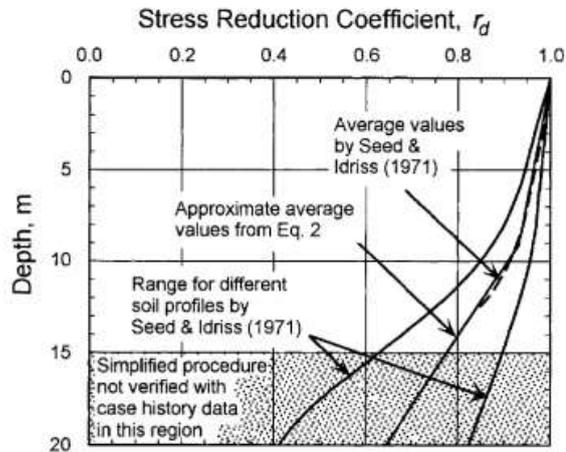


Figura 9, Las curvas de relación de r_d y profundidad, desarrolladas por Seed e Idriss (1971).

- Evaluación de la resistencia por licuación (CRR)

El método más convincente consiste en la extracción de las muestras inalteradas y la realización de las pruebas de laboratorio correspondientes. Este método se justifica solamente en los proyectos sumamente importantes. Para evitar las dificultades asociadas con el muestreo y laboratorio, el estado de práctica para las pruebas rutinarias de la investigación de licuación se basa en las pruebas de campo. Las pruebas de campo usuales para evaluar la resistencia por licuación son la prueba de penetración estándar (SPT), prueba de penetración de cono (CPT), mediciones de las velocidades de la onda cortante (V_s) y la prueba de penetración Becker (BPT). Se logró obtener los resultados consistentes, independientes de tipo de prueba realizada. Sin embargo, las pruebas SPT y CPT son generalmente preferidas ya que se dispone de bases de datos de experiencias más extensas. Otras pruebas pueden utilizarse en los sitios con depósitos de grava y donde el acceso de equipos pesados es limitado. En

la Tabla 1 se indican las ventajas y desventajas de cada prueba.

- La influencia del contenido de finos

Seed (1985) observa el incremento en CRR en función de incremento de finos. No es claro si esto se debe al incremento de la resistencia a licuación o al decremento de la resistencia a la penetración. Basados en los datos empíricos disponibles, Seed et al., desarrollaron curvas de CRR para varios contenidos de finos. La plasticidad de suelo, todavía, no se había investigado. Por lo tanto, las correcciones basadas en la cantidad de finos deben usarse con precaución y criterio. Las siguientes ecuaciones fueron desarrolladas por Idriss y Seed para referirse a la curva base de arena limpia reduciendo el $(N1)_{60}$ a un valor equivalente de arena limpia $(N1)_{60cs}$. (T. L. Youd, 2001)

- CARTOGRAMA

Se plasman los resultados obtenidos en un cartograma de manera que se observe las zonas que posiblemente licúen durante un sismo.

2.4. Operacionalización de variables.

Tabla 4: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
DETERMINACION DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUACIÓN DE SUELOS	La determinación de las zonas de riesgo de licuación de suelos se refiere a clasificar una zona del distrito calculando si es probable el fenómeno, el cual ocurre cuando un material no consolidado pierde su resistencia al esfuerzo cortante a causa de un sismo.	La determinación de las zonas de riesgo de licuación de suelos será realizada en un sector del distrito del Victor Larco Herrera en la provincia de Trujillo de manera que se tenga mapas de riesgo para la construcción segura de diferentes establecimientos	CSR	esfuerzo normal vertical	Densidad o peso específico
					Humedad
				Aceleración máxima	Profundidad
				Aceleración de la gravedad	Sismo de diseño
			CRR	N	CD



Mapa del distrito de Víctor Larco



Vista satelital de la zona en estudio y ubicación de calicatas

La profundidad máxima alcanzada fue de 5.00 m., computados a partir del nivel de sub rasante, lo que nos permitió visualizar la estratigrafía y determinar el tipo de ensayos de laboratorio a ejecutar de cada uno de los estratos de suelos encontrados. El nivel freático y/o aguas por filtración se encontraron a partir de la profundidad explorada de 2.0 metros. Ver profundidad en la descripción de la calicata.

A medida que se efectuaron las excavaciones se describieron en forma tacto-visual los suelos (color, textura, etc.) a fin de establecer la secuencia, ubicación y espesores de los diferentes mantos que conforman la estratigrafía del área estudiada, en concordancia con la Norma ASTM D2487.

3.2 TRABAJOS DE LABORATORIO:

Las muestras procedentes de la excavación de las calicatas, fueron extraídas y recepcionadas por el personal técnico de nuestra oficina, la que llegó en bolsa de polietileno, debidamente identificada.

Al momento de recepcionar las muestras, se nos alcanzó también la composición estratigráfica del suelo, señalando la profundidad de excavación y espesor de las diferentes capas de suelo encontrados.

De las muestras procedentes de la excavación de las calicatas, se efectuaron ensayos correspondientes a clasificación (granulometría y límites de Atterberg), humedad natural, todos estos ensayos fueron realizados de acuerdo a lo estipulado en normas técnicas tal como se indica a continuación:

- CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD, mediante procedimiento de secado en estufa a la temperatura de 110° C, según norma ASTM D2216.
- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO, por vía húmeda o por lavado con cribado normal, de acorde a la noma ASTM D422.
- LÍMITES DE ATTERBERG, Límite líquido y Límite plástico, de acorde con la norma ASTM D1557.
- CLASIFICACIÓN DE SUELOS, en base al Sistema de clasificación SUCS y AASHTO, acorde con la Norma ASTM D2487.

3.3 ESTRATIGRAFIA DEL SUELO:

De acuerdo a los análisis realizados a las muestras proporcionadas y de los antecedentes indicados anteriormente, se logra establecer que la estratigrafía del suelo de fundación a nivel superficial es la siguiente; Podemos encontrar, Arena limpia mal graduada (**SP**). Siendo la estratigrafía representativa del lugar tal como a continuación se lo expone:

CALICATA C-01:

ESTRATO E-1 / profundidad 0.00 – 5.00 m

Estrato de suelo identificado como Arena limpia mal graduada **SP**, tiene color gris, una humedad natural de 12.65 % y una plasticidad $IP=0.00$ %. Sus componentes son: grava 4.60%, arena 95.05 % y finos limosos 0.35 %.

El suelo tiene un peso volumétrico húmedo de 1.685 Ton/m³.

Se encontró nivel freático a una profundidad de 2.00 m.

CALICATA C-02:

ESTRATO E-2 / profundidad 0.00 – 5.00 m

Estrato de suelo identificado como Arena limpia mal graduada SP, tiene color gris, una humedad natural de 15.66 % y una plasticidad $IP=0.00$ %. Sus componentes son: grava 1.08%, arena 98.62 % y finos limosos 0.30 %.

El suelo tiene un peso volumétrico húmedo de 1.692 Ton/m³.

Se encontró nivel freático a una profundidad de 2.00 m.

CALICATA C-03:

ESTRATO E-2 / profundidad 0.00 – 5.00 m

Estrato de suelo identificado como Arena limpia mal graduada SP, tiene color gris, una humedad natural de 13.75 % y una plasticidad $IP=0.00$ %. Sus componentes son: grava 3.96%, arena 95.78 % y finos limosos 0.25 %.

El suelo tiene un peso volumétrico húmedo de 1.688 Ton/m³.

Se encontró nivel freático a una profundidad de 2.00 m.

A continuación, se presenta el cuadro de resultados de ensayos de laboratorio:

CALICATA C-01	
ESTRATO	E-1
PROF. (m)	0.00-5.00
SUCS	SP
DESCRIPCION	ARENA LIMPIA MAL GRADUADA
< 200	0.35 %
LL	0.00 %
LP	0.00 %
IP	0.00 %
γ (Ton/m ³)	1.685
% W	12.65 %
ϕ	25.10°
C (Kg/cm ²)	0.000

CALICATA C-02	
ESTRATO	E-1
PROF. (m)	0.00-5.00
SUCS	SP
DESCRIPCION	ARENA LIMPIA MAL GRADUADA
< 200	0.30 %
LL	0.00 %
LP	0.00 %
IP	0.00 %
γ (Ton/m ³)	1.692
% W	15.66 %
ϕ	24.40°
C (Kg/cm ²)	0.005

CALICATA C-03	
ESTRATO	E-1
PROF. (m)	0.00-5.00
SUCS	SP
DESCRIPCION	ARENA LIMPIA MAL GRADUADA
< 200	0.25 %
LL	0.00 %
LP	0.00 %
IP	0.00 %
γ (Ton/m ³)	1.688
% W	13.75 %
\emptyset	24.80°
C (Kg/cm ²)	0.005

Dónde:

SUCS : Sistema Unificado Clasificación de Suelos

< 200 : Partículas menores del tamiz N° 200

LL : Límite Líquido

LP : Límite Plástico

IP : Índice Plástico

% W_n : Contenido de Humedad Natural

γ : Peso volumétrico húmedo (Ton/m³)

\emptyset : Ángulo de fricción interna del suelo

C : Cohesión del suelo (Kg/cm²)

3.4 ANALISIS DE CIMENTACION:

3.4.1. CAPACIDAD PORTANTE

De acuerdo a la arquitectura de proyecto se dimensionará los elementos estructurales y se determinará las formas geométricas a utilizar (zapatas cuadradas o rectangulares).

