

EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION DE SUELOS POR MEDIO DEL
ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

ROSSY ELENA NIÑO GOMEZ
ANDREA PATRICIA TORRES MACKEN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2012

EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION DE SUELOS POR MEDIO DEL
ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

ROSSY ELENA NIÑO GOMEZ
ANDREA PATRICIA TORRES MACKEN

Trabajo de grado modalidad investigación para optar al título de Ingeniero Civil

Director:
WILFREDO DEL TORO RODRÍGUEZ
Ingeniero Civil. M.Sc.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2012

A Dios por ser mi fortaleza y la luz que guía mi camino.

A mis padres porque son el motor de mi vida, por enseñarme a tener paciencia, a luchar por mis sueños y metas, por brindarme el ejemplo de construir un sueño a pesar de los obstáculos y siempre seguir adelante con la ayuda de Dios, porque vale la pena perseverar y llegar a la meta con la satisfacción del deber cumplido.

Gracias a mis hermanos y sobrinos por su incondicional apoyo.

A mi segunda familia, mis amigos UIS, que siempre estuvieron en los momentos más difíciles, alentándome con sus palabras y en los momentos felices, donde, reímos, jugamos, estudiamos, trasnochamos; y gracias a tantas experiencias tuve la fortuna de encontrarme con tan maravillosas personas.

ROSSY ELENA NIÑO GOMEZ

Agradezco a Dios por cada día de vida que me ha regalado por la fuerza para sobrellevar las dificultades y permitirme culminar con éxito esta meta.

A mi familia por darme su incondicional apoyo y que han contribuido en mi desarrollo personal.

A mi Carlitos por la paciencia por darme alegrías, motivarme día a día con mi proyecto de vida profesional.

A mis amigos por acompañarme en este proceso y festejar las alegrías y tristezas producidas por mi carrera.

Andrea Patricia Torres Macken

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

A Dios por iluminar nuestros caminos para el desarrollo de este proyecto y finalizar con gran éxito un logro más de nuestras vidas.

Al profesor WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ por permitirnos realizar este proyecto bajo su dirección, por el apoyo y la confianza conferida en nosotras por ser nuestra guía en las ideas que nos permitieron terminar la tesis, por su valioso aporte en nuestro desarrollo personal y profesional.

A nuestros familiares por darnos la oportunidad de realizar una carrera universitaria, por todo el amor y el apoyo que necesitamos para culminar con éxito este gran paso.

A nuestros amigos por las palabras de aliento, por cada travesura y alegría que pasaron junto a nosotras por el cariño brindado y que ha sido importante para nuestro crecimiento personal.

A todos los compañeros que distinguimos a lo largo de este tiempo y de cierta manera contribuyeron en nuestras vidas.

A la Universidad Industrial de Santander por el personal competente que nos transfirió el conocimiento para ser de nosotras las profesionales del mañana con bases sólidas en la ética profesional.

CONTENIDO

INTRODUCCION	20
OBJETIVOS.....	23
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	23
1. FENOMENO POTENCIAL DE LICUEFACCION.	24
1.1 DESCRIPCION DE LICUEFACCION	24
1.2 LICUEFACCION Y FENOMENOS RELACIONADOS.	25
1.2.1 licuefacción de flujo.....	25
1.2.2 Movilidad cíclica.....	26
1.2.3 Volcanes de arena.	26
1.3 SUCEPTIBILIDAD A LA LICUEFACCION.	27
1.3.1. Criterios históricos.	28
1.3.2 Criterios geológicos.	28
1.3.3 Criterios basados en la composición.	29
1.3.4 Suelos no cohesivos.	29
1.3.5 Suelos con presencia de finos.	30
1.3.6 Criterios basados en el estado del suelo.	30
1.4 OTROS FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA LICUEFACCION.....	31
1.4.1 Distribución del tamaño de los granos	31
1.4.2 Profundidad de las aguas subterráneas.	32
1.4.3 Densidad.....	32
1.4.4 Esfuerzo de confinamiento.....	33

1.4.5 Amplitud y duración de la vibración del suelo.	33
1.4.6 Edad del terreno.	33
1.4.7 Origen del suelo.	34
2. MÉTODOS DE EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION	35
2.1 INTRODUCCION	35
2.2 ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).	35
2.2.1 Relaciones entre el número de golpes N del SPT, densidad relativa y ángulo de fricción interna (ϕ)	38
2.2.2 Factores de corrección por sobrecarga en arenas.....	43
2.2.3 Relaciones entre el número de golpes N y la consistencia de las arcillas	44
2.2.4 Algunas aplicaciones del ensayo de penetración estándar (S.P.T)	45
2.3 ENSAYO DE PENETRACION CONICA (CPT).....	46
2.3.1 Metodología propuesta por Youd y otros (1997).....	49
2.3.2 Normalizacion de la resistencia de punta:.....	50
2.3.3 Metodología propuesta por Lunne y otros (1997)	52
2.3.4 Propuesta de Juang (2003).....	54
2.4 ENSAYO DE VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE (V_s)	58
2.4.1 Análisis de licuación basado en el ensayo de ondas de corte (v_s)	60
3. METODO PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE LICUEFACCION	62
3.1 MEDIDAS PARA MITIGAR LA LICUEFACCION	65
3.2 APLICACIÓN DEL SPT PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE OCURRENCIA DE LICUACIÓN. CASO DE ESTUDIO: CAMPO CASABE EN EL MUNICIPIO DE YONDÓ, ANTIOQUIA	79
3.2.1 Geología del sector	81

4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	92
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFIA.....	99
ANEXOS.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Niigata, Japón 16 de junio 1964 04:01, Magnitud 7.5, colapso de edificaciones por licuefacción	20
Figura 2.	. El 27 de marzo de 1964, a las 5:36 pm un gran terremoto de magnitud 9,2 (magnitud de momento) se produjo en la región de Prince William Sound de Alaska	21
Figura 3.	. Descripción del proceso de licuefacción	25
Figura 4.	Rango general de la magnitud R	31
Figura 5.	Correlaciones N-DR (densidad relativa) y $N-\Phi$ (ángulo de fricción) (TERZAGHI PECK 1948)	39
Figura 6.	Efecto de la presión de sobrecarga para arena fina seca	40
Figura 7.	Efecto de la presión de sobrecarga para arena gruesa seca o húmeda	40
Figura 8.	Granulometría de las arenas ensayadas por GIBBS y HOLTZ (1954)	41
Figura 9.	Correlación N-DR (densidad relativa) $N - \sigma$ (ángulo de fricción) PECK – NAZARAA (1969)	42
Figura 10.	Correlaciones N- DR y $N \Phi$ (MEYERHOFF 1980)	42
Figura 11.	Correlación N-qu y consistencia para arcillas Terzaghi y Peck (1948)	45
Figura 12.	Pieza cónica del instrumento para realizar el ensayo de CPT	47
Figura 13.	Descripción del ensayo de CPT	48
Figura 14.	La curva mas recomendada es la de NCEER (1996), para el calculo del CRR a partir del CPT [Robertson & Wride, 1998]	49
Figura 15.	Factor de corrección K_c , utilizado para la determinación de la resistencia CPT equivalente a una arena limpia Robertson & Wride, (1998)	52
Figura 16.	Mediciones de campo de licuación cíclica con la curva de resistencia CPT para arenas limpias Robertson & Fear,(1995)	54

Figura 17. Curvas determinísticas y probabilística para la obtención del CSR Juang (2003)	57
Figura 18. Comparación de las curvas límites mediante dos técnicas Juang (2003)	58
Figura 19. Clasificación de los perfiles de suelos	59
Figura 20. Curvas para calcular la relación CRR a partir del SPT (Youd et al., 1997)	63
Figura 21. Pilotes y pantallas pre-excavadas	65
Figura 22. Compactación dinámica	67
Figura 23. Vibro flotación	67
Figura 24. Vibro compactación	69
Figura 25. Vibro reemplazo	69
Figura 26. Pilotes de compactación	70
Figura 27. Pilotes de compactación	71
Figura 28. Pilotes de balastro	72
Figura 29. Explosiones y voladuras	73
Figura 30. Inyecciones de compactación	74
Figura 31. Inyección de elementos químicos	75
Figura 32. Jet grouting	76
Figura 33. Imagen satelital Yondo (Casabe), Antioquia	80
Figura 34. Grafica de Youd (1997)	85
Figura 35. Ingreso de datos	88
Figura 36. Comportamiento del fenómeno de licuefacción	88
Figura 37. Sondeo 1 sin FC, para una magnitud de 7.5	91
Figura 38. Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 1 con FC (contenido de finos)	93
Figura 39. Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 1 sin FC (contenido de finos)	94
Figura 40. Ejemplo de licuefacción	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Compacidad de un suelo granular	32
Tabla 2. Correlaciones empíricas entre el valor N del ensayo de penetración estándar (SPT) y la velocidad de las ondas sísmicas de corte (<i>ms</i>) para diferentes tipos de suelo y edades geológicas.	37
Tabla 3. Compacidad Relativa de la Arena	37
Tabla 4. Resistencia de los suelos cohesivos	38
Tabla 5. Resumen de los factores de correccion publicados	43
Tabla 6. Relaciones entre <i>qadm</i> N, y la consistencia para suelos finos TERZAGHI y PECK (1948)	46

ANEXOS

ANEXO A Programa para la determinación del potencial de licuefacción empleando el ensayo de penetración estándar.	101
ANEXO B Sondeo 1	107
ANEXO C. Sondeo 2	109
ANEXO D Clasificación De Los Suelos Para El Sondeo 1	111
ANEXO E Clasificación De Los Suelos Para El Sondeo 2	116
ANEXOS F. Programación en Excel Sondeo 1 con FC (contenido de finos) variando la magnitud de 5, 6,7, 7.5 y 8, con los datos obtenidos en los ensayos.	121
ANEXO G Programación en Excel Sondeo 2 con FC (contenido de finos) Variando la magnitud de 5, 6,7, 7.5 y 8, con los datos obtenidos en los ensayos.	126
ANEXO H Programación en Excel Sondeo 1 sin FC (contenido de finos) variando la magnitud de 5, 6,7, 7.5 y 8, con los datos obtenidos en los ensayos, para fines académicos	131
ANEXO I Programación en Excel Sondeo 2 sin FC (contenido de finos) variando la magnitud de 5, 6,7, 7.5 y 8, con los datos obtenidos en los ensayos, para fines académicos	136
ANEXO J Graficas obtenidas del Sondeo 1 con FC (contenidos de finos) utilizando el software. Con las diferentes magnitudes y datos que se obtuvieron de los ensayos.	141
ANEXO K Graficas obtenidas del Sondeo 2 con FC (contenidos de finos) utilizando el software. Con las diferentes magnitudes y datos que se obtuvieron de los ensayos.	143
ANEXO L Graficas obtenidas del Sondeo 1 sin FC (contenidos de finos) utilizando el software. Con las diferentes magnitudes y datos que se obtuvieron de los ensayos. Para fines académicos	145

ANEXO M Graficas obtenidas del Sondeo 2 sin FC (contenidos de finos) utilizando el software. Con las diferentes magnitudes y datos que se obtuvieron de los ensayos., para fines académicos.	147
ANEXO N Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 1 con FC (contenido de finos)	149
ANEXO O Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 2 con FC (contenido de finos)	150
ANEXO P Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 1 sin FC (contenido de finos)	151
ANEXO Q Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 2 sin FC (contenido de finos)	152

RESUMEN

TITULO: EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION DE SUELOS POR MEDIO DEL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).*

AUTORES:

NIÑO Gomez, Rossy Elena**
TORRES Macken, Andrea Patricia

PALABRAS CLAVES: Licuación, métodos, modelamientos, suelo, esfuerzos, métodos de mitigación

CONTENIDO:

Es importante conocer el comportamiento de los suelos, sus características, y los factores que mas inciden en su estructura. La licuación, se ha convertido en un tema de interés para la Geotecnia ya que este, se presenta en forma aleatoria y requiere de ciertos ambientes tanto geológicos como hidráulicos. Desde hace muchos años, se ha venido estudiando los efectos que producen los terremotos, tal es el caso de Niigata en 1964 con una magnitud de 7.5 y el Gran terremoto de Alaska en el mismo año con una magnitud de 9.2; estos eventos provocaron el interés de los investigadores por conocer y describir sus efectos.

En esta tesis se estudia el fenómeno de licuación, teniendo en cuenta los criterios referidos en la Norma Sismo Resistente 2010, Titulo H, y complementándolo con los criterios descritos por Kramer y Stewart (2004), considerando principalmente que este fenómeno se presenta en suelos saturados, poco o nada cohesivos, arenas finas y limos, y se presenta el procedimiento simplificado desarrollado por los autores Seed e Idriss, para evaluar el potencial de licuefacción. Paralelo a esto se realizo una evaluación de las zonas de licuación de caso aplicado al municipio de Yondo a través de un software de licencia estudiantil y fácil obtención, al cual se le corrobora la veracidad de los resultados a través de la hoja electrónica Excel con la metodología propuesta con anterioridad. Con base a los resultados obtenidos se da a conocer las diferentes medidas existentes para la mitigación del fenómeno de licuación

* Proyecto de Grado:

**Facultad de Ingeniería Fisico-Mecanicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. M. Sc. DEL TORO. Wilfredo

ABSTRACT

TITLE:

EVALUATION OF THE POTENTIAL FOR LIQUEFACTION OF SOILS BY MEANS OF THE STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

AUTHOR:

NIÑO Gomez, Rossy Elena**
TORRES Macken, Andrea Patricia

KEY WORDS:

Liquefaction, methods, numeric modeling, soil, efforts, mitigation methods.

CONTENT:

It's relevant know about soils' behavior, their characteristics and factors that most affect in their structure. The liquefaction, it has turned into a topic of interest for the Geotechnical science that, appears randomly, and needs certain both geological and hydraulic environments. For many years, has been studying the effects that earthquakes produces, such as Niigata's case in 1964 with a magnitude of 7.5 and the Great earthquake of Alaska in the same year with a magnitude of 9.2; those events caused interest of many searchers about learn and describe their effects.

In this thesis the phenomenon of liquefaction is studied, considering the criteria described in the Earthquake Resistant Standard 2010, title H, and complementing with the criteria described by Kramer and Stewart (2004), considering principally that liquefaction appears in saturated soils, poor or not cohesive at all, thin sands and slimes, also that work presents the simplified procedure developed by the authors Seed and Idriss, to evaluate the liquefaction potential. Parallel to that, an evaluation of liquefaction zones applied to case Yondó using student license software readily available. the veracity of the results is confirmed using Microsoft Excel spreadsheet with the methodology previously proposed. Based on the results disclosed different measures to mitigate liquefaction.

* Proyecto de Grado:

**Facultad de Ingeniería Físico- Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. M. Sc. DEL TORO. Wilfredo

INTRODUCCION

Para la Ingeniería civil, es de gran importancia conocer el comportamiento del suelo, debido a que este es la base de las obras civiles. Por ello aportaremos con esta investigación el estudio de la Licuefacción de Suelos, fenómeno que no ocurre de forma aleatoria y requiere de ciertos ambientes geológicos e hidráulicos; está principalmente, asociado a suelos saturados poco o nada cohesivos y los más susceptibles como las arenas finas y los limos. Cuando la resistencia del suelo se pierde, provoca daños catastróficos al no ser considerado su análisis, en un rango que va desde pequeños hundimientos y desplazamientos laterales hasta deslizamientos de grandes masas de suelos. Además de esto, puede causar grandes asentamientos o inclinaciones en fundaciones y estructuras de retención. Este fenómeno es muy importante y complejo para la Ingeniería Geotécnica; desde hace muchos años se han venido estudiando sus efectos debido a la observación de los daños resultantes por la ocurrencia del terremoto, los cuales pueden ser influidos por las características del terreno en un área determinada. Es importante resaltar que la mayoría de las investigaciones y la atención a este tema, se inicio a partir de los eventos sísmico ocurridos en Alaska (USA) y Niigata (Japón), sucesos ocurridos en el año 1964, con magnitudes superiores a 7.5 (figura 1 y 2).