Para las zapatas se propone una profundidad de cimentación mínima de 1.50 m y una profundidad de 0.90 m para la cimentación corrida.

A). PARAMETROS DE RESISTENCIA

Por tratarse de suelos granulares que según la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, son arenas limosas que se encuentran en estado muy denso a denso y tienen un bajo contenido de humedad, lo que impide obtener muestras inalteradas; se ha recurrido a fuentes bibliográficas publicadas para determinar su ángulo de fricción interna, cohesión, módulo de elasticidad, y relación de Poisson, que permita realizar los cálculos de capacidad portante y posibles asentamientos.

B). CAPACIDAD PORTANTE

La capacidad portante del suelo de fundación, se ha determinado considerando un factor de seguridad para la falla por corte, luego se ha verificado que los asentamientos diferenciales producidos por esta presión no sean mayores que los admisibles.

CAPACIDAD DE CARGA POR CORTE

Para el caso general de cimentaciones superficiales de importancia media y cuyo fallo no implique consecuencias especiales, se está adoptando para un tipo de situación persistente o transitoria de largo plazo, un coeficiente de seguridad global frente al hundimiento, $F. S. = 4$, para el caso de cimentaciones en arenas y gravas densas.

La capacidad de carga admisible (q_{adm}), del terreno de cimentación, se ha calculado empleando la Teoría de Terzaghi (1943), quien sugirió que para una cimentación corrida (es decir cuando la relación ancho entre longitud de la cimentación tiende a cero), la superficie de falla en el suelo bajo carga última puede suponerse como una falla general por corte. Para realizar los cálculos, se considera entonces, los **factores de capacidad de carga N_c, N_q, N_γ** .

En 1975, las investigaciones de Vesic aportaron con los factores de forma., y la fórmula que se está utilizando, incluye los **factores de forma S_c, S_q, S_γ** . Por tanto, la ecuación de cálculo para hallar **la capacidad de carga última (q_u)**, es la siguiente:

$$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma S_\gamma$$

Dónde:

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

FACTORES DE FORMA (Vesic)

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$$

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$N_\gamma = 2 (1 + N_q) \tan \phi \tan \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{5} \phi \right)$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

A continuación, indicamos los datos utilizados en la secuencia de los cálculos realizados:

CALICATA C-01

Teniendo:

Peso unitario suelo encima NNF	$\gamma = 1.685 \text{ Ton/m}^3$
Profundidad desplante de zapatas	$D_f = 1.50 \text{ m}$
Profundidad desplante cimentación corrida	$D_f = 0.90 \text{ m}$
Factor de Seguridad	F.S. = 4
Angulo de fricción interna	$\Phi = 25.10^\circ$
Cohesión	$C = 0.000 \text{ kg/cm}^2$

CALICATA C-02

Teniendo:

Peso unitario suelo encima NNF	$\gamma = 1.692 \text{ Ton/m}^3$
Profundidad desplante de zapatas	$D_f = 1.50 \text{ m}$
Profundidad desplante cimentación corrida	$D_f = 0.90 \text{ m}$
Factor de Seguridad	F.S.= 4
Angulo de fricción interna	$\Phi = 24.40^\circ$
Cohesión	$C = 0.005 \text{ kg/cm}^2$

CALICATA C-03

Teniendo:

Peso unitario suelo encima NNF	$\gamma = 1.688 \text{ Ton/m}^3$
Profundidad desplante de zapatas	$D_f = 1.50 \text{ m}$
Profundidad desplante cimentación corrida	$D_f = 0.90 \text{ m}$
Factor de Seguridad	F.S.= 4
Angulo de fricción interna	$\Phi = 24.80^\circ$
Cohesión	$C = 0.005 \text{ kg/cm}^2$

Habiéndose obtenido la capacidad de carga última (**qu**), y definido el factor de seguridad (**F.S.**) se tiene como consecuencia, el resultado de la **CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (q_{adm}) del suelo.**

Entonces la ecuación es:

$$Q_{adm} = q_u / F.S.$$

ASENTAMIENTOS

En suelos granulares permeables, suelos no saturados, arcillas duras y rocas, los asentamientos son básicamente instantáneos o inmediatos y estos pueden calcularse a partir del Método Elástico, según la ecuación siguiente:

ASENTAMIENTO INICIAL (S)

Teoría Elástica.

$$S = C_s q B \left(\frac{1-\nu^2}{E_s} \right)$$

Asentamiento inmediato en cm	(S)
Relación de Poisson	(ν)
Módulo de elasticidad del suelo	(E_s)
Factor de forma y rigidez cimentación	(C_s)
Presión vertical cimentación	(q)
Ancho de cimentación	(B)

Para el análisis de asentamientos, se considera una presión vertical transmitida igual a la capacidad de carga admisible. Las propiedades elásticas del suelo de cimentación fueron adoptadas a partir de tablas e investigaciones publicadas, de acuerdo al tipo de suelo donde irá desplantada la cimentación. Reemplazando los datos correspondientes,

obtenemos los siguientes resultados:

CALICATA C-01, C-02, C-03

Dónde:

Asentamiento inmediato en cm	(S)
Relación de Poisson	$\nu = 0.25$
Módulo de elasticidad del suelo	$E_s = 350.00 \text{ Kg/cm}^2$
Factores de forma para cimentación rígida:	
Factor de forma y rigidez cimentación corrida	$C_s = 254.00 \text{ cm/m}$
Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada	$C_s = 112.00 \text{ cm/m}$
Factor de forma y rigidez cimentación rectangular	$C_s = 153.00 \text{ cm/m}$

Con estos datos, los resultados son los siguientes:

ANÁLISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"

CALICATA Nº 1 - ESTRATO 1 / ESPESOR. 5.00

								FECHA :	DIC. 2018
CAPACIDAD DE CARGA					ASENTAMIENTO INICIAL				
(Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975)					Teoría Elástica				
$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma S_\gamma$					$S = C_s q B \left(\frac{1-v^2}{E_s} \right)$				
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA					FACTORES DE FORMA (Vesic)				
$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$					$S_c = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$				
$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$					$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$				
$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$					$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad \geq 0.6$				
Peso unitario suelo encima NNF $\gamma = 1.685$ ton/m ³					Relación de Poisson $\nu = 0.25$				
Peso unitario suelo debajo NNF $\gamma' = 1.685$ ton/m ³					Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 350.00$ kg/cm ²				
Profundidad de cimentación (ZAPATA) 1.50 m					Factor de forma y rigidez cimentación corrida $C_s = 254.00$ cm/m				
Factor de seguridad 4.00					Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada $C_s = 112.00$ cm/m				
Prof. cimiento corrido (Ingresar dato, si hay) 0.90					Factor de forma y rigidez cimentación rectangular $C_s = 153.00$ cm/m				
Sobrecarga en la base de la cimentación $q = \gamma D = 2.53$ ton/m ²									
Sobrecarga en la base del cimiento corrido $q = \gamma D = 1.52$ ton/m ²									
Considerando Falla Local por Corte									
Angulo de fricción ϕ	cohesión c (kg/cm ²)	N_c	N_q	N_γ (Vesic)	N_q/N_c	$\tan \epsilon$			
25.10	0.000	20.867	10.775	11.032	0.516	0.468			
B=	Ancho de la cimentación								
L=	Longitud de cimentación								
CIMENTACION CORRIDA									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
0.40		1.00	1.00	1.00	2.01	0.50	0.14		
0.50		1.00	1.00	1.00	2.10	0.52	0.18		
0.60		1.00	1.00	1.00	2.19	0.55	0.22		
0.80		1.00	1.00	1.00	2.38	0.59	0.32		
1.00		1.00	1.00	1.00	2.56	0.64	0.44		
CIMENTACION CUADRADA									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
1.00	1.00	1.52	1.47	0.60	4.56	1.14	0.34		
1.50	1.50	1.52	1.47	0.60	4.84	1.21	0.54		
2.00	2.00	1.52	1.47	0.60	5.11	1.28	0.77		
2.50	2.50	1.52	1.47	0.60	5.39	1.35	1.01		
3.00	3.00	1.52	1.47	0.60	5.67	1.42	1.28		
CIMENTACION RECTANGULAR									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
1.00	2.00	1.26	1.23	0.80	4.10	1.03	0.42		
1.50	3.00	1.26	1.23	0.80	4.48	1.12	0.69		
2.00	4.00	1.26	1.23	0.80	4.85	1.21	0.99		
2.50	5.00	1.26	1.23	0.80	5.22	1.31	1.34		
Se puede considerar como valor único de diseño:					CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO				
$Q_{admisible} = 1.28$ kg/cm ²					SUCS : SP (ARENA LIMPIA MAL GRADUADA)				
$Q_{admisible} = 12.79$ tn/m ²					AASHTO : A - 3 (0)				
CARGA ADMISIBLE BRUTA					COLOR ϕ° c (Kg/cm ²) $P. u.$ (Tn/m ²)				
$Q = 25.57$ tn/m					GRIS 25.10 0.000 1.685				
$S = 0.77$ cm									

ANÁLISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES									
"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"									
CALICATA Nº 2 - ESTRATO 1 / ESPESOR . 5.00									
								FECHA :	DIC. 2018
CAPACIDAD DE CARGA					ASENTAMIENTO INICIAL				
(Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975)					Teoría Elástica				
$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma S_\gamma$					$S = C_s q B \left(\frac{1-v^2}{E_s} \right)$				
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA					FACTORES DE FORMA (Vesic)				
$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$					$S_c = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$				
$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$					$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$				
$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$					$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad \geq 0.6$				
Peso unitario suelo encima NNF $\gamma = 1.692$ ton/m ³					Relación de Poisson $\nu = 0.25$				
Peso unitario suelo debajo NNF $\gamma' = 1.692$ ton/m ³					Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 350.00$ kg/cm ²				
Profundidad de cimentación (ZAPATA) 1.50 m					Factor de forma y rigidez cimentación corrida $C_s = 254.00$ cm/m				
Factor de seguridad 4.00					Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada $C_s = 112.00$ cm/m				
Prof. cimiento corrido (ingresar dato, si hay) 0.90					Factor de forma y rigidez cimentación rectangular $C_s = 153.00$ cm/m				
Sobrecarga en la base de la cimentación $q = \gamma D = 2.54$ ton/m ²									
Sobrecarga en la base del cimiento corrido $q = \gamma D = 1.52$ ton/m ²									
Considerando Falla Local por Corte									
Angulo de fricción ϕ	cohesión c (kg/cm ²)	N_c	N_q	N_γ (Vesic)	N_q/N_c	$\tan \phi$			
24.40	0.005	19.867	10.012	9.991	0.504	0.454			
B=	Ancho de la cimentación								
L=	Longitud de cimentación								
CIMENTACION CORRIDA									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
0.40		1.00	1.00	1.00	1.96	0.49	0.13		
0.50		1.00	1.00	1.00	2.05	0.51	0.17		
0.60		1.00	1.00	1.00	2.13	0.53	0.22		
0.80		1.00	1.00	1.00	2.30	0.58	0.31		
1.00		1.00	1.00	1.00	2.47	0.62	0.42		
CIMENTACION CUADRADA									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
1.00	1.00	1.50	1.45	0.60	4.35	1.09	0.33		
1.50	1.50	1.50	1.45	0.60	4.60	1.15	0.52		
2.00	2.00	1.50	1.45	0.60	4.86	1.21	0.73		
2.50	2.50	1.50	1.45	0.60	5.11	1.28	0.96		
3.00	3.00	1.50	1.45	0.60	5.36	1.34	1.21		
CIMENTACION RECTANGULAR									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
1.00	2.00	1.25	1.23	0.80	3.92	0.98	0.40		
1.50	3.00	1.25	1.23	0.80	4.26	1.06	0.65		
2.00	4.00	1.25	1.23	0.80	4.59	1.15	0.94		
2.50	5.00	1.25	1.23	0.80	4.93	1.23	1.26		
Se puede considerar como valor único de diseño:					CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO				
$Q_{admisible} = 1.21$ kg/cm ²					SUCS : SP (ARENA LIMPIA MAL GRADUADA)				
$Q_{admisible} = 12.14$ tn/m ²					AASHTO : A - 3 (0)				
CARGA ADMISIBLE BRUTA					COLOR ϕ° c (Kg/cm ²) P. u. (Tn/m ²)				
$Q = 24.29$ tn/m					GRIS 24.40 0.005 1.692				
$S = 0.73$ cm									

ANÁLISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"

CALICATA N° 3 - ESTRATO 1 / ESPESOR. 5.00

								FECHA :	DIC. 2018
CAPACIDAD DE CARGA					ASENTAMIENTO INICIAL				
(Terzaghi 1943 y modificado por Vesic 1975)					Teoría Elástica				
$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma S_\gamma$					$S = C_s q B \left(\frac{1-v^2}{E_s} \right)$				
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA					FACTORES DE FORMA (Vesic)				
$N_c = \cot \phi (N_q - 1)$					$S_c = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$				
$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{1}{4} \pi + \frac{1}{2} \phi \right)$					$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$				
$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi$					$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \quad >= 0.6$				
Peso unitario suelo encima NNF $\gamma = 1.688$ ton/m ³					Relación de Poisson $\nu = 0.25$				
Peso unitario suelo debajo NNF $\gamma' = 1.688$ ton/m ³					Módulo de elasticidad del suelo $E_s = 350.00$ kg/cm ²				
Profundidad de cimentación (ZAPATA) 1.50 m					Factor de forma y rigidez cimentación corrida $C_s = 254.00$ cm/m				
Factor de seguridad 4.00					Factor de forma y rigidez cimentación cuadrada $C_s = 112.00$ cm/m				
Prof. cimiento corrido (ingresar dato, si hay) 0.90					Factor de forma y rigidez cimentación rectangular $C_s = 153.00$ cm/m				
Sobrecarga en la base de la cimentación $q = \gamma D = 2.53$ ton/m ²									
Sobrecarga en la base del cimiento corrido $q = \gamma D = 1.52$ ton/m ²									
Considerando Falla Local por Corte									
Angulo de fricción ϕ	cohesión c (kg/cm ²)	N_c	N_q	N_γ (Vesic)	N_q/N_c	$\tan \phi$			
24.80	0.005	20.431	10.440	10.572	0.511	0.462			
B=	Ancho de la cimentación								
L=	Longitud de cimentación								
CIMENTACION CORRIDA									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
0.40		1.00	1.00	1.00	2.05	0.51	0.14		
0.50		1.00	1.00	1.00	2.13	0.53	0.18		
0.60		1.00	1.00	1.00	2.22	0.56	0.23		
0.80		1.00	1.00	1.00	2.40	0.60	0.33		
1.00		1.00	1.00	1.00	2.58	0.65	0.44		
CIMENTACION CUADRADA									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
1.00	1.00	1.51	1.46	0.60	4.55	1.14	0.34		
1.50	1.50	1.51	1.46	0.60	4.82	1.21	0.54		
2.00	2.00	1.51	1.46	0.60	5.09	1.27	0.76		
2.50	2.50	1.51	1.46	0.60	5.36	1.34	1.00		
3.00	3.00	1.51	1.46	0.60	5.63	1.41	1.27		
CIMENTACION RECTANGULAR									
B (m)	L (m)	S_c	S_q	S_γ	q_u (kg/cm ²)	q_{ad} (kg/cm ²)	S (cm)		
1.00	2.00	1.26	1.23	0.80	4.10	1.02	0.42		
1.50	3.00	1.26	1.23	0.80	4.45	1.11	0.68		
2.00	4.00	1.26	1.23	0.80	4.81	1.20	0.99		
2.50	5.00	1.26	1.23	0.80	5.17	1.29	1.32		
Se puede considerar como valor único de diseño:					CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO				
$q_{admissible} = 1.27$ kg/cm ²					SUCS : SP (ARENA LIMPIA MAL GRADUADA)				
$q_{admissible} = 12.73$ tn/m ²					AASHTO : A - 3 (0)				
CARGA ADMISIBLE BRUTA					COLOR				
$Q = 25.45$ tn/m					ϕ°				
$S = 0.76$ cm					c (Kg/cm ²)				
					P. u. (Tn/m ²)				
					GRIS				
					24.80				
					0.005				
					1.688				

ENSAYO DE PENETRACION

Tipo de Penetración

S. P. T.

D. P. L.

Otro

Golpes cada
30cm

Ensayo

Incremento (m)

- 1
- 1 Ensayo de Penetración Estándar
- 2 Ensayo de Penetración Dinámica
- 3 Ensayo de Penetración Cono Peck

Prof. (m)	Golp. (N)	Prof. (m)	Golp. (N)	Prof. (m)	Golp. (N)
1.45	10				
2.45	13				
3.45	12				
4.45	14				
5.45	15				

REGISTRO ESTRATIGRAFICO Y SPT-02

Solicitante : *Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES*
 Proyecto : *"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"*
 Ubicación : *Victor Larco Herrera - Trujillo - La Libertad*
 Fecha : *Diciembre, 2018*
 Realizado : *RCSA* Profundidad : *5.00 m*
 Cota : Filtraciones : *No presenta* **CALICATA : SPT-02**