Figura 1. Niigata, Japón 16 de junio 1964 04:01, Magnitud 7.5, colapso de edificaciones por licuefacción



Fuente: Science for a changing World

Figura 2. El 27 de marzo de 1964, a las 5:36 pm un gran terremoto de magnitud 9,2 (magnitud de momento) se produjo en la región de Prince William Sound de Alaska



Fuente: Alaska Earthquake Information Center

Es importante resaltar que no todos los suelos son susceptibles de presentar este fenómeno, así que el primer paso en el desarrollo de una evaluación de riesgo de potencial de licuefacción es la determinación de la susceptibilidad de licuefacción, basados en criterios enumerados en la norma NSR 10 recopilados en la sección H.7.4.4, y complementándolos con los criterios descritos por Kramer y Steward (2004).

En la práctica se utilizan los siguientes procedimientos in situ para evaluar la capacidad de los suelos arenosos para resistir la licuación: a) penetración estándar (SPT); b) penetración con cono (CPT); y c) velocidad de ondas de corte (v_s). Para asegurar una adecuada definición de la estratigrafía y una evaluación consistente de la resistencia a la licuación, en cada sitio se debe llevar a cabo dos o más de los procedimientos indicados. Por varias ventajas, los procedimientos que más se llevan a cabo en el oriente Colombiano son el SPT y algunas veces las mediciones de V_s . Para determinar la resistencia a la licuación de los suelos arenosos, la relación de tensión cíclica (CSR) se compara con la relación de

resistencia cíclica (CRR). Esta última se obtiene de correlaciones empíricas entre la relación de esfuerzos cíclicos requeridos para causar licuación y los valores de N (SPT) normalizados por profundidad y energía de los golpes del martillo (valores de $(N_1)_{60}$), los permiten realizar predicciones del comportamiento de las capas de suelos potencialmente licuables, facilitando la elección de soluciones de mitigación más adecuadas

En esta investigación, desarrollaremos la aplicación a un caso de suelo con alta posibilidad de sufrir el fenómeno, tomando como base los datos obtenidos en el Ensayo de penetración estándar (spt).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el fenómeno de licuación de suelos y la evaluación de su susceptibilidad cuando son sometidos a cargas dinámicas, particularmente utilizando el ensayo de penetración estándar.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Comprender el fenómeno y los factores de mayor influencia en suelos potencialmente licuables.

Determinar la susceptibilidad de los suelos a este fenómeno a partir de resultados del ensayo de penetración estándar (SPT).

Hacer aplicación a un caso de suelo con alta posibilidad de sufrir el fenómeno, tomando como base los datos obtenidos en el ensayo de penetración estándar

Analizar soluciones para prevenir o disminuir la posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuación en suelos.

1. FENOMENO POTENCIAL DE LICUEFACCION.

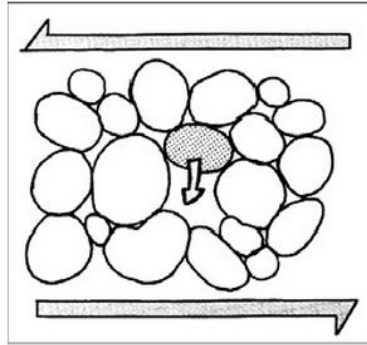
1.1 DESCRIPCION DE LICUEFACCION

La licuefacción, también llamado licuación, es un fenómeno que produce que los suelos no cohesivos sueltos o las arcillas sensibles sufran una pérdida súbita de su resistencia en una gran porción de su masa, por causa de una vibración, un impacto o un elevado esfuerzo cortante localizado y adquieren un cierto grado de movilidad por desplazamiento de sus partículas.

La licuefacción del suelo se ve favorecida cuando existe una excesiva compresión producida por las cargas exteriores aplicadas, que supera la resistencia límite del suelo. La causa básica de la licuefacción de los suelos no cohesivos saturados es el exceso de presión hidrostática debida a los esfuerzos cíclicos inducidos por los movimientos que debe soportar la masa del suelo.

Las acciones que producen licuefacción de los suelos son principalmente, las ondas sísmicas, especialmente las ondas de corte, en su paso a través de los estratos de suelos granulares saturados, las cuales distorsionan la estructura granular y causan el reordenamiento de los grupos sueltos de partículas, como muestra la figura 3, debido a la tendencia de los suelos sueltos a densificarse. Este reordenamiento de las partículas produce un incremento en la presión de poros bajo condiciones no drenadas.

Figura 3. . Descripción del proceso de licuefacción



Fuente: Daniel Humberto Santibáñez rodríguez Valdivia, 2006

1.2 LICUEFACCION Y FENOMENOS RELACIONADOS.

Los suelos granulares tienen tendencia natural a densificarse bajo carga, ya sea monotónica o cíclica. Ocurre cuando el suelo está saturado y el drenaje es lento o totalmente inexistente, esta tendencia a la densificación causa el crecimiento de la presión de poros, en exceso de su estado estático, y el decrecimiento correlativo del esfuerzo efectivo hasta que sobreviene la flotación de las partículas.

1.2.1 licuefacción de flujo.

De acuerdo con Kramer y Stewart (2004), la licuefacción de flujo ocurre cuando las tensiones de corte requeridas para mantener el equilibrio estático de una masa de suelo son mayores que la resistencia al corte del suelo en su estado licuado, o resistencia residual.

Si la licuefacción se desencadena debido a las vibraciones de un terremoto, entonces la incapacidad del suelo licuado para resistir las tensiones requeridas puede causar grandes deformaciones o deslizamientos de flujo, provocando fallas del suelo.

Las fallas causadas por licuefacción de flujo se caracterizan por movimientos grandes y rápidos que pueden producir efectos desastrosos, como el volcamiento de edificios y el deslizamiento de grandes masas de suelos.

1.2.2 Movilidad cíclica.

Según la NSR 10, el fenómeno de movilidad cíclica tiene lugar cuando el estado de esfuerzos estáticos es inferior a la resistencia del suelo licuado; durante el movimiento sísmico el estado de esfuerzos aumenta de forma escalonada hasta que se alcanza la resistencia del suelo y sobreviene la falla.

Los efectos relacionados con la movilidad cíclica, generalmente se presentan en la forma de desplazamiento lateral y volcanes de arena. En el terreno la movilidad cíclica puede producir deslizamientos laterales aún en presencia de pendientes muy suaves o en terreno plano en las cercanías de superficies libres como ríos y lagos. Al nivel del terreno, la alta presión de poros producida por la licuefacción puede causar que esta presión fluya rápidamente hacia la superficie. Este flujo puede ocurrir durante y después de un terremoto, el que sí es lo suficientemente rápido, puede arrastrar partículas de arena, a través de grietas, hacia la superficie, donde son depositadas en forma de volcanes de arena.

1.2.3 Volcanes de arena.

De acuerdo con la misma norma, este es un fenómeno que frecuentemente acompaña la ocurrencia de la licuación; durante el movimiento sísmico, o inmediatamente después, el exceso de presión de poros es disipado, normalmente hacia arriba como la dirección más fácil y en puntos localizados, a lo largo de grietas, se producen erupciones de arena en estado líquido que conforman pequeños volcanes.

1.3 SUCEPTIBILIDAD A LA LICUEFACCION.

Teniendo en cuenta que no todos los suelos son licuables es preciso conformar una lista de características del suelo mismo y de su circunstancia, que conduce a que sean susceptibles a la licuación. La norma NSR 10 recopila estos criterios en la sección H.7.4.4, de la que extraen los siguientes:

1. La edad geológica es determinante: suelos del holoceno son más susceptibles que los del pleistoceno y la licuación de depósitos de edades anteriores no es común.
2. El depósito del suelo debe estar saturado o cerca de la saturación para que ocurra la licuación.
3. Depósitos fluviales, coluviales, granulares, eólicos, cuando saturados, son susceptibles de licuación.
4. Pueden clasificarse como licuables los depósitos de abanicos aluviales, planicies aluviales, playas, terrazas y estuarios.
5. Son muy susceptibles a la licuación las arenas finas y arenas limosas, relativamente uniformes, con densidad suelta y media. Generalmente se producen grandes deformaciones del terreno y de las estructuras apoyadas y pueden formar volcanes de arena en superficie con los correspondientes cambios volumétricos severos.
6. Los depósitos bien gradados con tamaños hasta de gravas, gravas arenosas y gravas areno-limosas, son menos susceptibles a licuación, pero de todas formas deben verificarse. Estos materiales también pueden generar cambios volumétricos del terreno.
7. Los limos, limos arcillosos y arcillas limosas, de baja plasticidad y con la humedad natural cercana al límite líquido, también son susceptible de presentar licuación o falla cíclica. Generalmente se produce la degradación progresiva de la resistencia dinámica de los suelos finos con el número de

ciclos de carga equivalente, llevándolos a la falla o generando grandes asentamientos del terreno y de la estructura apoyada en él.

8. Suelos con partículas redondeadas, son más susceptibles que suelos con partículas angulares. Suelos con partículas micáceas, propios de suelos volcánicos, son más susceptibles.
9. Cuando el depósito está en condición seca o con bajo grado de saturación, se genera un proceso de densificación con las consecuentes deformaciones permanentes del terreno y estructuras apoyadas en él.

No todos los suelos son susceptibles de presentar licuefacción, así que el primer paso en el desarrollo de una evaluación de riesgo de licuefacción es la determinación de la susceptibilidad de licuefacción, basados en criterios como los enumerados anteriormente, complementándolos con los criterios descritos por Kramer y Steward (2004) que se comentan a continuación:

1.3.1. Criterios históricos.

Se ha observado que la licuefacción ocurre frecuentemente en los mismos lugares cuando las condiciones del sitio se mantienen constantes, es por esto que la evidencia de la ocurrencia histórica de licuefacción, observada en forma de paleo-liquefacción, puede ser utilizada como prueba de susceptibilidad a la licuefacción, en un determinado lugar.

1.3.2 Criterios geológicos.

Las condiciones geológicas también pueden indicar susceptibilidad de licuefacción, por ejemplo los suelos de depósitos fluviales y eólicos, cuando se encuentran saturados, tienen una alta probabilidad de ser susceptibles de presentar licuefacción. También se ha observado licuefacción en depósitos de abanicos aluviales, playas y estuarios, pero no de manera tan evidente como en los casos anteriores. Otro criterio geológico es la edad del depósito; en general los

depósitos de suelo jóvenes son más susceptibles de licuefacción que los depósitos más antiguos.

1.3.3 Criterios basados en la composición.

La composición física de un suelo juega un importante papel en la determinación de su susceptibilidad de licuefacción. Las arenas uniformemente gradadas y limpias, compuestas principalmente de partículas redondeadas son intrínsecamente más susceptibles, mientras que los suelos bien gradados y los suelos con partículas angulares son menos susceptibles. La presencia de finos, particularmente finos plásticos ($IP > 10$), tiende a disminuir la susceptibilidad de licuefacción.

1.3.4 Suelos no cohesivos.

El fenómeno de licuefacción generalmente se asocia con suelos no cohesivos o granulares, como resultado de una carga sísmica de suficiente intensidad y duración.

Ocurre más comúnmente en suelos sueltos, saturados, granulares, uniformemente gradados y con un bajo contenido de finos. Aunque las arenas son especialmente susceptibles, la licuefacción también se puede desarrollar en algunos limos y gravas. Las dos condiciones necesarias para que ocurra la licuefacción son, la presencia de suelos de densidad suficientemente baja, los que tienden a experimentar reducción de volumen, y un estado de saturación completa o casi completa. Bajo estas condiciones, los terrenos no cohesivos tienden a densificarse cuándo están sometidos a esfuerzos de corte cíclico, pero el cambio de volumen es impedido debido al drenaje restringido. Como resultado, el exceso de presión de poros se acumula, las tensiones efectivas se reducen, y el suelo pierde resistencia convirtiéndose a un estado licuado. Como la capacidad de los suelos de soportar las cargas producidas por las fundaciones está directamente relacionada con su resistencia, la licuefacción plantea un peligro serio para las

estructuras y debe ser evaluada en zonas de riesgo sísmico donde existan depósitos susceptibles. No todos los suelos granulares son propensos a presentar licuefacción. Como regla general, los depósitos de suelos no cohesivos con valores de resistencia a la penetración estándar corregida por profundidad ($N_{160} > 30$), son considerados de densidad suficiente como para no presentar riesgo de licuarse.

1.3.5 Suelos con presencia de finos.

Históricamente, las arenas han sido consideradas como el único tipo de suelo susceptible de presentar licuefacción, pero la licuefacción también ha sido observada en otros tipos de suelos. Los suelos granulares con presencia de finos también pueden exhibir un comportamiento similar a la licuefacción de arenas, cuando son sometidos a cargas sísmicas, el cual puede producir fallas que tienen muchas de las mismas características de las fallas por licuefacción. En 1979 Wang propuso los siguientes cuatro criterios (los cuáles fueron posteriormente adoptados por Seed e Idriss), la satisfacción de todos estos criterios indica la susceptibilidad de presentar licuefacción.

1. Fracción de arcilla (finos menores de 0,005 mm) < 15%
2. Límite líquido, LL < 35%.
3. Contenido de humedad natural, $w > 0,9 LL$.
4. Índice de liquidez, LI < 0,75.

1.3.6 Criterios basados en el estado del suelo.

El potencial de licuefacción de un suelo también depende de su estado, como las tensiones efectivas a las que está sometido y su densidad in situ, ya que la tendencia de un terreno a densificarse, bajo condiciones de carga cíclicas, depende de su densidad y de las tensiones efectivas. Los suelos sueltos son bastante más susceptibles de licuefacción que los suelos densos y, para una

densidad dada, los suelos bajo tensiones de confinamiento efectivas altas son más susceptible que los suelos bajo tensiones de confinamiento efectivas bajas.

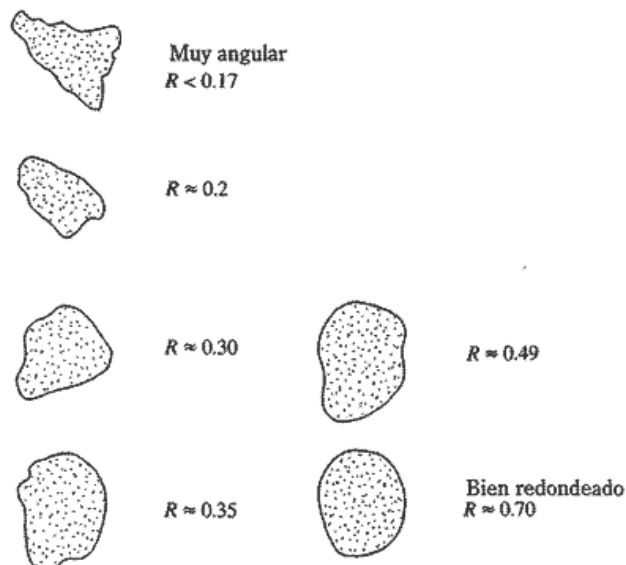
1.4 OTROS FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA LICUEFACCION

1.4.1 Distribución del tamaño de los granos.

La arena uniformemente gradada, con granos pocos finos o muy gruesos (arena limpia) tiene mayor probabilidad de licuarse y es posible que se vuelva más densa. Las arenas limosas y gravas también son susceptibles a la licuefacción bajo cargas cíclicas muy severas.

Por otra parte la redondez de las partículas, R , es un factor importante para conocer un poco, el comportamiento frente a dicha carga, y aunque es difícil, esta se puede estimar, de acuerdo con la ecuación (1). En la figura 4 muestra el rango general de R con la redondez de la partícula.

Figura 4. Rango general de la magnitud R



Fuente: Braja Das. (1999)

$$R = \frac{\text{radio m\u00ednimo de los bordes de la part\u00edcula}}{\text{radio inscrito de toda la part\u00edcula}} \quad (1)$$

1.4.2 Profundidad de las aguas subter\u00e1neas.

Puede ocurrir licuefacci\u00f3n si existe agua subter\u00e1nea en el punto de la columna del suelo donde se est\u00e1 produciendo la densificaci\u00f3n. Mientras menor sea la profundidad, menor ser\u00e1 el peso del recubrimiento del suelo y el potencial de que ocurra densificaci\u00f3n. Por tanto, mientras menor sea la profundidad del nivel de las aguas subter\u00e1neas, mayor ser\u00e1 la probabilidad de que ocurra licuefacci\u00f3n.

1.4.3 Densidad.

La licuefacci\u00f3n ocurre principalmente en suelos sueltos, saturados y no cohesivos. Ese suelo puede densificarse cuando est\u00e1 sujeto a una carga c\u00edclica. La tendencia a densificarse reduce el volumen de suelo y agua e incrementa la presi\u00f3n de poros si los poros se llenan de agua. Cuando la presi\u00f3n de poros se vuelve igual a la tensi\u00f3n media total, el suelo pierde su resistencia y se lic\u00faa. Si el suelo es denso, habr\u00e1 menos posibilidad de que se produzca la licuefacci\u00f3n.

Lo denso de un suelo granular est\u00e1 a veces relacionado con su compacidad relativa. La Tabla 1 da una correlaci\u00f3n general de lo denso y Cr. Para arenas naturales, las magnitudes de $e_{m\u00e1x}$ y $e_{m\u00edn}$ ecuaci\u00f3n (2) pueden variar ampliamente. Las razones principales de estas variaciones son el coeficiente de uniformidad, C_u y la redondez de las part\u00edculas, R de la ecuaci\u00f3n (1).

Tabla 1. Compacidad de un suelo granular

Compacidad relativa, Cr (%)	Descripci\u00f3n
0-20	Muy suelto
20-40	Suelto
40-60	Medio
60-80	Denso
80-100	Muy denso

Fuente: Braja Das (1999)

$$Cr(\%) = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \times 100 \quad (2)$$

1.4.4 Esfuerzo de confinamiento

Las tensiones entre partículas aumentan a medida que se incrementa el esfuerzo de confinamiento. Mientras mayor sea la tensión entre las partículas, menor será la probabilidad de que ocurra la licuefacción. Por lo general, la licuefacción ocurre a profundidades menores de 9 metros, y rara vez ocurre a profundidades mayores de 15 metros.

1.4.5 Amplitud y duración de la vibración del suelo.

La capacidad del suelo para resistir una vibración provocada por un sismo sin causar fallas depende de la intensidad del movimiento del terreno, incluida tanto su amplitud como su duración. Los movimientos más fuertes tienen mayor probabilidad de causar fallas. La licuefacción de suelos bajo condiciones de tensión provocadas por un terremoto puede ocurrir ya sea cerca del epicentro durante terremotos pequeños o moderados, o a cierta distancia en caso de terrenos moderados a severos.

1.4.6 Edad del terreno.

Los suelos débiles y no cohesivos por lo general son jóvenes. Con el tiempo, actúan dos factores para incrementar la resistencia de un suelo típico: la compactación (que cambia la relación de vacíos) y varios procesos químicos (que actúan para cementar los granos del suelo). Una regla general es que los depósitos anteriores al pleistoceno tardío (más de 500.000 años de antigüedad) tienen poca probabilidad de licuarse excepto si sufren una vibración bastante fuerte, mientras que los depósitos del holoceno tardío (menos de 3.000 años de antigüedad) tienen mayor probabilidad de licuarse.

1.4.7 Origen del suelo.

El suelo depositado por procesos fluviales se sedimenta fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse. De manera similar, los rellenos artificiales no compactados, generalmente por debajo del nivel del agua, pueden tener deficiencias similares.

2. MÉTODOS DE EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION

2.1 INTRODUCCION

En la evaluación del potencial de licuación y de las deformaciones permanentes, se deben emplear técnicas de laboratorio y/o ensayos de campo, que correspondan a metodologías determinísticas o probabilísticas actualizadas reconocidas internacionalmente.

El potencial de licuación del suelo, la pérdida de resistencia y las deformaciones permanentes, deberán ser evaluadas para las aceleraciones máximas del terreno ($A_{m\acute{a}x}$), las magnitudes (M_w) esperadas de los posibles escenarios de eventos sísmicos, número de ciclos de carga, la resistencia a la penetración del suelo (ensayos SPT, cono estático, piezocono, V_s , etc.), demás características consistentes con los movimientos sísmicos del terreno y el método empleado. Se permite determinar la $A_{m\acute{a}x}$ basado en un estudio de microzonificación sísmica de la ciudad o en un estudio específico de respuesta de sitio que tenga en cuenta efectos de amplificación. En suelos finos, por su comportamiento particular, podrá verificarse mediante relaciones que incluyan el IP, y demás parámetros sugeridos por las metodologías modernas sobre el tema.

2.2 ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

La finalidad que tiene SPT es estimar el grado de densificación de los suelos. El ensayo de penetración estándar consiste en enterrar un tubo partido, aplicando golpes con un martillo de 63 Kg. que cae de una altura de 760 mm. El número de golpes requerido para enterrar el tubo 300 mm. Se denomina N (Número de golpes de penetración estándar). Con el número de golpes se puede estimar el valor del ángulo de fricción interna para arenas (Peck, 1974).

También se puede obtener la densidad relativa y con esa densidad relativa obtener el valor de ϕ' (Schmertmann, 1975).

El ensayo de penetración estándar se desarrolló inicialmente para determinar la resistencia de suelos no cohesivos y la mayoría de las correlaciones son útiles solamente para gravas y arenas.

Stroud (1974) desarrolló una correlación muy útil del valor de N para arcillas duras y rocas blandas, en el Reino Unido.

La relación de Stroud (1974) es la siguiente: $c_u = 5N$ kPa. Esta correlación es utilizada para obtener la resistencia de suelos residuales arcillosos, cuando las profundidades del perfil de suelo no son mayores de 5 metros.

El valor de resistencia N debe corregirse en función de la energía aplicada. La siguiente expresión corrige este valor al 60 % del ratio de energía:

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot \frac{E_m}{0.60E_{ff}} \quad (3)$$

Donde $((N_1)_{60})$ es la resistencia corregida, N_m es la resistencia de penetración medida, C_N es un factor de corrección por profundidad, E_m es la energía del martillo y E_{ff} es la energía teórica del martillo en caída libre.

El valor $((N_1)_{60})$ se ha correlacionado con propiedades de los suelos granulares, como por ejemplo la densidad relativa o el ángulo de fricción del suelo. Las correlaciones con los suelos de grano fino existen pero no son tan fiables.

Se ha de tener en cuenta que los resultados obtenidos de este ensayo son producto de correlaciones empíricas. Algunas de dichas correlaciones entre N y V_s para distintos tipos de suelo se presentan en la Tabla 2

Tabla 2. Correlaciones empíricas entre el valor N del ensayo de penetración estándar (SPT) y la velocidad de las ondas sísmicas de corte (m/s) para diferentes tipos de suelo y edades geológicas.

Tipo de material y edad	Correlación
Arena Holocena	$V_s = 87.8 N^{0.292}$
Grava Holocena	$V_s = 75.4 N^{0.351}$
Depósito de edad Pleistocena	$V_s = 138 N^{0.246}$

Fuente: Caracterización de la Respuesta Sísmica de los Suelos, Montse Rodríguez Segurado

La Tabla 3 y 4 reflejan la compacidad y la resistencia de acuerdo con los resultados de la prueba de penetración Estándar.

Tabla 3. Compacidad Relativa de la Arena

Numero de Golpes	Compacidad Relativa
0 – 4	Muy Suelta
5 – 10	Suelta
11 – 20	Firme
21 – 30	Muy Firme
31 – 50	Densa
Más de 50	Muy Densa

Fuente: Braja Das. (1999)

Tabla 4. Resistencia de los suelos cohesivos

Numero de golpes	consistencia	Resistencia a la Compresión Simple q_u (kg/cm^2)
< 2	Muy Blanda	<0.25
2 – 4	Blanda	0.25 – 0.50
4 – 8	Media	0.50 – 1.00
8–15	Firme	1.00 – 2.00
15–30	Muy Firme	2.00 – 4.00
>30	Dura	>4.0

Fuente: Braja Das. (1999)

2.2.1 Relaciones entre el número de golpes N del SPT, densidad relativa y ángulo de fricción interna (ϕ)

1. Aporte de TERZAGHI y PECK (1948)

Cuando el ensayo se efectúa en arenas finas o limosas bajo el nivel de la capa freática, debe reducirse el número de golpes a través de la siguiente relación:

$$N = \frac{N' + 15}{2} \quad (4)$$

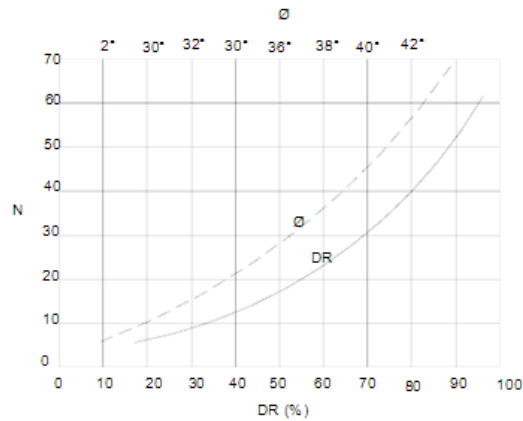
Donde:

N = valor corregido

$N' > 15$ (valor medido in /situ, debajo del N.F)

Terzagui y Peck (1948) relacionan los valores de $N - D_R$ (densidad relativa) y $N - \phi$ (ángulo de fricción interna) en forma independiente de la profundidad, a la cual se hace el ensayo y por lo tanto de la sobrecarga efectiva en el nivel considerado, la cual se muestra en la Figura 5

Figura 5. Correlaciones N-DR (densidad relativa) y N- ϕ (ángulo de fricción)
(TERZAGHI PECK 1948)



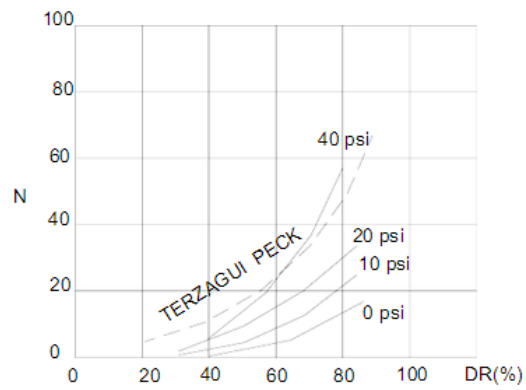
Fuente: Rogers, J. David. Gow, Mohr, Terzaghi, (2009)

2. Aportes de GIBBS y HOLTS (1954)

Proporciona correlaciones entre N, D_R Y la sobrecarga efectiva, tomando en consideración el grado de humedad y el tamaño de los granos.

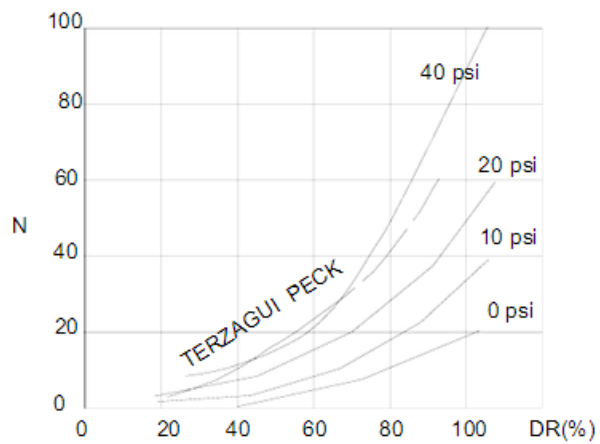
En la figura 6 se muestra la correlación entre N y la densidad relativa de una arena fina, seca, para diferentes valores de sobrecarga efectiva. La figura 7, muestra la correlación para arenas gruesas, secas o húmedas. Las propiedades de las arenas utilizadas por GIBBS y HOLTS (1954), en sus investigaciones se observan en la figura 8.

Figura 6. Efecto de la presión de sobrecarga para arena fina seca



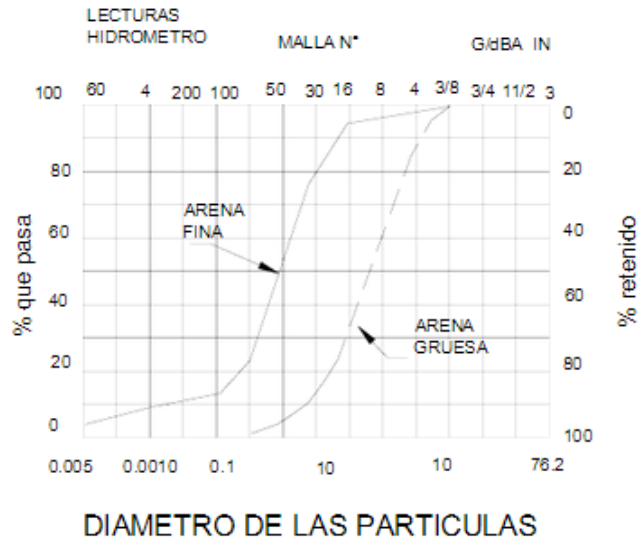
Fuente: César Atala Abad (1992)

Figura 7. Efecto de la presión de sobrecarga para arena gruesa seca o húmeda



Fuente: César Atala Abad (1992)

Figura 8. Granulometría de las arenas ensayadas por GIBBS y HOLTZ (1954)



Fuente: SEMINARIO TALLER DE MECANICA DE SUELOS Y EXPLORACIÓN GEOTECNICA, 9 al 11 de setiembre de 1992

3. Aportes de PECK y BAZARAA (1969)

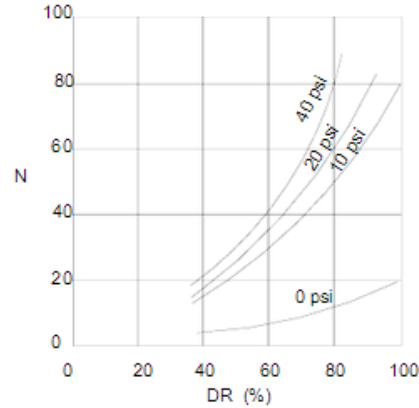
La relación de la densidad relativa de la arena con el índice de penetración estándar “N” y la presión de sobrecarga en el nivel donde se efectúa el ensayo, se entiende a través de la ecuación (5) y (6)

$$N = 20D_R^2 (1 + 2\sigma); \quad \text{para } \sigma < 1.5 \text{ kips/pie}^2 (0.73 \text{ kilos/cm}^2) \quad (5)$$

$$N = 20D_R^2 (3.25 + 0.5\sigma); \quad \text{para } \sigma < 1.5 \text{ kips/pie}^2 (0.73 \text{ kilos/cm}^2) \quad (6)$$

La figura 9, representa la correlación, para una arena con una densidad relativa D_R y bajo una presión de sobrecarga σ .

Figura 9. Correlación N-DR (densidad relativa) $N - \sigma$ (ángulo de fricción)
 PECK – NAZARAA (1969)

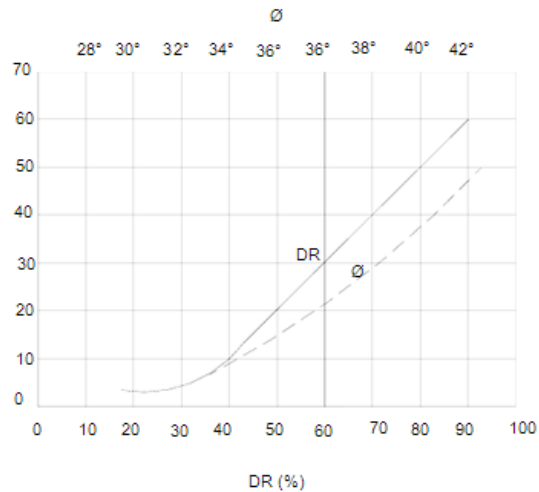


Fuente: César Atala Abad (1992)

4. Aporte de MEYERHOFF (1980)

El estableció una relación entre N , D_R , (densidad relativa) Φ (ángulo de fricción), la cual es independiente de la presión de sobrecarga efectiva, se representa en la grafica figura 10.

Figura 10. Correlaciones $N - D_R$ y $N - \Phi$ (MEYERHOFF 1980)



Fuente: Seminario Taller de Mecánica de Suelos y Exploración Geotecnica, 9 al 11 de setiembre de 1992

Según MEYERHOF (1980) , los valores de los ángulos son seguros para arenas limpias y uniformes, deben reducirse por lo menos 5 grados para el caso de arenas arcillosas en ausencia de ensayos de corte; para el caso de una mezcla de arenas con gravas pueden aumentarse hasta 5 grados.