Profundidad (m)	Espesor (m)	Muestra	Clasificación SUCS	Símbolo	Humedad (%)	Peso Volum. (g/cm ³)	Descripción del Material	Ensayo de Penetración Estándar Golpes / 30cm		N Promedio Estrato	Grado de Compacidad	Rp (kg/cm ²)	σ_{adm} . (kg/cm ²)
								0	50				
6.45	6.45	M-1	SP				<i>Arena limpia mal graduada, de color gris, humedo, no plastico, con presencia de gravillas aisladas, de compacidad media.</i>	10	12	12	0.42	49.6	1.24
6.45	2.55							13	13				
9.00								14					

ENSAYO DE PENETRACION

Tipo de Penetración

S. P. T.

D. P. L.

Otro

Golpes cada
30cm

Ensayo

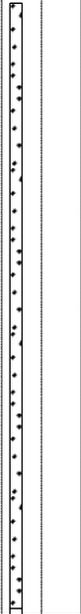
Incremento (m)

- 1
- 1 Ensayo de Penetración Estándar
- 2 Ensayo de Penetración Dinámica
- 3 Ensayo de Penetración Cono Peck

Prof. (m)	Golp. (N)	Prof. (m)	Golp. (N)	Prof. (m)	Golp. (N)
1.45	10				
2.45	12				
3.45	13				
4.45	13				
5.45	14				

REGISTRO ESTRATIGRAFICO Y SPT-03

Solicitante : *Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES*
 Proyecto : *"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"*
 Ubicación : *Victor Larco Herrera - Trujillo - La Libertad*
 Fecha : *Diciembre, 2018*
 Realizado : *RCSA* Profundidad : *5.00 m*
 Cota : Filtraciones : *No presenta* **CALICATA : SPT-03**

Profundidad (m)	Espesor (m)	Muestra	Clasificación SUCS	Símbolo	Humedad (%)	Peso Volum. (g/cm ³)	Descripción del Material	Ensayo de Penetración Estándar		N Promedio Esfrato	Grado de Compacidad	Rp (kg/cm ²)	σ _{adm.} (kg/cm ²)
								Golpes / 30cm					
6.45	6.45	M-1	SP				Arena limpia mal graduada, de color gris, humedo, no plastico, con presencia de gravillas aisladas, de compacidad media.	10	11	13	0.43	51.2	1.28
6.45								14	14				
	2.55							15					
9.00													

ENSAYO DE PENETRACION

Tipo de Penetración

S. P. T.

D. P. L.

Otro

Golpes cada
30cm

Ensayo

Incremento (m)

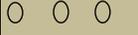
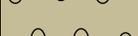
- 1
- 1 Ensayo de Penetración Estándar
- 2 Ensayo de Penetración Dinámica
- 3 Ensayo de Penetración Cono Peck

Prof. (m)	Golp. (N)	Prof. (m)	Golp. (N)	Prof. (m)	Golp. (N)
1.45	10				
2.45	11				
3.45	14				
4.45	14				
5.45	15				

3.5. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS:

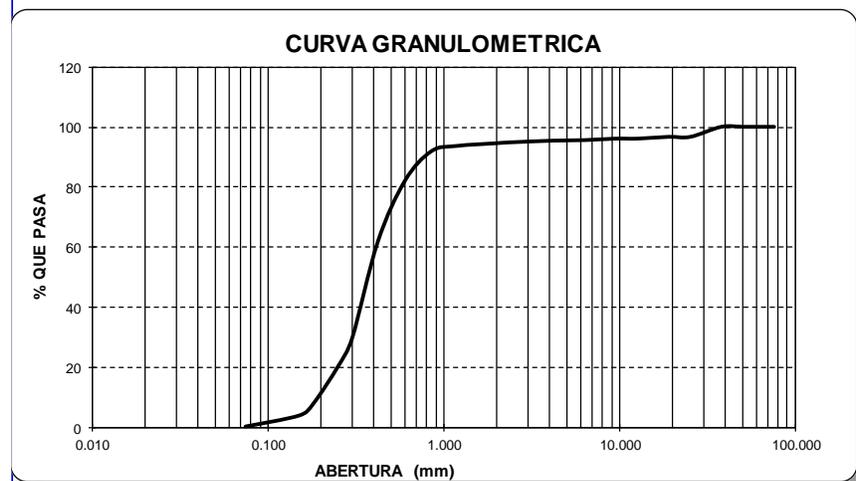
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES						
PERFIL:	"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"					
SOLICITANTE:	Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES					
RESPONSABLE:	ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE					
CALICATA:	Nº 1	MUESTRA:			ESTRATO E-1	
UBICACIÓN:	DEP.	LA LIBERTAD	PROV.	TRUJILLO		
FECHA:	DICIEMBRE	2018	DIST.	VÍCTOR LARCO HERRERA		
PERFIL ESTRATIGRÁFICO						
Prof. Mts	Tipo de Excavación	Muestra	Descripción del Material	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Símbolo
0.25	CALICATA Nº 1	E-1	Arena limpia mal graduada, material que pasa el 0.35% en la malla Nº 200. De color gris.	SP	A-3 (0)	○ ○ ○
0.50						○ ○ ○
0.75						○ ○ ○
1.00						○ ○ ○
1.25						○ ○ ○
1.50						○ ○ ○
1.75						○ ○ ○
2.00						○ ○ ○
2.25						○ ○ ○
2.50						○ ○ ○
2.75						○ ○ ○
3.00						○ ○ ○
3.25						○ ○ ○
3.50						○ ○ ○
3.75						○ ○ ○
4.00						○ ○ ○
4.25						○ ○ ○
4.50	○ ○ ○					
4.75	○ ○ ○					
5.00	○ ○ ○					

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES						
PERFIL:	"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"					
SOLICITANTE:	Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES					
RESPONSABLE:	ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE					
CALICATA:	Nº 2	MUESTRA:			ESTRATO E-1	
UBICACIÓN:	<i>DEP.</i>	LALIBERTAD	<i>PROV.</i>	TRUJILLO		
FECHA:	DICIEMBRE	2018	<i>DIST.</i>	VICTOR LARCO HERRERA		
PERFIL ESTRATIGRAFICO						
Prof. Mts	Tipo de Excavación	Muestra	Descripción del Material	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Símbolo
0.25	CALICATA Nº 2	E-1	Arena limpia mal graduada, material que pasa el 0.30% en la malla Nº 200. De color gris.	SP	A-3 (0)	
0.50						
0.75						
1.00						
1.25						
1.50						
1.75						
2.00						
2.25						
2.50						
2.75						
3.00						
3.25						
3.50						
3.75						
4.00						
4.25						
4.50						
4.75						
5.00						

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES						
PERFIL:	"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"					
SOLICITANTE:	Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES					
RESPONSABLE:	ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE					
CALICATA:	Nº 3	MUESTRA:			ESTRATO E-1	
UBICACIÓN:	<i>DEP.</i>	LALIBERTAD	<i>PROV.</i>	TRUJILLO		
FECHA:	DICIEMBRE	2018	<i>DIST.</i>	VICTOR LARCO HERRERA		
PERFIL ESTRATIGRAFICO						
Prof. Mts	Tipo de Excavación	Muestra	Descripción del Material	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Símbolo
0.25	CALICATA Nº 3	E-1	Arena limpia mal graduada, material que pasa el 0.25% en la malla Nº 200. De color gris.	SP	A-3 (0)	
0.50						
0.75						
1.00						
1.25						
1.50						
1.75						
2.00						
2.25						
2.50						
2.75						
3.00						
3.25						
3.50						
3.75						
4.00						
4.25						
4.50						
4.75						
5.00						

ENSAYOS DE LABORATORIO:

ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO ASTM D-422						
PROYECTO:		"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"				
SOLICITANTE:		Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES				
RESPONSABLE:		ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG. CIP N° 101231)				
CALICATA:	C-01	MUESTRA:		E-1	ESTRATO:	5.00
UBICACIÓN:	DEP.	LA LIBERTAD	PROV.	TRUJILLO		
FECHA:	DICIEMBRE	2018	DIST.	VÍCTOR LARCO		
DATOS DEL ENSAYO						
PESO SECO INICIAL (gr.)		1207.31				
PESO SECO LAVADO (gr.)		1203.10				
PESO PERDIDO POR LAVADO (gr.)		4.21				
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	LÍMITES E INDICES DE CONSISTENCIA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	L. Líquido : 0.00
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	L. Plástico : 0.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	Ind. Plástico : 0.00
1"	25.400	40.27	3.34	3.34	96.66	Clas. SUCS : SP
3/4"	19.050	0.00	0.00	3.34	96.66	Clas. AASHTO : A-3 (0)
1/2"	12.700	7.18	0.59	3.93	96.07	
3/8"	9.525	0.00	0.00	3.93	96.07	
1/4"	6.350	5.94	0.49	4.42	95.58	
N° 4	4.178	2.17	0.18	4.60	95.40	
8	2.360	7.03	0.58	5.18	94.82	P. Unitario : 1.496
10	2.000	3.26	0.27	5.45	94.55	
16	1.180	11.04	0.91	6.37	93.63	
20	0.850	20.71	1.72	8.08	91.92	
30	0.600	118.53	9.82	17.90	82.10	
40	0.420	244.90	20.28	38.19	61.81	W(%) : 12.65
50	0.300	387.15	32.07	70.25	29.75	
60	0.250	112.04	9.28	79.53	20.47	
80	0.180	151.62	12.56	92.09	7.91	
100	0.150	46.87	3.88	95.97	4.03	
200	0.074	44.39	3.68	99.65	0.35	
< 200		4.21	0.35	100.00	0.00	
Total		1207.31				