Este autor estableció la correlación en la cual se incluye el efecto de la presión de sobrecarga (σ) en el nivel donde se efectúa el ensayo.

$$N = 1.7 D_R^2 (\sigma + 10); \quad \sigma = \frac{\text{lib}}{\text{pul}^2} \dots\dots\dots(7)$$

2.2.2 Factores de corrección por sobrecarga en arenas

C_N Está definido como la relación entre la resistencia medida del S.P.T. Para una presión vertical efectiva σ_v a la resistencia mediante a un esfuerzo vertical estándar σ_v normalmente $1T/\text{pie}^2$

En la practica el valor del numero de golpes corregido (N_1)

$$N_1 = C_N N \tag{7a}$$

Los factores de corrección comúnmente usados y que han sido publicados se resumen en la tabla 5

Tabla 5. Resumen de los factores de correccion publicados

Referencia	Factor de correlación C_N	Unidades de σ_v
Teng (1962)	$C_N = \frac{50}{10 + \sigma_v}$	psi
Bazaraa (1967)	$C_N = \frac{4}{1 + 2 \sigma_v} \quad \sigma_v \leq 1.5$ $C_N = \frac{4}{3.25 + 0.5 \sigma_v} \quad \sigma_v > 1.5$	kst
Peck Hansen, y Thournbum (1974)	$C_N = 0.77 \log_{10} \frac{20}{\sigma_v}$	tst
Seed (1976)	$C_N = 1 - 1.25 \log_{10} \sigma_v$	tst
Tokimatsu y Yoshimi (1983)	$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \sigma_v}$	kg/cm ²

Fuente: César Atala Abad (1992)

El uso de cualquiera de los factores de corrección, es aceptable y conducirá a una normalización temporal y a resultados consistentes. Según Liao y Whitman, (1986) en la ecuación (8), y Skempton (1986) en la ecuación (8a)

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{vo}}} \quad (8)$$

$$C_N = \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{vo}}{P_a}} \quad (8a)$$

2.2.3 Relaciones entre el número de golpes N y la consistencia **de las arcillas**

Cuando se hacen los sondeos es posible estimar la resistencia, figura 8, sin embargo, para un número de golpes dado la dispersión con respecto al término medio puede ser muy grande. Por ello, es recomendable realizar ensayos de compresión simple en las muestras obtenidas por la cuchara.

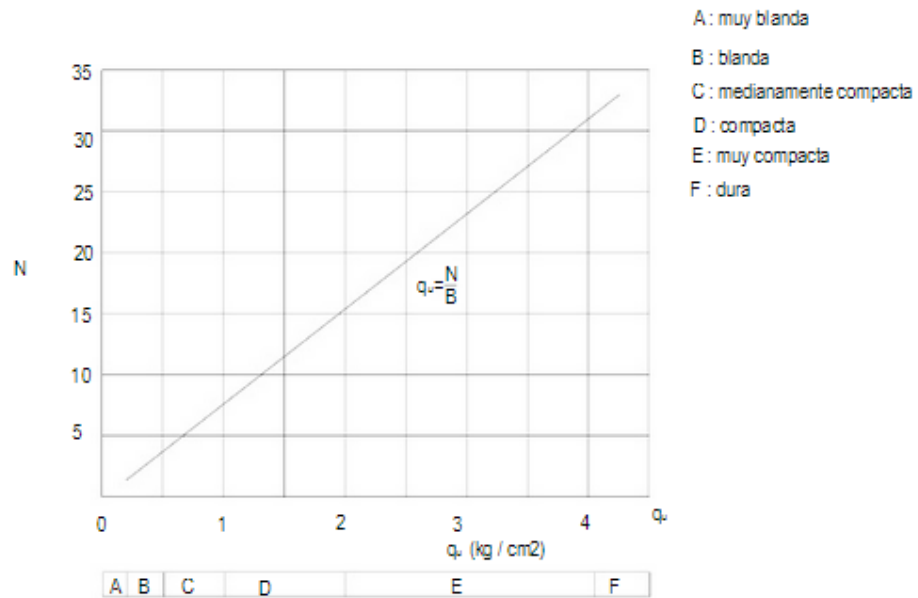
La forma de estimar en forma aproximada la resistencia de la compresión simple q_u en función de N, para los tipos de suelos que se indica:

Arcilla	$q_u = \frac{N}{8}$	(kg/cm ²) TERZAGHI
Arcilla limosa	$q_u = \frac{N}{5}$	(kg/cm ²) TERZAGHI y PECK
Arcilla arenosa limosa	$q_u = \frac{N}{7.5}$	(kg/cm ²) TERZAGHI y PECK
Loes	$q_u = \frac{N}{4.5}$	(kg/cm ²) TERZAGHI

Según GRAUX (1975) se puede ligar la resistencia a la compresión simple de arcillas con el valor de N por medio de:

$$q_u = 0.133 N \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (9)$$

Figura 11. Correlación N-qu y consistencia para arcillas Terzaghi y Peck (1948)



Fuente: SEMINARIO TALLER DE MECANICA DE SUELOS Y EXPLORACIÓN GEOTECNICA, 9 al 11 de setiembre de 1992

2.2.4 Algunas aplicaciones del ensayo de penetración estándar (S.P.T)

Suelos granulares

La capacidad de carga última (q_{ult}) de un suelo Terzaghi y Peck (1948) puede establecer a partir de las siguientes relaciones

$$q_{net} = 2NBR_W + 6(100 + N^2)DR_W \quad (\text{Zapatas cuadradas}) \quad (10)$$

$$q_{net} = 3N^2BR_W + 5(100 + N^2)DR_W \quad (\text{Zapatas continuas}) \quad (11)$$

(q_{ult}) Capacidad de carga última (lb/pie^2)

B: ancho de la fundación en pies

D: profundidad de la fundación (pie)

R_W Factores de corrección por la posición del Nivel freático propuesto por TENG (1962)

Suelo fino.

La tabla 6, proporciona una relación aproximada entre N, la consistencia y la capacidad de carga admisible (FS=3) de suelos arcillosos.

Tabla 6. Relaciones entre q_{adm} N, y la consistencia para suelos finos
TERZAGHI y PECK (1948)

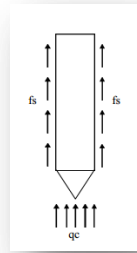
Consistencia del suelo	N (SPT)	Capacidad de carga Admisible (T/pe^2)	
		Zapatas cuadradas	Zapatas continuas
Muy blando	0 – 2	0.00 – 0.30	0.00 – 0.22
Blando	2 – 4	0.30 - 0.60	0.22 – 0.45
Mediano	4 – 8	0.60 – 1.20	0.45 – 0.90
Compacto	8 – 15	1.20 – 2.40	0.90 – 1.80
Muy compacto	15 – 30	2.40 – 4.80	1.80 – 3.60
Duro	30	>4.80	>3.6

Fuente: César Atala Abad (1992)

2.3 ENSAYO DE PENETRACION CONICA (CPT)

El Ensayo de penetración cónica CPT – (Cone Penetration Test) consiste en introducir en el suelo una pieza de forma cónica vinculada a una célula de carga que mide en forma continua la resistencia del suelo a la penetración de la puntera cónica (q_c). También mide en forma simultánea la resistencia a la fricción lateral (f_s) que ofrece el suelo al paso de una pieza cilíndrica ubicada inmediatamente arriba de la punta cónica.

Figura 12. Pieza cónica del instrumento para realizar el ensayo de CPT



FUENTE: Determinación de la estratigrafía del suelo utilizando el ensayo de penetración cónica en depósitos sedimentarios

La técnica de hincar barras en el suelo con fines geotécnicos es una práctica muy antigua, utilizada en sus comienzos en suelos blandos para localizar la profundidad de un estrato firme. Las primeras versiones de este sondeo fueron desarrolladas en Suecia en 1917 y consistía en hincar una puntera helicoidal, en parte por carga estática y en parte por rotación.

El ensayo de CPT como hoy se conoce pero con puntera mecánica, comenzó a ser utilizado en Holanda en 1934 para evaluar la capacidad de carga de pilotes hincadas. Posteriormente, en la década del 60, surge el CPT eléctrico en el cual la resistencia de punta (q_c) y la fricción lateral (f_s) son medidas eléctricamente a través de dos células de carga montadas con “strains gauges”.

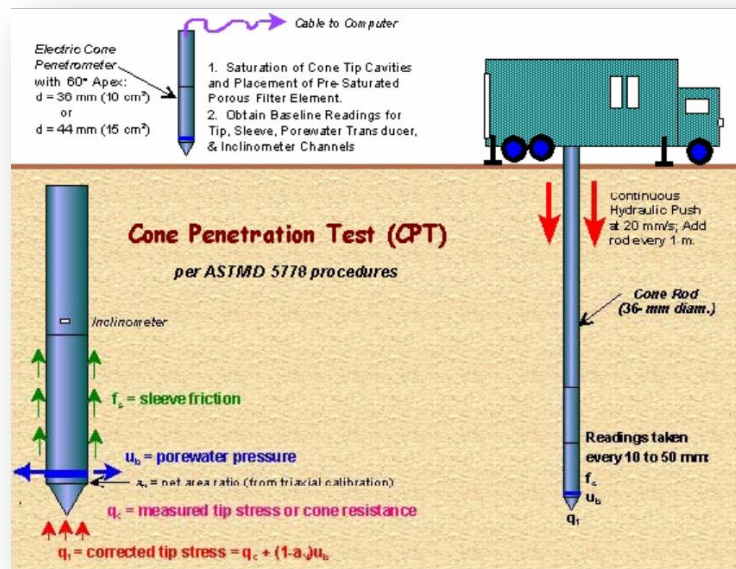
Desde sus inicios, este ensayo comenzó a ser utilizado como herramienta normal en las investigaciones geotécnicas de campo, como lo expresa Wroth (1984), especialmente para establecer rápida y económicamente el perfil del subsuelo. Según Meigh (1987) el CPT tiene tres aplicaciones principales:

1. determinar el perfil del subsuelo e identificar el tipo de suelo presente,

2. interpolar las condiciones del subsuelo entre sondeos de control, y
3. evaluar parámetros geotécnicos para estimar capacidad de carga y asentamientos. La identificación del tipo de suelo será tratado en este trabajo.

La determinación de parámetros geotécnicos se realiza mediante el uso de correlaciones empíricas.

Figura 13. Descripción del ensayo de CPT



FUENTE: Ensayo In-situ. Mecánica de suelos

Una de las grandes ventajas del CPT sobre el SPT, es el registro continuo del perfil estratigráfico. Para este caso en particular hemos escogido tres métodos para evaluar la susceptibilidad a la licuación.

2.3.1 Metodología propuesta por Youd y otros (1997).

Para calcular la CSR Youd y otros, (1997), proponen utilizar la expresión original de Seed y Idriss (1971) con la ecuación (12), con los siguientes valores de rd:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * \gamma_d \quad (12)$$

Donde

τ_{av} Es la tensión de corte promedio

a_{max} Aceleración pico horizontal de la superficie del terreno generada por sismo

g Aceleración de la gravedad

σ_{vo} y σ'_{vo} Son las tensiones totales y efectivas verticales respectivamente

Coefficiente de reducción de tensiones, debido a la flexibilidad del suelo

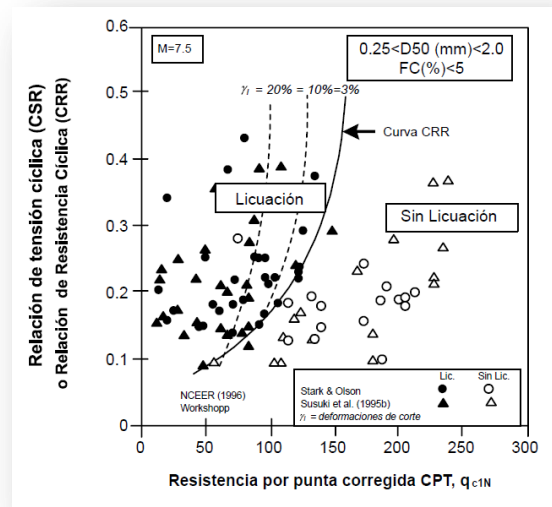
$$\gamma_d = 1.0 - 0.00765z \text{ para } z \leq 9.15 \text{ m} \quad (13)$$

$$\gamma_d = 1.174 - 0.0267z \text{ para } 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (14)$$

$$\gamma_d = 0.074 - 0.08z \text{ para } 23 < z \leq 30 \text{ m} \quad (15)$$

$$\gamma_d = 0.5 \text{ para } z > 30 \text{ m} \quad (16)$$

Figura 14. La curva mas recomendada es la de NCEER (1996), para el calculo del CRR a partir del CPT [Robertson & Wride, 1998]



Fuente: Jesus Garcia (2007)

La curva anterior corresponde a la curva propuesta por Robertson y Wride (1998), para la determinación directa de CRR para arenas limpias (Contenido de finos $\leq 5\%$) a partir de datos del CPT. La curva base propuesta en la figura (14), puede ser aproximada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Si } (q_{c1N})_{cs} < 50, CRR_{7,5} = 0.833 \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right) + 0.05 \quad (17)$$

$$\text{Si } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160, CRR_{7,5} = 93 \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right)^3 + 0.08 \quad (18)$$

Donde $(q_{c1N})_{cs}$ es la resistencia normalizada del cono.

2.3.2 Normalización de la resistencia de punta:

Para llegar a las ecuaciones anteriores es necesario normalizar la resistencia por punta la cual se realizó por medio de la siguiente fórmula:

$$q_{c1N} = C_Q \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \text{ donde } C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (19)$$

Donde C_Q es el factor para normalizar la resistencia del cono, P_a es 100 KPa o una presión atmosférica, y el exponente n depende de las características del material, su rango va de 0.5 para arenas limpias hasta 1.0 para arcillas.

Para obtener el valor de n es necesario clasificar el material por medio de la carta de Robertson para lo cual se asume primero un valor de 1.0 para el exponente n con este y con los valores de la resistencia a la penetración Q_c y fricción lateral f_s , se pueden calcular el índice de material I_c mediante las siguientes expresiones:

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (20)$$

$$Q = \left[\frac{q_c - \sigma_{vo}}{P_a} \right] \left[\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right]^n \quad y \quad F = \frac{100f_s}{q_c - \sigma_{vo}} \quad (21)$$

Entonces el valor final de n será igual a 0.5 para I_c menores de 2.6 que corresponde a materiales gruesos y para I_c mayores a 2.6 que corresponde a materiales finos se recomienda usar un valor de 0.7.

Con estos valores se vuelve a calcular I_c con el cual se hace la corrección a arena limpia como se describe a continuación.

La corrección final de la resistencia consiste en hacer equivalentes los valores de la resistencia normalizada a los de una arena limpia (corrección por contenido de finos) aplicando las siguientes expresiones:

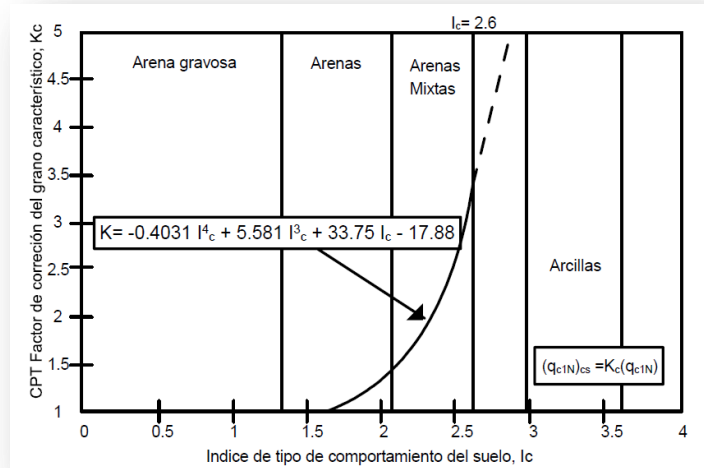
$$(q_{c1N})_{CS} = K_c * q_{c1N} \quad (22)$$

Donde K_c es el factor de corrección por características del grano, y esta definido por la siguiente expresión Robertson & Wride, (1998):

$$Para \ I_c \leq 1.64 \quad K_c = 1.0 \quad (23)$$

$$Para \ I_c > 1.64 \quad K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88 \quad (24)$$

Figura 15. Factor de corrección K_c , utilizado para la determinación de la resistencia CPT equivalente a una arena limpia Robertson & Wride, (1998)



FUENTE: JESUS GARCIA (2007)

La curva K_c definida por la expresión anterior, se presenta en la figura (16) mostrándose suelos con $I_c > 2.6$ son mas arcillosos.

2.3.3 Metodología propuesta por Lunne y otros (1997)

Para calcular la relación de tensiones cíclicas (CSR) Lunne (1997) propone utilizar la expresión de Seed y Idriss (1971), ligeramente modificada. La expresión final de CSR, queda de la siguiente manera:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 MWF \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * \gamma_d \quad (25)$$

Donde $MWF = \frac{M^{2.56}}{173}$ es el factor de magnitud del sismo y

$$\gamma_d = 1.0 - 0.015z \text{ para } z < 25 \text{ m.}$$

Los autores recomiendan utilizar la curva CRR propuesta por Robertson & Fear, (1995) ilustrado en la figura(16), la cual considera una probabilidad de ocurrencia de licuación cíclica de cerca del 20% o menos; dicha curva similar a la presentada en la figura(14), se desarrolló bajo las siguientes hipótesis:

- Depósitos de arena limpia del holoceno
- Magnitud de sismo igual a 7.5
- Terreno de poca pendiente
- El espesor del deposito no supera los 15 metros

La curva CRR propuesta en la figura (16) presentada en la expresión:

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \text{ para } 30 < (q_{c1N})_{cs} < 160 \quad (26)$$

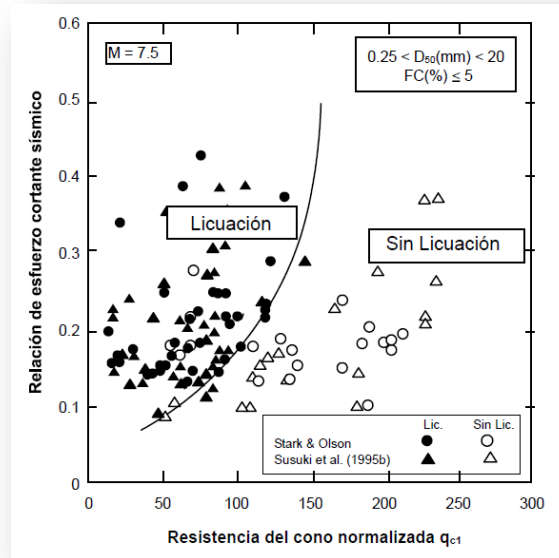
Donde $(q_{c1N})_{cs}$ es la resistencia normalizada (adimensional), del cono a 100 KPa de una arena limpia, dada por la ecuación (10). Nótese que esta expresión coincide, salvo en el rango de aplicación, con la ecuación (17).

Robertson y Campanella (1986) propusieron una modificación a la grafica para estimar el CRR de arenas limpias y arenas limosas con base en CPT usando para ello la resistencia normalizada:

$$q_{c1} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) * \left(\frac{q_c}{\sigma'_{vo}} \right)^{0.5} \quad (27)$$

Donde q_c es la resistencia normalizada del cono (adimensional) y P_a es la presión atmosférica (100 Kpa).

Figura 16. Mediciones de campo de licuación cíclica con la curva de resistencia CPT para arenas limpias Robertson & Fear,(1995)



Fuente: JESUS GARCIA (2007)

Para hacer equivalente los valores medidos de resistencia normalizada de materiales con contenido de finos mayores al 5%, el método propone estimar el contenido de finos aplicando la expresión sugerida por Robertson (1990):

$$FC \% = 1.75I_c^3 - 3.7 \quad (28)$$

$$I_c = [(3.47 - \log Q_t)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (29)$$

$$Q_t = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{\sigma'_{vo}} \text{ y } F = 100 \left[\frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} \right] \quad (30)$$

2.3.4 Propuesta de Juang (2003)

Una de las más recientes e interesantes propuestas para evaluar el potencial de licuación de depósitos arenosos fue desarrollada por Juang y otros (2003). En ella los autores realizan un análisis similar a los ilustrados con anterioridad. Estos

registros históricos son analizados mediante redes neuronales, llegando a plantear la curva límite que separa los casos licuables de los no licuables. El procedimiento general de cálculo es el siguiente:

Para calcular la CSR Juang (2003) propone usar la expresión de Youd (2001) y Seed y Idriss (1971) de la siguiente forma:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{1}{MSF} \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * \gamma_d \quad (31)$$

Donde MSF es el factor de escala de la magnitud del sismo propuesta por Idriss y citado por Youd (2001)

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5} \right)^{-2.56} \quad (32)$$

Donde M_w es la magnitud del momento.

La variable γ_d es calculada según la expresión propuesta por Liao (1988): en las ecuaciones (13) y (14)

El modelo de redes neuronales desarrollado por Juang (2003) se fundamenta en la siguiente expresión:

$$LI = f_{LI}(q_{c1N}, I_c, \sigma'_v, CSR_{7.5}) \quad (33)$$

Donde:

LI Es el índice de licuación ($LI = 1$ el caso es licuable; $LI = 0$ el caso es no licuable) q_{c1N} es la resistencia normalizada, para calcularla el autor propone utilizar la expresión recomendada por Robertson y Wride (1998)

$$q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{100}\right) * \left(\frac{\sigma'_v}{100}\right)^{0.5} \quad (34)$$

I_c Es el índice del material, el cual lo define como modificada de Lunne (1997):

$$I_c = [(3.47 - \log Q_t)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (35)$$

El fin del modelo es poder establecer la mejor relación que separe los casos licuables y no licuables, En la Figura (17) se muestran todos los casos modelados y varias curvas límites para diferentes probabilidades de licuación. Los autores proponen finalmente utilizar la curva correspondiente a un 45% de probabilidad de licuación, la cual está representada por la siguiente expresión:

$$CRR = C_\sigma \exp \left[-2.957 + 1.264 \left(\frac{\sigma'_{\square\square}}{100} \right)^{1.25} \right] \quad (36)$$

Donde:

$$\sigma'_{\square\square} = -0.016 \left(\frac{\sigma'_{\square\square}}{100} \right)^3 + 0.178 \left(\frac{\sigma'_{\square\square}}{100} \right)^2 - 0.063 \left(\frac{\sigma'_{\square\square}}{100} \right) + 0.903 \quad (37)$$

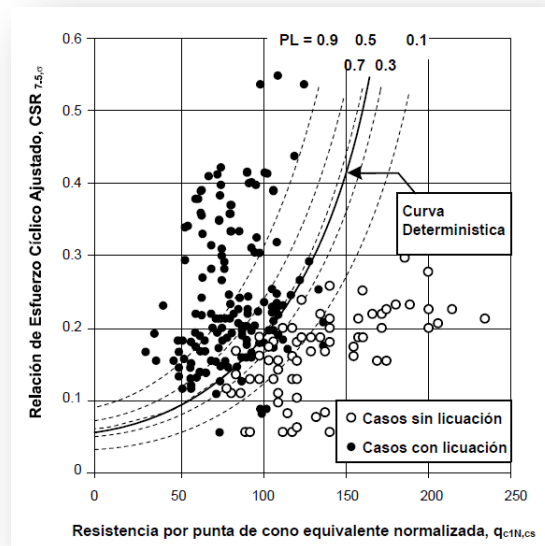
Juang (2003). Aclara que las curvas de la figura (17) están dadas para $\sigma'_{\square\square} = 100$ kPa, $\sigma_{\square\square} = 7.5$, y CRR calculado en función de la resistencia normalizada. Debido a lo anterior, es necesario ajustar la relación de tensión cíclica, mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{\square\square} 7.5_{\square} = \frac{\sigma_{\square\square} 7.5}{\sigma_{\square\square}} \quad (38)$$

Donde $\sigma_{\square\square} 7.5_{\square}$ es la relación de tensiones cíclicas ajustada por el nivel de tensiones. En la figura (18) se presentan las curvas límites para tres tipos de suelos, utilizando el método propuesto por Robertson & Wride, (1998) y el método propuesto por Juang (2003). A simple vista los resultados anteriores muestran que los dos métodos son similares aunque las curvas no se obtuvieron bajo las

mismas condiciones (El α difiere ligeramente, CRR es una función del α' en Juang (2003)., mientras en Robertson (1998) no, finalmente en el método de Juang (2003) la curva límite esta diseñada para un 45% de probabilidad, mientras que en Robertson (1998) la curva esta diseñada para una probabilidad del 50%.

Figura 17. Curvas determinísticas y probabilística para la obtención del CSR
Juang (2003)



FUENTE: JESUS GARCIA (2007)

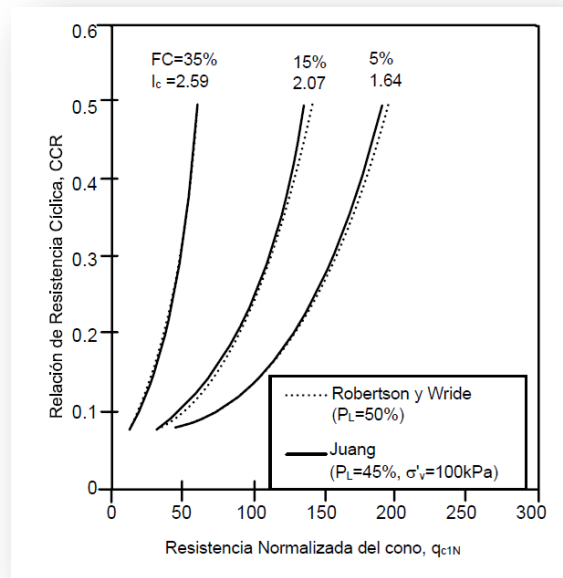
$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{0}{\alpha}\right)} \quad (39)$$

Donde P_L es la probabilidad de licuación, $F_s = \frac{CRR}{CSR}$ es el factor de seguridad, y A y B se obtienen del análisis de funciones de densidad de probabilidades de la base de datos del CPT, tomando los siguientes valores A=0.96 y B=4.5.

Como el modelo está fundamentado en probabilidades, Juang (2003) transforma su modelo determinístico a probabilístico, mediante la teoría Bayesiana, de

manera que la probabilidad de licuación de un sitio, para un sismo dado, esta dado por Juang (1999).

Figura 18. Comparación de las curvas límites mediante dos técnicas Juang (2003)



FUENTE: JESUS GARCIA (2007)

2.4 ENSAYO DE VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE (V_s)

La determinación de la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) es de gran utilidad en la geotecnia, ya que con este valor se puede:

1. El módulo de rigidez al esfuerzo cortante (G),
2. inferir densidad en campo,
- 3) estimar el estado de esfuerzos,
- 4) estimar la cementación natural o,

5) evaluar la alteración de una muestra Stokoe (1989).

La velocidad de onda de corte V_s es uno de los parámetros más importantes para la caracterización dinámica de suelos, ya que con base en este parámetro es posible establecer y analizar el comportamiento de depósitos de suelo ante cargas cíclicas. En Colombia, la caracterización de los suelos con base en la velocidad de onda de corte V_s se encuentra incluida dentro de las regulaciones para el diseño sísmo resistente descritas en los títulos A y H del Reglamento Colombiano de Construcción Sísmo Resistente 2010.

Figura 19. Clasificación de los perfiles de suelos

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\bar{V}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > $\bar{V}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{q}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\bar{V}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈ 1 kgf/cm ²) > $\bar{q}_u \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > \bar{V}_s
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ 50 kPa (≈ 0.50 kgf/cm ²) > \bar{q}_u
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3$ m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5$ m con Índice de Plasticidad $IP > 75$) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 36$ m)	

FUENTE: Norma sísmo resistente de Colombia. Tabla A-2.4.1

La relación entre V_s y el modulo de corte (G) esta dada por la siguiente ecuación:

$$G = \rho \cdot V_s^2 \quad (39)$$

En donde:

$\rho = \text{densidad del material}$

$V_s = \text{velocidad de onda de corte}$

Dado que las deformaciones causadas por las pruebas geofísicas son muy pequeñas, el módulo cortante calculado con valores de V_s obtenido de dichas pruebas corresponde al valor máximo (G_0), el cual sufre una degradación dependiente de las características geotécnicas del suelo y de la deformación inducida. Este tipo de comportamiento se conoce como elástico no-lineal y está asociado con la variación de las propiedades mecánicas de suelos y rocas blandas ante sollicitaciones sucesivas de carga y descarga.

2.4.1 Análisis de licuación basado en el ensayo de ondas de corte (vs)

Dobry y colaboradores (1982) concluyeron que para la predicción de los incrementos de la presión de poro y la licuación, las deformaciones cíclicamente inducidas son más significativas que los esfuerzos cíclicamente inducidos. Por lo tanto se recomienda un enfoque basado en pequeñas deformaciones. Hasta ahora, el modo más rápido y confiable para determinar pequeñas deformaciones in-situ es mediante mediciones de campo de velocidades de ondas de corte, V_s . Además, considerando que G_{max} depende directamente de V_s hay bases teóricas para correlacionar resistencia a la licuación con V_s .

Para este estudio, se utilizó la correlación entre CRR y la velocidad de onda de corte de sobrecarga normalizada, V_s , propuesta por Andrus y Stokoe (1997):

$$\log_{7.5} G_{max} = 0.022 \left(\frac{CRR}{100} \right)^2 + 2.8 \left(\frac{1}{V_s^{*2} - 0.01} - \frac{1}{V_s^{*2}} \right) \quad (40)$$

Donde:

$G_{max} = \text{Modulo de rigidez al esfuerzo cortante maximo}$

$CRR = \text{Cyclic stress Ratio}$

$$\sigma_{\sigma 1} = \frac{\sigma_{\sigma}}{(\sigma_{\sigma})^{0.25}} \quad (41)$$

Para contenido de finos, $\sigma_{\sigma} \leq 5\%$ $\sigma_{\sigma 1}^* = 215 \sigma_{\sigma} / \sigma$ (42)

Para contenido de finos, $5\% < \sigma_{\sigma} < 35\%$

$$\sigma_{\sigma 1}^* = [215 - 0.5(\sigma_{\sigma} - 5)] \sigma_{\sigma} / \sigma \quad (43)$$

3. METODO PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE LICUEFACCION

Normalmente, el potencial de licuefacción se presenta en términos de un factor de seguridad. El cálculo de este factor de seguridad es el paso final en una evaluación de riesgo de licuefacción. Si la relación de tensión cíclica (CSR) en la ecuación (12) es mayor que la relación de resistencia cíclica (CRR), la licuefacción se iniciará durante el terremoto, por el contrario, si la CSR es menor que la CRR, entonces la licuefacción no se inicia. Como señala Green (2001), el factor de seguridad se define como la razón entre capacidad y demanda

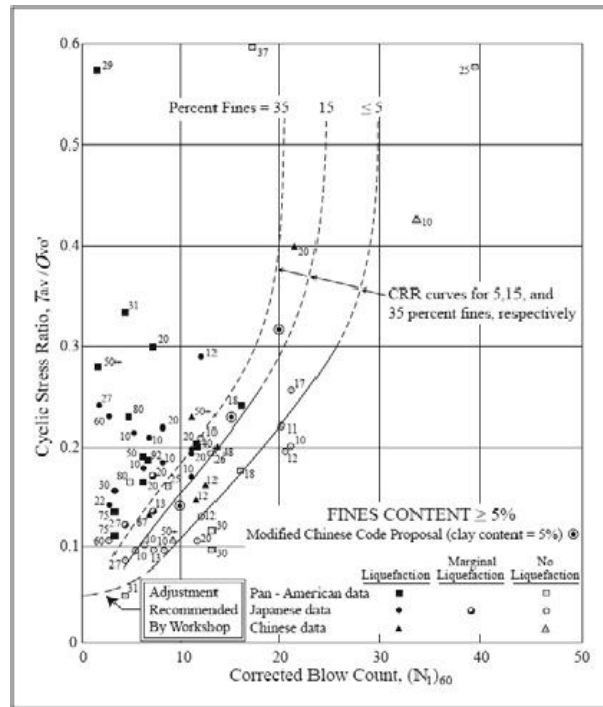
$$FS = \frac{\text{capacidad}}{\text{demanda}}$$

O en términos de relaciones cíclicas (Day, 2002):

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

En el desarrollo del procedimiento simplificado, Seed e Idriss compilaron una gran base de datos de sitios donde los efectos de la licuefacción fueron observados o no, durante terremotos con magnitudes cercanas a 7,5, La figura 20 grafica los valores de la relación de tensión cíclica (CSR) en función de los valores corregidos del ensayo de penetración estándar $(N_1)_{60}$

Figura 20. Curvas para calcular la relación CRR a partir del SPT (Youd et al., 1997)



Fuente: César Atala Abad (1992)

De acuerdo con la gráfica podemos obtener los valores de CRR, teniendo en cuenta los valores de $(N_1)_{60}$ de la ecuación 3, Donde $((N_1)_{60}$ es la resistencia corregida, N_m es la resistencia de penetración medida, C_N es un factor de corrección por profundidad el cual puede obtenerse de la ecuación (8) según Liao y Whitman (1986) y/o Skempton (1986) en la ecuación (8a), E_m es la energía del martillo, cuya relación de energía usualmente varía en diferentes países, en Colombia se sugiere el 45% y E_{ff} es la energía teórica del martillo en caída libre que es equivalente a 60%.