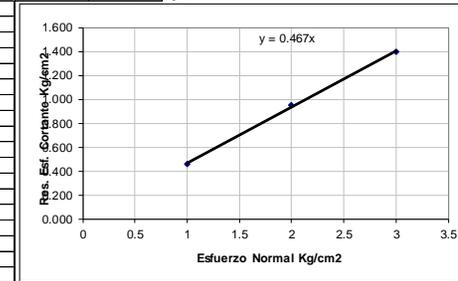


"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"					
PROYECTO:					
SOLICITANTE: Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES					
RESPONSABLE: ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG. CIP N° 101231)					
CALICATA: C-01		MUESTRA:		E-1	ESTRATO: 5.00
UBICACIÓN: <i>DEP.</i> LA LIBERTAD		<i>PROV.</i>		TRUJILLO	
FECHA: DICIEMBRE		2018	<i>DIST.</i>	VICTOR LARCO	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ASTMD - 2216					
DESCRIPCIÓN					
PESO DE TARRO		(gr.)	0.00		0.00
PESO DE TARRO + SUELO HUMEDO		(gr.)	150.16		163.28
PESO DE TARRO + SUELO SECO		(gr.)	133.32		144.91
PESO DE SUELO SECO		(gr.)	133.32		144.91
PESO DE AGUA		(gr.)	16.84		18.37
% DE HUMEDAD			12.63		12.68
% DE HUMEDAD PROMEDIO					12.65
PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO					
ASTMD-1587					
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO		(cm3)	500.00		
PESO DE LA MUESTRA		(gr.)	842.65		
PESO DEL PICNÓMETRO		(gr.)	170.20		
PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA		(gr.)	1012.85		
PESO UNITARIO (humedo)		(gr/cm3)	1.685		
PESO UNITARIO (seco)		(gr/cm3)	1.496		

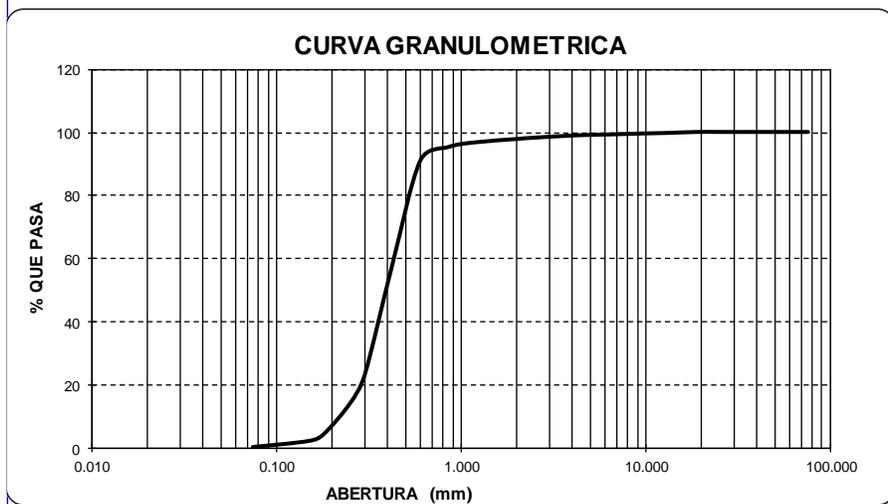
ENSAYO DE CORTE DIRECTO			
OBRA:	"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO 2018"		
UBICACIÓN:	VÍCTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO - LA LIBERTAD	SOLICITANTE:	Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES
CALICATA:	Q01 - E-1 MUESTRA N° 01	RESPONSABLE:	ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG. QIP N° 101231)

CAJA DE CORTE N°	0.004	LONG	6	cm	$\phi = 25.1^\circ$ $c = 0.000$
ANCHO	6	ALTURA	4	cm	
AREA	36	VOLUMEN	144	cm ³	
Gs	1.685	%W	12.65	%	
VELOCIDAD	1	FACTOR DE CALIBRACION	4.559		
Wm	242.6				

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida Ac=6*Lc (cm ²)	1			2			3			σ	τ
				L.D (un)	F.C. Kg.	τ (Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C. Kg.	τ (Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C. Kg.	τ (Kg/cm ²)		
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
1.00	0.100	5.900	35.400	0.600	2.735	0.077	1.200	5.471	0.155	1.600	7.294	0.206	0.000	
1.50	0.150	5.850	35.100	1.000	4.559	0.130	2.000	9.118	0.260	3.200	14.589	0.416	0.000	
2.00	0.200	5.800	34.800	1.600	7.294	0.210	3.200	14.589	0.419	5.000	22.795	0.655	0.000	
2.50	0.250	5.750	34.500	1.800	8.206	0.238	4.300	19.604	0.568	6.800	31.001	0.899	0.000	
3.00	0.300	5.700	34.200	2.200	10.030	0.293	5.100	23.251	0.680	7.900	36.016	1.053	0.000	
3.50	0.350	5.650	33.900	2.500	11.398	0.336	5.500	25.075	0.740	8.800	40.119	1.183	0.000	
4.00	0.400	5.600	33.600	2.700	12.309	0.366	5.800	26.442	0.787	9.100	41.487	1.235	0.000	
4.50	0.450	5.550	33.300	2.800	12.765	0.383	6.100	27.810	0.835	9.400	42.855	1.287	0.000	
5.00	0.500	5.500	33.000	3.000	13.677	0.414	6.400	29.178	0.884	9.800	44.678	1.354	0.000	
5.50	0.550	5.450	32.700	3.300	15.045	0.460	6.800	31.001	0.948	10.000	45.590	1.394	0.000	
6.00	0.600	5.400	32.400	3.100	14.133	0.436	6.600	30.089	0.929	9.700	44.222	1.365	0.000	
6.50	0.650	5.350	32.100											
7.00	0.700	5.300	31.800											
7.50	0.750	5.250	31.500											
8.00	0.800	5.200	31.200											
8.50	0.850	5.150	30.900											
9.00	0.900	5.100	30.600											



ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO ASTM D-422						
PROYECTO:		"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"				
SOLICITANTE:		Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES				
RESPONSABLE:		ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG. CIP N° 101231)				
CALICATA:		C-02	MUESTRA:		E-1	ESTRATO: 5.00
UBICACIÓN:		DEP. LA LIBERTAD	PROV. TRUJILLO			
FECHA:		DICIEMBRE 2018	DIST. VÍCTOR LARCO			
DATOS DEL ENSAYO						
PESO SECO INICIAL (gr.)		1283.69				
PESO SECO LAVADO (gr.)		1279.78				
PESO PERDIDO POR LAVADO (gr.)		3.91				
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	LÍMITES E INDICES DE CONSISTENCIA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	L. Líquido : 0.00
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	L. Plástico : 0.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	Ind. Plástico : 0.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	Clas. SUCS : SP
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	Clas. AASHTO : A-3 (0)
1/2"	12.700	4.18	0.33	0.33	99.67	
3/8"	9.525	2.07	0.16	0.49	99.51	
1/4"	6.350	3.94	0.31	0.79	99.21	
N° 4	4.178	3.61	0.28	1.08	98.92	
8	2.360	10.53	0.82	1.90	98.10	P. Unitario : 1.463
10	2.000	4.19	0.33	2.22	97.78	
16	1.180	13.86	1.08	3.30	96.70	
20	0.850	19.02	1.48	4.78	95.22	
30	0.600	54.73	4.26	9.05	90.95	
40	0.420	431.90	33.65	42.69	57.31	
50	0.300	436.57	34.01	76.70	23.30	
60	0.250	116.39	9.07	85.77	14.23	
80	0.180	125.42	9.77	95.54	4.46	
100	0.150	28.35	2.21	97.75	2.25	
200	0.074	25.02	1.95	99.70	0.30	
< 200		3.91	0.30	100.00	0.00	
Total		1283.69				