Para ajustar la curva base simplificada para magnitudes diferentes de 7,5, Seed e Idriss(1971) introdujeron factores de corrección, los que fueron llamados factores de escala de magnitud (MSF, Magnitud Scaling Factor). Estos factores se utilizan en el gráfico CSR en función de $(N_1)_{60}$.

La ecuación de la relación de carga cíclica

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * \gamma d \quad (45a)$$

γd es un factor de profundidad relacionado en las ecuaciones (13) al (15)

También se puede usar el factor de escala para definir la relación de carga cíclica (Green, 2001)

$$CSR_{corr} = \frac{CSR_M}{MSF} \quad (45b)$$

Donde, M depende de la magnitud del sismo

Los factores de escala de magnitud sirven para cuantificar la carga sísmica, o la resistencia del suelo a la licuefacción, considerando otros parámetros sísmicos.

Los valores MSF pueden ser obtenidos para cualquier magnitud usando la siguiente ecuación (47). Otra aproximación, señalada por Kramer y Stewart (2004) es aplicar directamente la siguiente fórmula:

$$MSF = \left(\frac{7.5}{M} \right)^n \quad (47)$$

Donde n es igual a 2,93 para magnitudes menores o iguales a 7,5 y es igual a 2,56 para magnitudes mayores de 7,5

La licuefacción se inicia si el factor de seguridad es menor que 1. A mayor factor de seguridad, mayor es la resistencia del suelo a la licuefacción. Sin embargo, un suelo con un factor de seguridad ligeramente superior a 1, podría licuarse durante un terremoto. En general, se considera seguro un valor del factor de seguridad mayor que 1,3.

Además, según Kramer y Stewart (2004), es importante notar que este factor de seguridad no diferencia entre licuefacción de flujo y movilidad cíclica, y tampoco aporta información sobre el comportamiento del suelo después de la licuefacción. Como este procedimiento está basado en los datos históricos donde se han

producido los efectos de la licuefacción, como fallas de flujo, volcanes de arena o deslizamientos, provee de una indicación de la probabilidad de que estos efectos ocurran en el sitio de interés.

3.1 MEDIDAS PARA MITIGAR LA LICUEFACCION

Las posibles medidas de mitigación de la licuefacción incluyen:

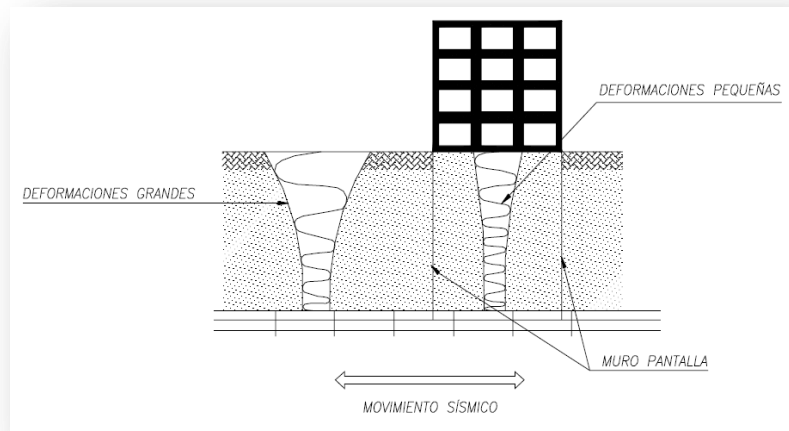
Evitar áreas donde pueda ocurrir la licuefacción y el flujo lateral.

- Cambiar el trazado horizontal de las tuberías.
- Cambiar el trazado vertical de las tuberías mediante el uso de la perforación direccional para que crucen los ríos por debajo de los materiales licuables.

Estabilizar el material licuable.

1. **Por remplazo:** Reemplazar el material con relleno compactado. Hay que observar el ancho adecuado para que resista el movimiento de los suelos licuables contiguos.
2. **Por confinamiento:**
 - 2.1 **PILOTES Y PANTALLAS PRE EXCAVADAS:** La colocación de pilotes y pantallas a presión o sin ella – rellenos en cemento, cal, asfalto reducen el potencial de licuación.

Figura 21. Pilotes y pantallas pre-excavadas



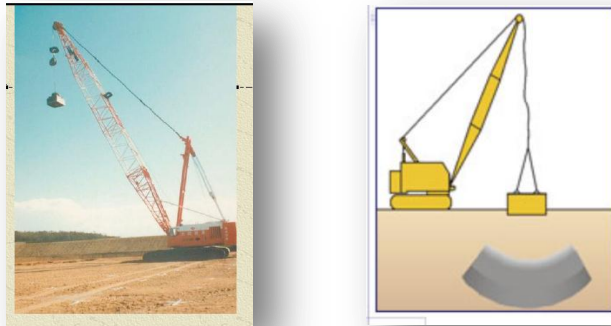
FUENTE: Carlos Enriquez Pantaleon (2007)

3 Por vibración:

3.1 COMPACTACIÓN DINÁMICA: Mediante una repetida aplicación del impacto de un gran peso dejado caer desde cierta altura con una guía preparada para el efecto. La licuefacción local inicia bajo el punto de caída, permitiendo densificación del suelo y cuando el aumento de la presión de poros producido por compactación dinámica se disipa, se produce la densificación adicional. Sin embargo este procedimiento es bastante invasivo, por lo que la superficie del terreno puede requerir de una posterior compactación superficial y de adición de más material, después de la compactación dinámica. En cada impacto se originan ondas de choque de gran energía, que originan un fuerte estado tensional en el suelo, con algunos efectos simultáneos:

- ✓ Reducción de vacíos
- ✓ Licuefacción parcial instantánea
- ✓ Formación de canales preferenciales de drenaje
- ✓ Disipación del agua de los poros.

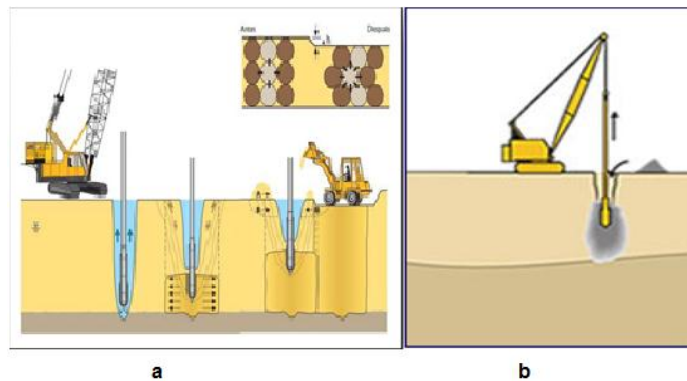
Figura 22. Compactación dinámica



FUENTE: Inyecciones y tratamientos en suelos y rocas

3.2 VIBRO FLOTACIÓN: Usar un vibrador para realizar agujeros en el terreno con la ayuda de un chorro de agua a presión con espaciamientos se vuelven a llenar con arena luego de la extracción.

Figura 23. Vibro flotación



a. Mejora del suelo Vg arquitecto **b.** Mejora de terrenos potencialmente licuables
con FUENTE: Carlos Enriquez Pantaleon (2007)

Durante la aplicación de la vibro flotación, en suelos granulares no cohesivos, las vibraciones anulan o disminuyen temporalmente las fuerzas Entre las partículas, y la gravedad produce un reordenamiento de las mismas a una estructura mas densa.

3.3 VIBRO-DENSIFICACION: Es una densificación por vibración que opera por medio de una licuación moderada que produce densificación del depósito.

3.4 VIBRO-COMPACTACION: Vibración bajo agua que produce la densificación de material; las aberturas son rellenadas luego con material compacto. También conocida como vibro flotación, es usada para densificar suelos limpios y sin cohesión. La acción del vibrador, usualmente acompañada por la inyección de agua a chorros, reduce las fuerzas inter-granulares entre las partículas del suelo, permitiéndoles moverse en una configuración más gruesa, logrando típicamente una densidad relativa de 70 a 85 por ciento. La compactación es lograda por encima y debajo de la capa freática.

A medida que el vibrador va descendiendo, el agua regresa a la superficie, arrastrando el suelo amasado. Cuando se alcanza la profundidad deseada se cierra la salida del agua en el extremo y se vierte el relleno de piedra partida, arena o grava.

En la siguiente etapa se abren los conductos de agua superiores del vibrador, y con ello se arrastra el material de relleno hasta el fondo del hueco. Para compactarlo, se levanta y hunde alternadamente el vibrador en el material de relleno, hasta formar una solida columna que alcance la superficie del suelo. Esta columna queda fuertemente adherida a las paredes del subsuelo.

Figura 24. Vibro compactación



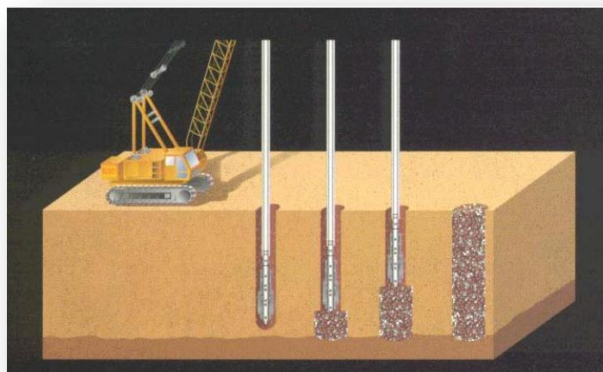
FUENTE: Salon virtual de la arquitectura

3.5 VIBRO-REEMPLAZO: Huecos perforados a golpes, son luego rellenos con grava arena y piedra, con o sin agentes cementantes.

3.6

Este método consiste en una vibro de compactación en profundidad del suelo, con posterior relleno del hueco con material grueso, el cual se debe finalmente compactar. Para ello se hace penetrar en el suelo un cilindro vibratorio en su extremo inferior en punta para facilitar la perforación.

Figura 25. Vibro reemplazo



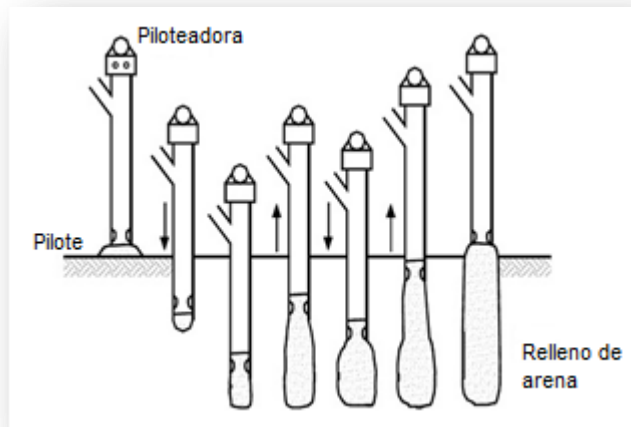
FUENTE: Carlos Enriquez Eantaleon (2007)

Las vibraciones son producidas dentro del cilindro por un peso excéntrico que desarrolla una fuerza centrífuga horizontal de 1800 a 3000 Rev. /min. La longitud básica del vibrador es de unos 5 mts y se le pueden agregar sucesivamente tubos roscados cuando se necesita mayor profundidad.

Este método es especialmente indicado para compactar suelos blandos; las columnas de piedra partida sirven asimismo como drenes y disminuyen el potencial de licuefacción.

3.7 PILOTES DE COMPACTACION: Procede mediante el hincado con vibración de pilotes de desplazamiento.

Figura 26. Pilotes de compactación

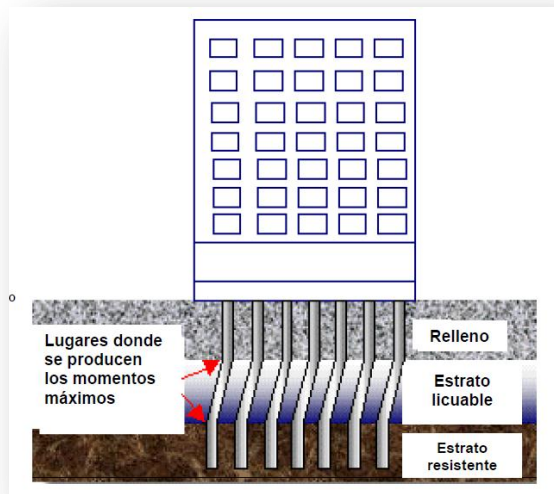


FUENTE: Geotecnia de taludes

Los pilotes de compactación son generalmente de arena o de balastro y cumplen las siguientes funciones:

- ✓ Estabilizan el suelo, densificándolo
- ✓ Actúan como drenes verticales acelerando el proceso de consolidación del suelo.

Figura 27. Pilotes de compactación



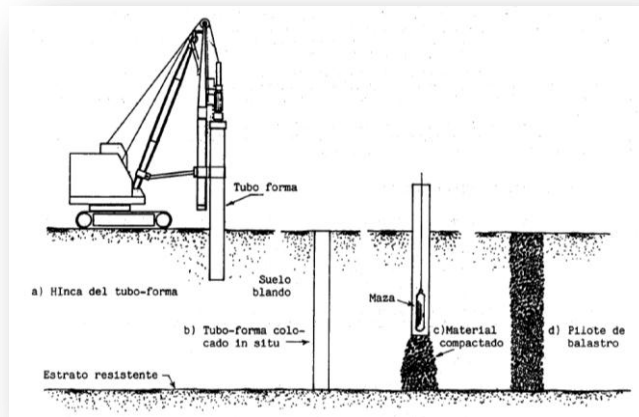
FUENTE: Carlos Enriquez Eantaleon (2007)

Adicionalmente, se han utilizado en algunas ocasiones pilotes de suelo-cemento para compactar suelos blandos limosos.

3.7.1 PILOTES DE ARENA: Sirven para compactar y drenar suelos arenosos sueltos, o mixtos con un contenido menor al 35% de finos, y pueden alcanzar grandes profundidades. Se construyen hundiendo en el terreno a mejorar, por percusión, un tubo con punta removible hasta la profundidad deseada. Luego se llena el tubo con una arena determinada granulometría y se va extrayendo lentamente el tubo, abriendo su extremo inferior. La arena rellena el hueco por gravedad, o bien ayudada por chorros de aire comprimido que se aplican a presión en la parte superior cerrada del tubo. Otra forma de compactar la arena es mediante golpes de maza, la manera mas económica es utilizar arena en lugar de concreto.

3.7.2 PILOTE DE BALASTRO: En suelos cohesivos blandos, tales como las arcillas fangosas, en limos arcillosos o con inclusiones de turba, se utiliza la piedra triturada o la grava en lugar de arena, para construir pilotes de compactación. El método es similar al usado en pilotes de arena, mediante la hincada de un tubo el cual luego se rellena de material grano grueso o balastro. Los pilotes de balastro deben apoyar sobre suelo firme, para su mejor comportamiento. Cuanto mayor sea su diámetro y la cercanía entre pilotes, será mejor la densificación lograda del suelo a mejorar, y el drenaje que produce.

Figura 28. Pilotes de balastro



FUENTE: Maria Graciela Fratelli (1963)

3.8 EXPLOSIONES Y VOLADURAS: Con un patrón determinado y a una profundidad relacionada con la magnitud del problema, pueden inducir la licuación limitada y producir la densificación del material en profundidad.

Los suelos recomendados para la aplicación de este método son las arenas y los suelos granulares en general, para los cuales la densificación se obtiene haciendo estallar cartuchos de dinamita, ubicados en huecos excavados a tal fin. Generalmente se hacen detonar varios cartuchos sucesivamente, con intervalos breves entre cada explosión, para minimizar la superposición de los efectos

vibratorios que producen. Los cartuchos se colocan simétricamente, en los vértices de una malla cuadrada de unos 5m de lado.

Figura 29. Explosiones y voladuras



FUENTE: Agencia para la promoción de la salud y el trabajo

Con ello se logra producir fuertes presiones instantáneas en puntos discretos del terreno. Entre las ventajas que ofrece este método esta el bajo costo de la operación, y la rapidez de la ejecución. Por otra parte, la profundidad alcanzada en la densificación se selecciona a voluntad, dependiendo del lugar donde se ubiquen los cartuchos. Los suelos compactados mediante explosivos han demostrado un buen comportamiento durante los sismos, pues en ellos ha disminuido el peligro de licuefacción potencial. En general, los resultados obtenidos son similares a los de la vibro flotación.

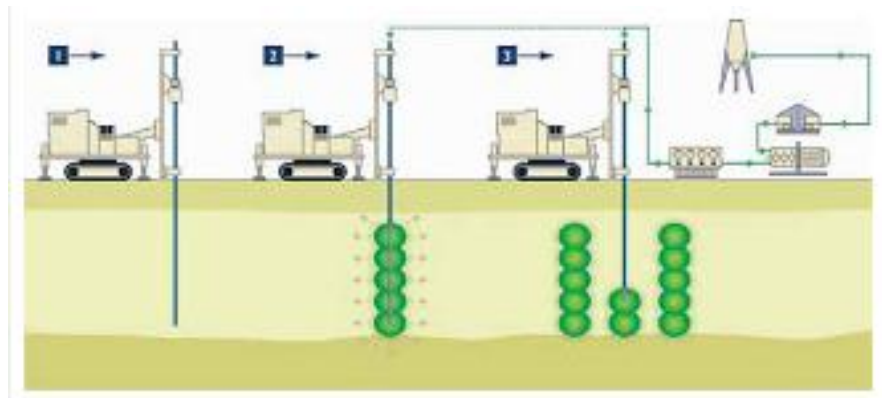
El asentamiento producido por las detonaciones se logra prácticamente en forma inmediata al realizar la operación y se completa solo unas pocas horas después, en los estratos subyacentes, si bien en el caso de suelos arenosos muy profundos, el efecto puede tardar una o dos semanas.

El método se mejora si se complementa con drenajes verticales o sobrecargas posteriores. Entre los inconvenientes que se pueden mencionar es que la

compactación no se produce en forma homogénea en todo el suelo, sino en puntos discretos del mismo. Sin embargo, localmente, el efecto puede ser muy eficaz, teniendo la precaución de aplicarlo a suficiente distancia de los edificios circundantes para no afectar la estabilidad y seguridad.

3.9 INYECCIONES DE COMPACTACION: Inyecciones de una mezcla grueso y viscosa de material que produce el desplazamiento y la compactación del depósito.

Figura 30. Inyecciones de compactación



1. instalación de la tubería. 2. Inyección de compactación. 3. compactación por fases.

FUENTE: Mejora del suelo Vg arquitecto

3.10 ESTRIBOS DE SOBRECARGA: Que consiste en aumentar la resistencia a la licuación aumentando, con sobrecarga, la presión afectiva de confinamiento.

Colocar los cimientos por debajo del material licuable.

1. PILOTES RADICALES: A veces llamados banderillas, con diámetro reducido, perforados e inyectados, pueden reducir el potencial de licuación.
2. INYECCIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS: Inyección a presión de elementos químicos cementantes del depósito arenoso grueso.

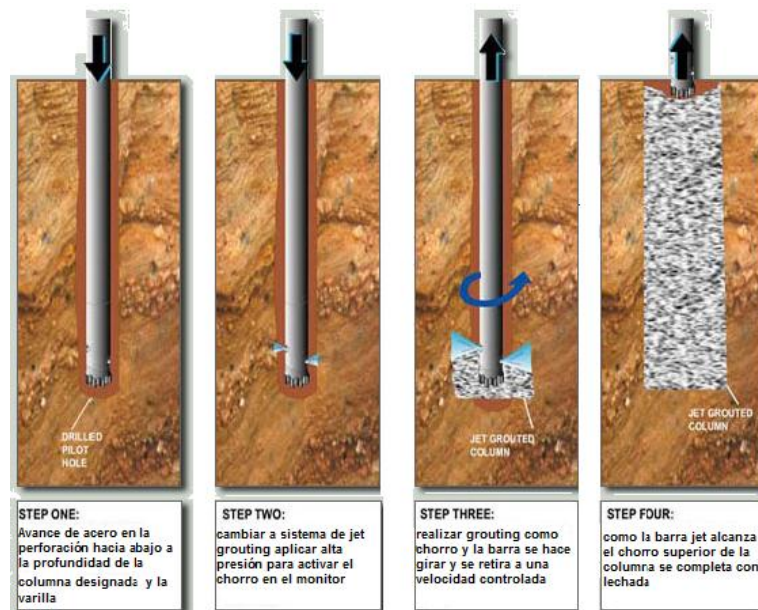
Figura 31. Inyección de elementos químicos



FUENTE: Mejora del suelo Vg arquitecto

3. JET GROUTING: Que excava, mezcla y rellena materiales adicionales, incluso cementantes mediante chorros de agua a alta presión. La inyección de grouting de compactación es una técnica por medio de la cual una mezcla de agua, arena y cemento es inyectada a presión a través de un suelo granular. Este mortero forma un bulbo que desplaza y densifica el suelo adyacente. Este método es una buena solución si se requiere mejorar una fundación existente, ya que es posible hacer estas inyecciones desde el lado o en un ángulo inclinado para alcanzar el suelo bajo las fundaciones.

Figura 32. Jet grouting



FUENTE: Geo construction Layne

4. DRENAJES: Drenajes y sub-drenajes de grava, gravilla, drenajes tipo “Mecha” (WICK) y pozos para mantener baja la presión del agua y disipar eventuales excesos.
5. VITRIFICACION IN-SITU: Consiste en la fundición del suelo mediante chorros de fuego que transforman el material en roca.

Excavar hasta el material adecuado.

- ✓ Agregar peso a la estructura para lograr una flotabilidad neutral.
- ✓ Agregar masa de concreto.

Usar material flexible al movimiento.

- ✓ Losa pesada, conexiones flexibles de tuberías.
- ✓ Tubería con uniones fijas, dúctiles y flexibles.

Evitar el lugar

AMENAZAS SISMICAS DEL SITIO

En adición a las vibraciones del terreno, el potencial de amenazas por desplazamiento del terreno en un sitio debe evaluarse. La evaluación debe incluir un estimativo de las amenazas en términos del movimiento del terreno.

Las condiciones del subsuelo y del agua subterránea se deben describir con suficiente detalle para evaluar la presencia de materiales potencialmente licuables en los suelos de cimentación del edificio. Si se sospecha de la presencia de suelos licuables se requiere información del tipo de suelo, densidad, profundidad del nivel freático y fluctuaciones estacionales, pendiente del terreno proximidad a la cara libre de un accidente topográfico y evaluación de los desplazamientos o corrimientos laterales y verticales.

La amenaza de licuación se debe evaluar inicialmente para establecer si el sitio es claramente libre de esta amenaza, o por el contrario se debe realizar una investigación detallada. Generalmente se puede suponer que la amenaza de licuación no existe en los sitios en donde, con suelos similares, no ha ocurrido históricamente la licuación, y si se cumple algunos de los siguientes criterios:

1. Los materiales del subsuelo son roca o tiene muy baja susceptibilidad a la licuación, basado en el ambiente general de deposición y edad geológica del depósito.
2. El subsuelo está constituido de arcillas duras o limos arcillosos, a menos que sean altamente sensitivos basados en experiencia local.

3. Los suelos no cohesivos (arenas, limos, o gravas) tienen una mínima resistencia normalizada en el Ensayo Penetración Estándar (SPT), N160, de 30 golpes/pie para profundidades bajo la tabla de agua, o con un contenido de arcilla mayor de 20%. El parámetro N160 se define como el valor de N del SPT normalizado a una sobre presión efectiva de 100kPa (presión atmosférica =PA). Se considera arcilla al suelo cuyas partículas son de diámetro nominal $\leq 0.002 \text{ mm}$.
4. El nivel freático esta por lo menos a 10m bajo el cimiento más profundo, o 15 m bajo la superficie del terreno, incluyendo consideraciones para ascensos estacionales e históricos, y si algún talud o condición de borde libre en la vecindad no se extiende bajo la elevación del agua subterránea en el sitio.
5. Si aplicando los criterio mencionados existe alguna posibilidad de amenaza por licuación, entonces se requiere una evaluación detallada del potencial de licuación.

MITIGACION DE LAS AMENAZAS SISMICAS DEL SITIO H.10

Existen metodologías para mejorar el comportamiento sísmico bajo la influencia de algunas amenazas, a costo razonable; sin embargo, algunas amenazas pueden ser tan severas que son económicamente inviables para tomar medidas de reducción de riesgo.

La efectividad de las medidas para mitigar la amenaza de licuación deber ser evaluada por el ingeniero estructural en el contexto del comportamiento global del sistema de la estructura. Si se ha determinado que la licuación es de probable ocurrencia, y las consecuencias en términos de desplazamientos horizontales y verticales no son aceptables, entonces tres tipos generales de medidas de mitigación deberán considerarse, individuales o en combinación:

1. Modificar la estructura: A la estructura se le puede mejorar su resistencia contra las deformaciones del terreno que se predice ocasionara la licuación. Esta solución es viable para pequeñas deformaciones del terreno.

2. Modificar la cimentación: El sistema de cimentación se puede modificar para reducir o eliminar el potencial de grandes desplazamientos de los cimientos; por ejemplo, sub-murando los cimientos superficiales existentes hasta un estrato no licuable más profundo. Alternativamente un sistema de cimientos superficiales se puede hacer más rígido con el fin de reducir los movimientos diferenciales del terreno transmitidos a la estructura.
3. Modificar las condiciones del suelo: Un número de medidas para mejorar el terreno se pueden considerar para reducir o eliminar el potencial de licuación y sus efectos. Algunas de estas medidas no son aplicables bajo un edificio existente por los efectos del procedimiento sobre la estructura. Si la licuación ocasiona corrimiento laterales en el sitio del edificio, entonces mitigar la amenaza de licuación es más difícil, ya que los movimientos bajo la estructura pueden depender del comportamiento de la masa de suelo a distancias más allá de la estructura, así como inmediatamente debajo de él. Entonces las medidas para prevenir corrimientos laterales pueden, en algunos casos, requerir la estabilización de grandes volúmenes de suelo y/o la construcción de estructuras de contención que puedan reducir el potencial para, o la cantidad de movimientos laterales.

3.2 APLICACIÓN DEL SPT PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE OCURRENCIA DE LICUACIÓN. CASO DE ESTUDIO: CAMPO CASABE EN EL MUNICIPIO DE YONDÓ, ANTIOQUIA.

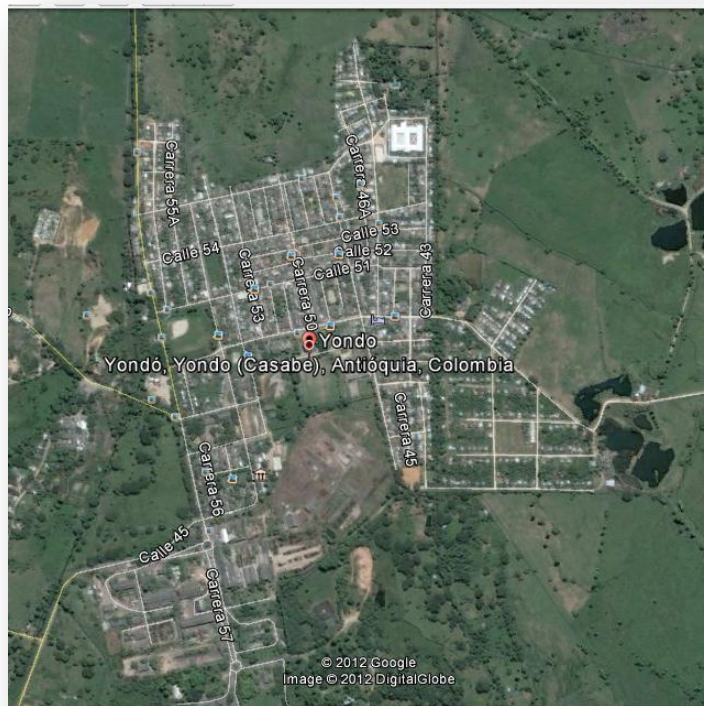
El sitio estudiado está localizado en Campo Casabe, municipio de Yondó, situado sobre la margen izquierda del río Magdalena, al frente de Barrancabermeja.

Yondó, es uno de los más calurosos municipios antioqueños, ubicado sobre la margen del río Magdalena frente al puerto de Barrancabermeja, en el vecino departamento de Santander. Número de habitantes: 14.597, extensión en Km²: 1.881, altura sobre el nivel del mar en metros: 74, Clima: Caliente, Temperatura en

grados centígrados: 28, temperatura en grados centígrados: 28, distancia desde Medellín en Km: 319, distancia desde Medellín en tiempo: 6 horas

En el sitio se realizaron perforaciones de 15 metros de profundidad con el fin de estudiar la posibilidad de colocar una estación de bombeo de productos del petróleo, de las cuales se han tomado dos de ellas para realizar los análisis de la posibilidad de ocurrencia del fenómeno. Los sondeos y los resultados de los ensayos de laboratorio para caracterización y clasificación de los suelos se presentan en anexo.

Figura 33. Imagen satelital Yondo (Casabe), Antioquia



Fuente: Google Earth

3.2.1 Geología del sector

En la zona de estudio la geología local está representada por depósitos sedimentarios que van desde el Pleistoceno y depósitos recientes correspondientes a materiales transportados y depositados por las corrientes en terrazas y aluviones recientes del río Magdalena y sus afluentes.

Grupo Mesa (Tqpm)

En el área de estudio esta unidad está representada por una sucesión de gravas arenosas, de cantos redondeados y niveles arcillosos de coloración rojiza. Esta unidad se encuentra disectada por pequeños afluentes y escorrentías que drenan hacia los humedales y el río Magdalena. Se compone en su mayor parte por niveles arcillosos que se intercalan con arenas arcillosas y horizontes de gravas arcillosas de espesor variable en forma lenticular y discontinua.

Depósitos fluvio lacustres (Qfl)

Se encuentran distribuidos en las zonas bajas del área sobre los drenajes y quebradas que irrigan el sector y alimentan la ciénaga de San Silvestre. Estos depósitos presentan espesores superiores a los 5 metros y se componen de turbas y limos arcillosos, saturados y de baja capacidad de soporte.

En general predominan lodos de color oscuro con alto contenido de materia orgánica, arcillas grises y arenas finas como resultado de la depositación en ambientes de baja energía y por la disminución en el nivel del agua debido a desecación paulatina.

Depósitos Aluviales (Qal)

Sobre la margen izquierda del río Magdalena, se encuentran depósitos aluviales, cubiertos por horizontes de turbas con espesores variables entre 0.40 metros hasta 3.00 metros. Estos depósitos aluviales los conforman lentes arenosos y limosos que se intercalan con niveles de arcillas.

La capacidad de soporte de estos suelos es baja, con cargas admisibles muy inferiores a 1 kg/cm² para los horizontes de turbas, como se ha verificado en los sondeos realizados en el área, con presencia de niveles freáticos a partir de los 0.50 metros de profundidad.

El sector corresponde a una unidad de morfología plana, de origen aluvial con aporte de sedimentos en avenidas y crecientes fuertes que desbordan las zonas bajas, caracterizada por presentar unidades de suelo de composición limosa arenosa, con presencia de turbas en la parte superior del perfil de espesor medio de 3.00 metros para zonas de influencia del río Magdalena. Esta unidad es susceptible a ser inundada en periodos de intensas lluvias, al desbordarse el río Magdalena, los drenajes menores y las cañadas que drenan directamente al río.

Para los sectores 1 esta unidad se caracteriza por ofrecer áreas planas de mediana extensión, caracterizada por presentar una morfología plana, conformando llanuras inundables, terrazas y vegas bajas.

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN MEDIANTE EXCEL, PARA EL SONDEO 1

Se trata de determinar aquí el potencial de licuación a través de evaluar el factor de seguridad contra la ocurrencia del fenómeno a partir de los resultados de los dos sondeos mencionados, cuyas características nos permiten identificar el riesgo de este fenómeno.

Con los datos obtenidos en los ensayos de penetración estándar (SPT) y de la clasificación de los suelos en el municipio de Yondo ubicado en el departamento de Antioquia, podemos hacer la evaluación del potencial de licuefacción a partir de diferentes profundidades y variando la magnitud del sismo.