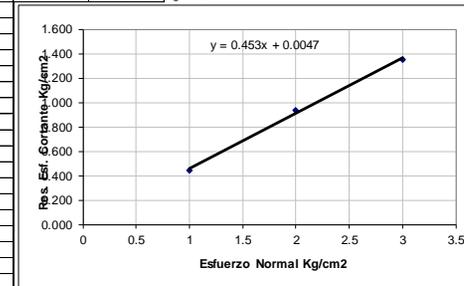
"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"					
PROYECTO:					
Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES					
SOLICITANTE:					
ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG. CIP N° 101231)					
CALICATA:		C-02	MUESTRA:		E-1
			ESTRATO:		5.00
UBICACIÓN:		DEP.	LA LIBERTAD	PROV.	TRUJILLO
FECHA:		DICIEMBRE	2018	DIST.	VICTOR LARCO
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ASTMD - 2216					
DESCRIPCIÓN					
PESO DE TARRO	(gr.)	0.00			0.00
PESO DE TARRO + SUELO HUMEDO	(gr.)	208.13			216.91
PESO DE TARRO + SUELO SECO	(gr.)	180.01			187.49
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	180.01			187.49
PESO DE AGUA	(gr.)	28.12			29.42
% DE HUMEDAD		15.62			15.69
% DE HUMEDAD PROMEDIO		15.66			
PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO					
ASTM-D-1587					
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO	(cm3)	500.00			
PESO DE LA MUESTRA	(gr.)	846.01			
PESO DEL PICNÓMETRO	(gr.)	170.20			
PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA	(gr.)	1016.21			
PESO UNITARIO (humedo)	(gr/cm3)	1.692			
PESO UNITARIO (seco)	(gr/cm3)	1.463			

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN
DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE
VÍCTOR LARCO HERRERA – TRUJILLO 2018

ENSAYO DE CORTE DIRECTO			
OBRA:	"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"		
UBICACIÓN:	VÍCTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO - LA LIBERTAD		SOLICITANTE: Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES
CALICATA:	C02 - E-1	MUESTRA N° 01	RESPONSABLE: ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG.CIP N° 101231)

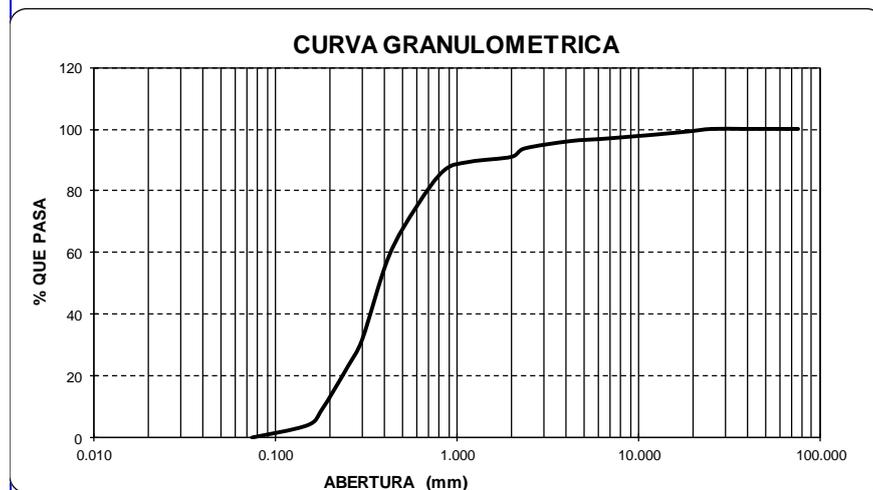
CAJA DE CORTE N°	0.004	LONG	6	cm	φ = 24.4° c = 0.005
ANCHO	6	ALTURA	4	cm	
AREA	36	VOLUMEN	144	cm ³	
Gs	1.692	%W	15,66	%	
VELOCIDAD	1	FACTOR DE CALIBRACION	4,559		
Wm	243,6				

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida AC=6*Lc (cm ²)	σ1			σ2			σ3			σ	τ	
				L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C. Kg	τ (Kg/cm ²)			
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	0.446	kg/cm ²
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2	0.934	kg/cm ²
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3	1.352	kg/cm ²
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
1.00	0.100	5.900	35.400	0.500	2.280	0.064	1.200	5.471	0.155	1.600	7.294	0.206			
1.50	0.150	5.850	35.100	1.000	4.559	0.130	1.900	8.662	0.247	3.100	14.133	0.403			
2.00	0.200	5.800	34.800	1.500	6.839	0.197	3.100	14.133	0.406	4.900	22.339	0.642			
2.50	0.250	5.750	34.500	1.800	8.206	0.238	4.300	19.604	0.568	6.600	30.089	0.872			
3.00	0.300	5.700	34.200	2.100	9.574	0.280	5.000	22.795	0.667	7.700	35.104	1.026			
3.50	0.350	5.650	33.900	2.400	10.942	0.323	5.400	24.619	0.726	8.500	38.752	1.143			
4.00	0.400	5.600	33.600	2.600	11.853	0.353	5.700	25.986	0.773	8.900	40.575	1.208			
4.50	0.450	5.550	33.300	2.800	12.765	0.383	6.000	27.354	0.821	9.100	41.487	1.246			
5.00	0.500	5.500	33.000	2.900	13.221	0.401	6.300	28.722	0.870	9.500	43.311	1.312			
5.50	0.550	5.450	32.700	3.200	14.589	0.446	6.700	30.545	0.934	9.700	44.222	1.352			
6.00	0.600	5.400	32.400	3.000	13.677	0.422	6.500	29.634	0.915	9.400	42.855	1.323			
6.50	0.650	5.350	32.100												
7.00	0.700	5.300	31.800												
7.50	0.750	5.250	31.500												
8.00	0.800	5.200	31.200												
8.50	0.850	5.150	30.900												
9.00	0.900	5.100	30.600												





ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO ASTM D-422						
PROYECTO:		"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"				
SOLICITANTE:		Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES				
RESPONSABLE:		ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG. CIP N° 101231)				
CALICATA:		C-03	MUESTRA:		E-1	ESTRATO: 5.00
UBICACIÓN:		DEP. LA LIBERTAD	PROV. TRUJILLO			
FECHA:		DICIEMBRE 2018	DIST. VÍCTOR LARCO			
DATOS DEL ENSAYO						
PESO SECO INICIAL (gr.)		1580.31				
PESO SECO LAVADO (gr.)		1576.30				
PESO PERDIDO POR LAVADO (gr.)		4.01				
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	LÍMITES E INDICES DE CONSISTENCIA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	L. Líquido : 0.00
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	L. Plástico : 0.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	Ind. Plástico : 0.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	Clas. SUCS : SP
3/4"	19.050	12.51	0.79	0.79	99.21	Clas. AASHTO : A-3 (0)
1/2"	12.700	15.62	0.99	1.78	98.22	
3/8"	9.525	9.57	0.61	2.39	97.61	
1/4"	6.350	13.05	0.83	3.21	96.79	PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO
N° 4	4.178	11.86	0.75	3.96	96.04	
8	2.360	37.01	2.34	6.30	93.70	P. Unitario : 1.484
10	2.000	42.90	2.71	9.02	90.98	
16	1.180	25.16	1.59	10.61	89.39	CONTENIDO DE HUMEDAD
20	0.850	43.41	2.75	13.36	86.64	
30	0.600	184.05	11.65	25.00	75.00	
40	0.420	257.16	16.27	41.28	58.72	W(%) : 13.75
50	0.300	422.51	26.74	68.01	31.99	
60	0.250	138.10	8.74	76.75	23.25	OBSERVACIONES
80	0.180	219.58	13.89	90.65	9.35	
100	0.150	80.64	5.10	95.75	4.25	
200	0.074	63.17	4.00	99.75	0.25	Arena limpia mal graduada; 0.25% de finos que pasa la malla N°200, 3.96% de gravas y 95.78% de arenas, material de color gris.
< 200		4.01	0.25	100.00	0.00	
Total		1580.31				





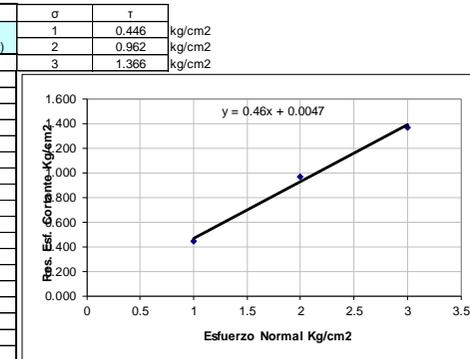
DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018			
PROYECTO:			
SOLICITANTE: Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES			
RESPONSABLE: ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG. CIP N° 101231)			
CALICATA: C-03		MUESTRA: E-1 ESTRATO: 5.00	
UBICACIÓN: DEP. LA LIBERTAD		PROV. TRUJILLO	
FECHA: DICIEMBRE 2018		DIST. VÍCTOR LARCO	
SECTOR VISTA ALEGRE			
CONTENIDO DE HUMEDAD ASTMD - 2216			
DESCRIPCIÓN			
PESO DE TARRO	(gr.)	0.00	0.00
PESO DE TARRO + SUELO HUMEDO	(gr.)	181.65	203.34
PESO DE TARRO + SUELO SECO	(gr.)	159.67	178.80
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	159.67	178.80
PESO DE AGUA	(gr.)	21.98	24.54
% DE HUMEDAD		13.77	13.72
% DE HUMEDAD PROMEDIO		13.75	
PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO ASTM-D-1587			
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO	(cm3)	500.00	
PESO DE LA MUESTRA	(gr.)	843.85	
PESO DEL PICNÓMETRO	(gr.)	170.20	
PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA	(gr.)	1014.05	
PESO UNITARIO (humedo)	(gr/cm3)	1.688	
PESO UNITARIO (seco)	(gr/cm3)	1.484	

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA – TRUJILLO 2018

ENSAYO DE CORTE DIRECTO			
OBRA:	"DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018"		
UBICACIÓN:	VÍCTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO - LA LIBERTAD		
SOLICITANTE:	Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES		
CALICATA:	C03 - E-1	MUESTRA N°	01
RESPONSABLE:	ING. ROBERTO C. SALAZAR ALCALDE (REG. CIP N° 101231)		

CAJA DE CORTE N°	0.004	LONG	6	cm	$\phi = 24.8^\circ$ $c = 0.005$
ANCHO	6	ALTURA	4	cm	
AREA	36	VOLUMEN	144	cm ³	
Gs	1.688	%W	13.75	%	
VELOCIDAD	1	FACTOR DE CALIBRACION	4.559		
Wm	243.1				

T min	D.H cm	Lc	Area Corregida AC=6*Lc (cm ²)	σ1			σ2			σ3			σ	τ	
				L.D (un)	F.C. Kg.	τ (Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C. Kg.	τ (Kg/cm ²)	L.D (un)	F.C. Kg.	τ (Kg/cm ²)			
0.00	0.000	6.000	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.25	0.025	5.975	35.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.50	0.050	5.950	35.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.75	0.075	5.925	35.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
1.00	0.100	5.900	35.400	0.500	2.280	0.064	1.200	5.471	0.155	1.600	7.294	0.206			
1.50	0.150	5.850	35.100	1.000	4.559	0.130	2.000	9.118	0.260	3.200	14.589	0.416			
2.00	0.200	5.800	34.800	1.500	6.839	0.197	3.200	14.589	0.419	4.900	22.339	0.642			
2.50	0.250	5.750	34.500	1.800	8.206	0.238	4.400	20.060	0.581	6.600	30.089	0.872			
3.00	0.300	5.700	34.200	2.100	9.574	0.280	5.200	23.707	0.693	7.700	35.104	1.026			
3.50	0.350	5.650	33.900	2.400	10.942	0.323	5.600	25.530	0.753	8.600	39.207	1.157			
4.00	0.400	5.600	33.600	2.600	11.853	0.353	5.900	26.898	0.801	9.000	41.031	1.221			
4.50	0.450	5.550	33.300	2.800	12.765	0.383	6.200	28.266	0.849	9.200	41.943	1.260			
5.00	0.500	5.500	33.000	2.900	13.221	0.401	6.500	29.634	0.898	9.600	43.766	1.326			
5.50	0.550	5.450	32.700	3.200	14.589	0.446	6.900	31.457	0.962	9.800	44.678	1.366			
6.00	0.600	5.400	32.400	3.000	13.677	0.422	6.700	30.545	0.943	9.500	43.311	1.337			
6.50	0.650	5.350	32.100												
7.00	0.700	5.300	31.800												
7.50	0.750	5.250	31.500												
8.00	0.800	5.200	31.200												
8.50	0.850	5.150	30.900												
9.00	0.900	5.100	30.600												



IV. DISCUSIÓN.

El primer paso realizado fue la excavación del terreno consistente en tres calicatas. Para la caracterización, el muestreo consistió en realizar tres calicatas en una hectárea de terreno habilitado, a una profundidad de 5 metros de profundidad. Del material extraído se extrajeron tres muestras alteradas que se colocaron en bolsas negras para posteriormente ser trasladadas al laboratorio de INGEOMA S.A.C., de manera que se obtuvieron en total 3 muestras o puntos donde se estudió la posible licuación. Con el fin de identificar las muestras extraídas, estas fueron etiquetadas con la fecha de cuando fueron extraídas y la ubicación de donde proviene el material.

Estas muestras en el laboratorio, se efectuaron todos los ensayos normados para los fines requeridos como la humedad, la granulometría, la clasificación SUCS, densidad, etc. Además se realizó el ensayo triaxial en cada muestra, consistió en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho o goma, que se introdujo en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzado ese estado de equilibrio, se aumentó la presión normal ó axial (σ_1), sin modificar la presión lateral aplicada (σ_3), hasta que se produjo la falla. Realizando por lo menos 3 pruebas, con presiones laterales diferentes, en un gráfico se dibujaron los círculos de Mohr que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a éstos, se determinó los parámetros de coeficiente de cohesión y el ángulo de reposo de la muestra.

Con todos los datos obtenidos se realizó el método de Seed e Idriss simplificado, el cual confrontó la posibilidad de licuación en la zona y la resistencia brindada por la muestra, donde mediante un gráfico donde se colocan los resultados obtenidos en los

procesos anteriores, se determinó los puntos donde licúa. Con estos datos se realizó un cartograma donde se graficó las zonas licuables y las que no.

4.1 Henriquez Pantaleón (2007), muestra en su investigación que los lugares con suelos arenosos y alta napa freática son más susceptibles a la licuación de suelos, lo cual es un panorama similar al obtenido en la presente investigación, ya que mientras más cerca se ha estado de la costa marina, mayor napa freática y por lo tanto se encontraron más lugares de posible licuación que en los puntos más céntricos. Además, Pantaleón plantea un método de inyección de compactación para mitigar el efecto de licuación, este método puede ser usado en el distrito del presente trabajo para las zonas donde solo licuan los 5 primeros metros de profundidad.

4.2 Brenes Quesada (2008), nos brinda una herramienta tecnológica para poder determinar la posible licuación de los suelos ingresando los diferentes parámetros de cada zona, en nuestro caso sería posible validar el método usado, Seed e Idriss, con este programa, de manera que se tiene otra perspectiva de las zonas licuables o las zonas que pueden ser mejoradas.

4.3 Rosado (2010), realizó un mapa de peligro por licuación de suelos inducido por sismos en algunas zonas de la República Mexicana, lo cual es el caso de la presente investigación con una locación diferente. Otra similaridad es el método usado y los ensayos realizados, sin embargo, la zona escogida por Rosado es mucho más grande y se necesitaría una mayor inversión y personal.

4.4 A. carrillo Gil (2008), determinó si el terreno que fue afectado durante el terremoto de Pisco sufrió de licuación. A diferencia de esta investigación, la presente tesis sugiere un proceso antes de los desastres, de manera que se pueda tomar las precauciones debidas en el tema de construcción y la determinación del uso de

pilotes u otros métodos de ayuda.

4.5 Antón Aliaga Vopilovsky (2015), evaluó el potencial de licuación para el recrecimiento de una presa de relaves construida aguas arriba, ubicada en el departamento de Ancash; lo cual es una versión más reducida y privatizada de la presente investigación. Ambas investigaciones usaron el mismo método y los mismos ensayos de laboratorio.

4.6 Lucas (2011), estudió las gravas en el Perú y su relación con fenómenos como la licuación, como lo concluyó y como se evidencia en la presente investigación, las gravas mal graduadas y con diámetros pequeños con un nivel de humedad alto y napa freática casi a flote, es un caso seguro de licuación donde se deben tomar medidas para la seguridad urbana.

V. CONCLUSIONES

- 5.1** Se determinaron las zonas de riesgo de licuación de suelos en el sector El Progreso distrito de Víctor Larco Herrera – Trujillo, logrando clasificar los suelos en tres tipos: los suelos que licuan en su totalidad, los suelos que solo licua 5 metros de profundidad, y los suelos que no licuan en absoluto. De esta manera se puede advertir y tomar las medidas adecuadas para cada caso durante un sismo.
- 5.2** En la muestra obtenida se realizó las determinaciones necesarias para poder proceder a su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Sistema AASHTO, a saber: Límite líquido, límite plástico, y porcentaje de partículas menores que las mallas número 40 y 200, mediante análisis granulométrico por lavado, así como también se determinó la humedad natural.
- 5.3** De acuerdo a las investigaciones de campo realizados y a los resultados de laboratorio, se tiene que la estratigrafía de la zona del proyecto, está conformado principalmente por: Arena limpia mal graduada (SP).
- 5.4** De acuerdo a las características de los suelos encontrados, se determinó la capacidad portante y asentamientos en las cimentaciones, lográndose establecer las cargas en los estratos (E-1).
- 5.5** De los valores obtenidos (Estratigrafía), se tiene que el terreno de fundación presenta una Capacidad Portante mínima: para cimiento corrido igual a 0.53 kg/cm², cimentación cuadrada 1.21 kg/cm² y cimentación rectangular 1.06 kg/cm². Asentamientos máximos: para cimiento corrido igual a 0.23cm, cimentación cuadrada 0.77cm y cimentación rectangular 0.69cm. Suelo predominante: Arena limpia mal graduada (SP).

5.6 El grado de compacidad promedio del suelo (Arena) es igual a 0.43 (compacidad media), así mismo el número de golpes N_{SPT} es igual a 13 (Solo en los casos donde N_{SPT} es menor de 10 para profundidades menores de 10m, se puede considerar un suelo susceptible de licuefacción) pero debido a la presencia de napa freática a la profundidad de 2.00m, indicaría que el terreno tiene moderada susceptibilidad a la licuefacción.

VI. RECOMENDACIONES.

- 6.1** Se recomienda a la municipalidad de Victor Larco Herrera que tome precauciones en las zonas donde existe licuación masiva, ya que toda la zona está llena de viviendas y multifamiliares que se verían afectados durante un sismo, donde podría haber pérdidas humanas como materiales. Además, en las zonas donde existe una licuación moderada, tomar las medidas del caso como el uso de pilotes u otro tipo de cimentación profunda, además de otras soluciones como la inyección de concreto u otros.
- 6.2** Se recomienda a los futuros tesisistas realizar investigaciones sobre cómo mejorar el suelo en las zonas de riesgo grave, o un método urbanístico que contemple esta problemática. Además, posibles soluciones en el alto nivel freático que es el causante de los diferentes fenómenos en esta zona.
- 6.3** Se recomienda a la población que al momento de construir una edificación se realice un estudio exhaustivo de los suelos donde se apoyará, ya que es la base de la construcción y la causante de muchos problemas futuros, como deslizamientos, licuación u otros problemas que son detectables y se pueden tomar medidas y prevenciones.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alarcón. (1989). *Física de la Tierra*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Ambraseys, N. y. (1969). *Liquefaction of soils induced by earthquakes*. Bulletin of the Seismological Society of America.
- Antón Aliaga Vopilovsky, L. D. (2015). *Análisis de licuación dinámica de una*. Lima: UPC.
- Brenes Quesada, F. (2008). *Evaluación del Potencial de Licuefacción en Suelos*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Bravo, C. Y. (02 de 12 de 2015). Geología. Obtenido de:
Semana 14: *Movimientos Sísmicos*:
<http://geologiabravo.blogspot.pe/2015/12/semana-14-movimientos-sismicos.html>
- Carrillo Gil, L. A. (2008). *Licuación de suelos durante el sismo Pisco-Perú-2007*. Lima: Sixth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- Finn, W., & Bransby, P. a. (1970). *Effect of Strain History on Liquefaction of Sands*. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE.
- Henriquez Pantaleón, C. I. (2007). *Mejora de terrenos potencialmente licuables con inyecciones de compactación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Hurtado, J. A. (1994). *Licuación de suelos en el Perú*. Lima: UNI.
- Hurtado, J. E. (1983). *Breve Historia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú*. Lima.
- Ishihara. (1996). *Soil behaviour in earthquake geotechnics*. New York: Oxford University.

- Kanamori, H. (1977). *The energy release in great earthquakes*: Journal of Geophysical Research, Japón.
- Kuribayashi, E., & Tatsuoka, F. (1975). *Brief review of liquefaction during earthquakes in Japan*. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Lucas, L. E. (2011). *Investigación de la matriz en las gravas del Perú*. Lima: UNI.
- Muñoz, D. (1989). *Conceptos básicos en riesgo sísmico*. Física de la tierra, No. 1. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Mussio Arias, V. (2012). *Potencial de Licuación mediante el método de microtemores en la colonia solidaria social Mexicali*. México.
- National Research Council. (1985). *Liquefaction of soils during earthquake*. Washington USA, 1985: Committee on Earthquake Engineering, commission on engineering and technical system.
- Rosado, D. (2010). *Metodología para la evaluación del peligro por licuación del suelo, inducido por sismo, usando un sistema de información geográfica*. Mexico.
- Seed H. e idriss, I. (1971). *Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential*. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE.
- Seed, H., Mori, K., & Chan, C. (1975). *Influence of seismic history on the liquefaction characteristics of sands*. Berkeley, California: University of California.
- S.S., T. M. (1997). *Northridge California earthquake of 1994*. California.
- Technical Comitte for Earthquake Geotechnical Engineering TC4. (1993). *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*. Japón: The Japanese Society of Mechanics and Foundation Engineering.
- Terzaghi. (1950). *Mecánica de Suelos*.
- T. L. Youd, M. A. (2001). *Resistencia de suelos contra la licuacion*. ASCE.

Youd, T. L. (1978). *Mapping Liquefaction-Induced Ground Failure Potential*. Journal of Geotechnical Engineering Division.

Youd, T. L. (1987). *Mapping of Liquefaction Severity Index*. Journal of Geotechnical Engineering.

ANEXOS.

Anexo 1: Panel fotográfico de las calicatas para el estudio de suelos en el sector el Progreso en el distrito de Víctor Larco.

PANEL FOTOGRAFICO



Calicata N° 01: Excavación y extracción de muestras de suelo para ser analizadas en laboratorio.



Calicata N° 02: Excavación y extracción de muestras de suelo para ser analizadas en laboratorio.



Calicata N° 03: Excavación y extracción de muestras de suelo para ser analizadas en laboratorio.

Anexo 2: Guía de observación de licuación de suelos del distrito de Víctor Larco.

Guía de Observación

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO Y RESULTADOS

Elaborado : Bach. Pepe Walter Heras Flores
Denominación : Guía de observación para la determinación de las zonas de riesgo de licuefacción de suelos durante un sismo en el distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo 2018
Ubicación : Sector EL PROGRESO

CALICATA	PROFUNDIDAD	NF	ESTRATO	RESULTADO
C-01	5.00	2.00	SP	LICÚA
C-02	5.00	2.00	SP	LICÚA
C-03	5.00	2.00	SP	LICÚA

UBICACION DE CALICATAS

ESC. 1/1000



BUENOS AIRES NORTE

#C-3

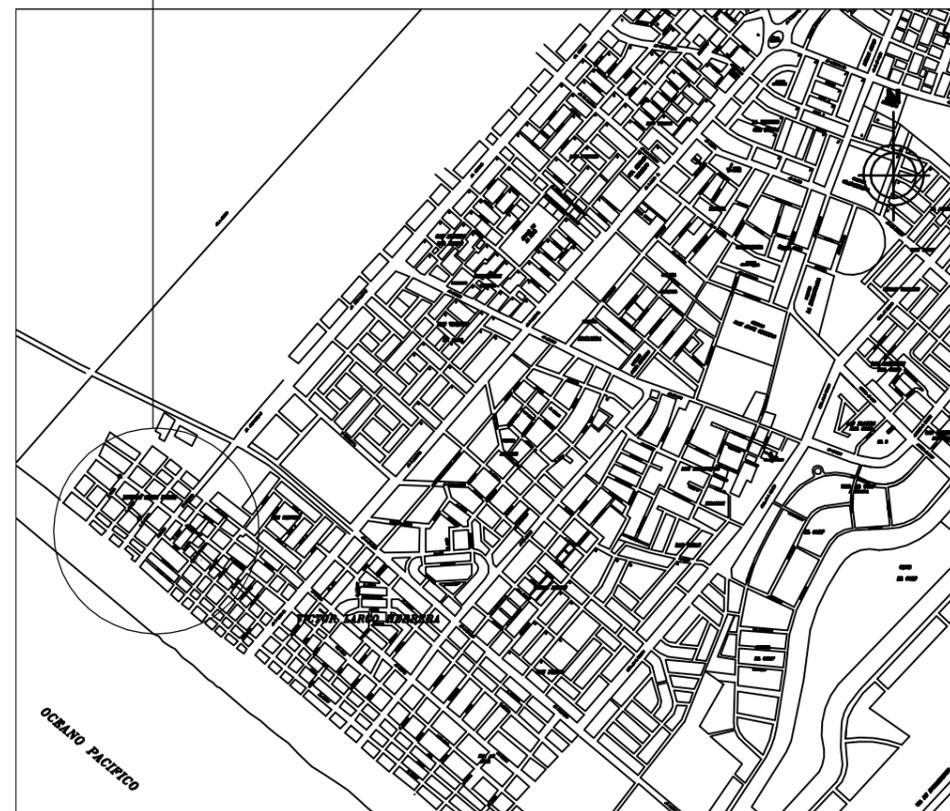
C-2

#C-1

LEYENDA	
INDICA CALICATA	 C1

LOCALIZACION DE CALICATAS

ESC:1/10000



LOCALIZACIÓN DE LAS CALICATAS EN BUENOS AIRES NORTE

DEPARTAMENTO : LA LIBERTAD
 PROVINCIA : TRUJILLO
 DISTRITO : VICTOR LARCO HERRERA
 SECTOR : BUENOS AIRES NORTE



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO

TESISTA:

Bach. PEPE WALTER HERAS FLORES

TESIS:

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS DURANTE UN SISMO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA, TRUJILLO 2018

PLANO:

LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN

PLANO N°:

U-01

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

ENERO DEL 2020