SONDEO 1: profundidad hasta 15 m y magnitud de sismo de 7,5, ANEXO B

Primero se calcula los esfuerzos verticales y efectivos de acuerdo a la teoría básica de la mecánica de suelos, teniendo en cuenta que el Nivel freático es de 0,5 m

$$Z=0,5$$

$$\sigma = z * \gamma$$

$$\sigma = 0,5 * 1,6 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} = 0,8$$

$$\sigma'_v = 0,5 * (1,6 - 1) = 0,30$$

Con los valores de N_m que se obtienen del ensayo de penetración estándar, como se observa en el ANEXO B, es necesario hacer la corrección del valor de esta resistencia, para tener en cuenta la energía aplicada. La siguiente expresión corrige este valor al 60 % del radio de energía:

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot \frac{E_m}{0.60 E_{ff}}$$

Se hace el uso del factor de corrección C_N , el cual conducirá a una normalización temporal y a resultados consistentes. Según Liao y Whitman, (1986), y Skempton (1986), con las siguientes expresiones.

Skempton (1986)

$$C_N = \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{vo}}{P_a}} = \frac{2}{1 + \frac{0,3}{10}} = 1,94$$

Liao y whitman(1986)

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{vo}}} = \sqrt{\frac{10}{0,3}} = 5,77$$

En general los autores recomiendan que $C_N \leq 2.0$, por lo cual la formulación de Skempton (1986) es la mas recomendada.

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot \frac{E_m}{0.60 E_{ff}}$$

$$N_m = 5$$

$$(N_1)_{60} = 5 * 1,94 \cdot \frac{0,45}{0.60} = 7.3 \sim 7$$

Sin embargo, se hace la Corrección por contenido de finos, cuyos datos se obtienen de los ensayos para la clasificación de suelos; en el ANEXO D, señala según su profundidad el contenido de finos y su respectiva clasificación. En nuestro caso el Sondeo 1 nos indica que el contenido de finos supera el 35%, lo cual nos permite ubicarnos en la gráfica de Youd (1997). para entrar con el $(N_1)_{60f}$, cortar en la grafica según el contenido de finos y buscar el valor de CRR.

Se recomienda hacer una corrección $(N_1)_{60}$, para que quede en función del contenido de finos $(N_1)_{60f}$ que es la corrección del valor de la resistencia a la penetración estándar, en arenas limosas y otros suelos con presencia de finos, las cuales quedaran en función de la resistencia a la penetración equivalente a la de arenas limpias con la siguiente expresión:

$$(N_1)_{60f} = \alpha + \beta * (N_1)_{60}$$

$$\alpha = 0; \beta = 1,0 \quad FC \leq 5\%$$

$$\alpha = e^{(1,76 - \frac{190}{FC^2})}; \beta = 0,99 + \frac{FC^{1,5}}{1000} \quad 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5; \beta = 1,2 \quad FC \geq 35\%$$

Teniendo en cuenta el contenido de finos según la profundidad como lo muestra el ANEXO D, se utiliza el α y β que cumpla con los parámetros. Para el caso de profundidades de 0.5m – 6m el contenido de finos es %FC =74,89.

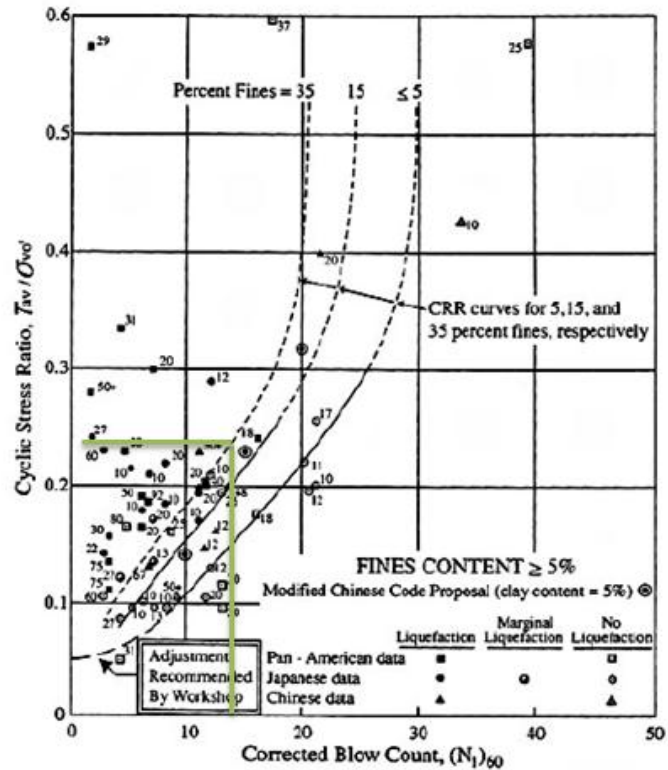
$$\alpha = 5; \beta = 1,2 \quad FC \geq 35\%$$

$$(N_1)_{60f} = \alpha + \beta * (N_1)_{60}$$

$$(N_1)_{60f} = 5 + 1,2 * 7 = 14$$

Después de obtener el valor de $(N_1)_{60f}$, mediante la grafica de Youd (1997) se determina el valor del CRR.

Figura 34. Grafica de Youd (1997)



Fuente: César Atala Abad (1992)

Teniendo

$$(N_1)_{60f} = 5 + 1,2 * 7 = 14$$

Con la curva de $FC \geq 35\%$

El CRR por grafica con un $(N_1)_{60f}$ corregido por finos y el porcentaje de finos da como resultado $\bar{\tau} 0,216$

Con los valores que se obtuvieron de los esfuerzos se remplazan en la fórmula de relación de tensión cíclica, obtenemos

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

Donde:

$a_{max} = 0,15$, se obtiene de NSR-10 - Apéndice A-4

γ_d : D

$\gamma_d = 1.0 - 0.00765z$ para $z \leq 9.15$ m

$\gamma_d = 1.0 - 0.00765(0,5) = 1,0$

Reemplazando

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) * \gamma_d = 0.65 \left(\frac{0,15g}{g} \right) \left(\frac{0,8}{0,30} \right) * 1,0 = 0,259$$

Seed e Idriss introdujeron factores de corrección, los que fueron llamados factores de escala de magnitud (MSF, Magnitud Scaling Factor), para ajustar la grafica de Youn (1997) a diferentes magnitudes. Estos factores se utilizan para corregir las curvas CRR, en el gráfico CSR en función de $(N_1)_{60}$

$MSF = \text{factor de escala de magnitud}$

$$CSR_{corr} = \frac{CSR_M}{MSF}$$

Donde MSF como señalada por Kramer y Stewart (2004), se aplica para cualquier magnitud

Para magnitudes mayores o iguales a 7,5 el $n=2,56$, para magnitudes menores de 7,5 el $n=2,93$

$$MSF = \left(\frac{7.5}{M} \right)^n = \left(\frac{7.5}{7.5} \right)^{2,56} = 1$$

Se puede usar el factor de escala para definir la relación de carga cíclica (Green, 2001)

$$CSR_{corr} = \frac{CSR_M}{MSF}$$

$$CSR_{corr} = \frac{0,259}{1} = 0,259$$

Finalmente se hace el cálculo del factor de seguridad (FS), el cual indica cuando se va a iniciar la licuefacción o no. Según Green (2001). Si la relación de tensión cíclica (CSR) es mayor que la relación de resistencia cíclica (CRR), la licuefacción se iniciará durante el terremoto, por el contrario, si la CSR es menor que la CRR, entonces la licuefacción no se inicia

$$FS = \frac{CRR_{Youd}}{CSR_{corr}}$$

$$FS = \frac{0,216}{0,259} = 0,83$$

Para $FS < 1$ el suelo se licua, si $1 < FS \leq 1,3$ el suelo tiene susceptibilidad a licuarse; para $FS > 1.3$, se considera que no habrá licuación.

En este caso se presenta licuefacción, a una profundidad de 0.5 m.

El proceso se realiza para todas las profundidades del sondeo mediante una hoja de cálculo Excel. Los resultados para el sondeo 1, con contenido de finos para diferentes magnitudes y profundidades se pueden observar en el ANEXO F.

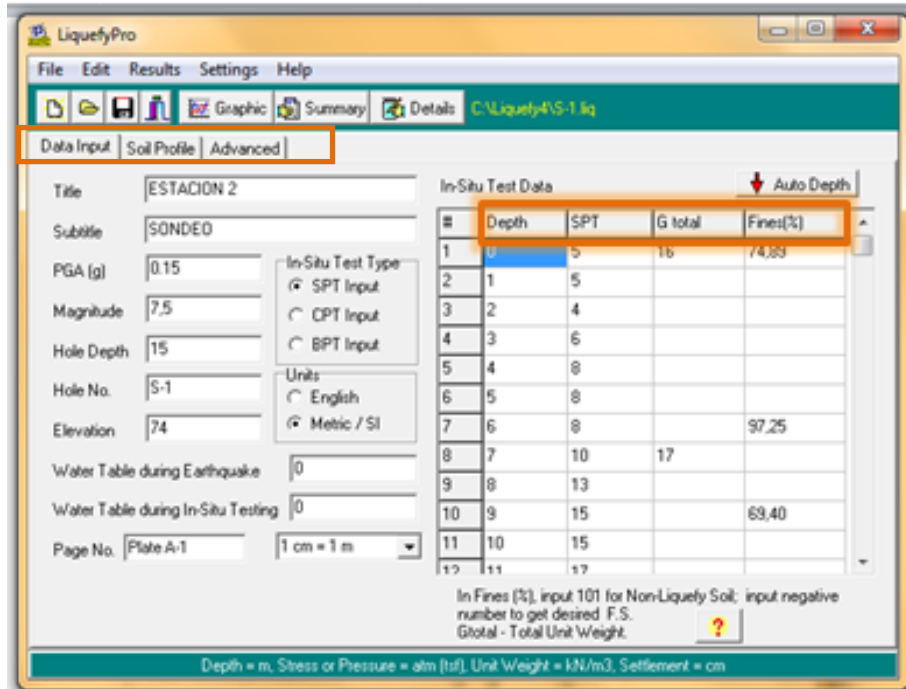
ANÁLISIS DE LICUACIÓN A TRAVÉS DEL SOFTWARE LIQUEFY4:

Ingreso de datos

Con los datos obtenidos en el ensayo en campo del SPT, procedemos a ingresar al programa, los datos usados para el modelamiento son:

- ✓ El N° de golpes
- ✓ El porcentaje de finos que lo obtenemos de la granulometría
- ✓ G total o gamma del suelo se obtiene en la clasificación de suelo ensayado.
- ✓ Depth siendo las profundidades del ensayo.

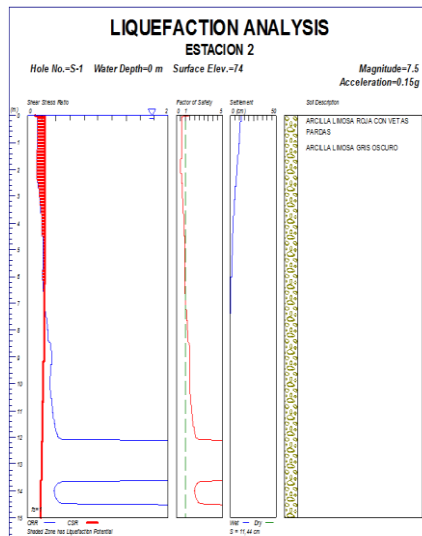
Figura 35. Ingreso de datos



Fuente: Autores

2. Análisis de resultados
- 3.

Figura 36. Comportamiento del fenómeno de licuefacción



Fuente: Autores

La grafica que determina el programa está en función de la profundidad, el factor de seguridad y los esfuerzos y tensiones cíclicas, siendo el área bajo la curva la intercepción del esfuerzo y la tensión de las zonas donde pudiese ocurrir el fenómeno licuación. Los resultados de las diferentes magnitudes se observan en el ANEXO J.

Es importante observar que los resultados que presenta la programación de Excel en el ANEXO F, son aproximados a los obtenidos mediante el software, ya que presenta licuación hasta los 3.5m, de 4m -9m hay posibilidad de licuación y de 9.5m en adelante no se presentará el fenómeno.

Para el caso del análisis con los datos del Sondeo 2 con FC (contenido de finos), se tiene en cuenta los resultados obtenidos del ANEXO C, donde obtenemos el N , y el ANEXO E que indica la clasificación del suelo, y el contenido de finos para las diferentes profundidades. Se aplica el mismo procedimiento que se realizó para el sondeo 1, debido a que el contenido de finos supera el 35%; de esta manera los resultados de la programación de Excel para las diferentes magnitudes se describen en el ANEXO G, y las gráficas que se obtienen de la aplicación al Software se muestran en el ANEXO K.

CASO ESPECIAL SIN CONTENIDO DE FINOS

Para fines académicos, se hace el análisis del sondeo 1 y Sondeo 2, sin FC (contenido de finos), en este procedimiento se tiene en cuenta los valores de N que se obtienen de los ensayos, los cuales se observan en el ANEXO B y ANEXO C.

El procedimiento empleado en el sondeo 1 con FC (contenido de finos), será el mismo que se realizara para el análisis con los Sondeos 1 y 2 sin FC (contenido de finos), hasta obtener el valor $(N_1)_{60}$, teniendo en cuenta el criterio de Skempton (1986) que es el mismo ya que se recomienda que $C_N \leq 2.0$. El análisis

de los esfuerzos, es el mismo utilizado en la teoría básica de la mecánica de suelos, al igual que el factor de profundidad, con estos datos podemos obtener la relación de tensión cíclica (CSR).

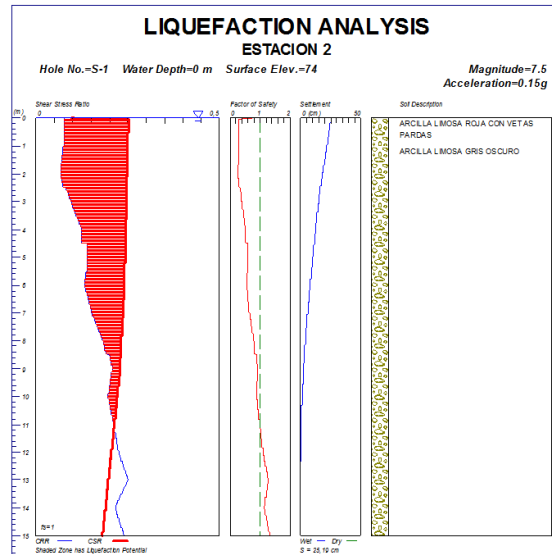
Para la obtención de $(N_1)_{60f}$ se tiene en cuenta que el contenido de finos $FC \leq 5\%$, para calcular los valores de α y β .

Con el valor del N corregido para el $FC \leq 5\%$, se ingresa a la grafica de Youd (1997), cortando la curva $\leq 5\%$, y se calcula el valor de CRR

Finalmente, se sigue el procedimiento calculando el factor de seguridad, y teniendo en cuenta los mismos criterios, es decir, Si la relación de tensión cíclica (CSR) es mayor que la relación de resistencia cíclica (CRR), la licuefacción se iniciará durante el terremoto, por el contrario, si la CSR es menor que la CRR, entonces la licuefacción no se inicia. Además, para $FS < 1$ el suelo se licua, si $1 < FS \leq 1,3$ el suelo tiene susceptibilidad a licuarse; para $FS > 1.3$, se considera que no habrá licuación.

Los resultados para este análisis se pueden observar en el ANEXO H, para el Sondeo 1 sin FC, y el ANEXO I, para el Sondeo 2 sin FC.

Figura 37. Sondeo 1 sin FC, para una magnitud de 7.5



Fuente: Autores

Se observa que al no tener finos, los esfuerzos cíclicos de corte van a ser mayores y por tanto se presentará licuación a una mayor profundidad que en el caso de tener finos. Es decir, se muestra que se cumple la premisa de que en los suelos granulares susceptibles a licuación, el contenido de finos, especialmente arcillosos, inhibe la ocurrencia del fenómeno en alguna medida.

Al comparar los resultados obtenidos mediante la programación en Excel ANEXO H (Magnitud 7.5) con los obtenidos mediante el programa, podemos observar que son similares; para ambos, hay licuefacción hasta los 9 m de profundidad, posible licuefacción entre 9m y 11,5 m, y en adelante no se presenta licuefacción.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos, muestran una buena aproximación entre los calculados por el método analítico y los determinados mediante el programa utilizado.

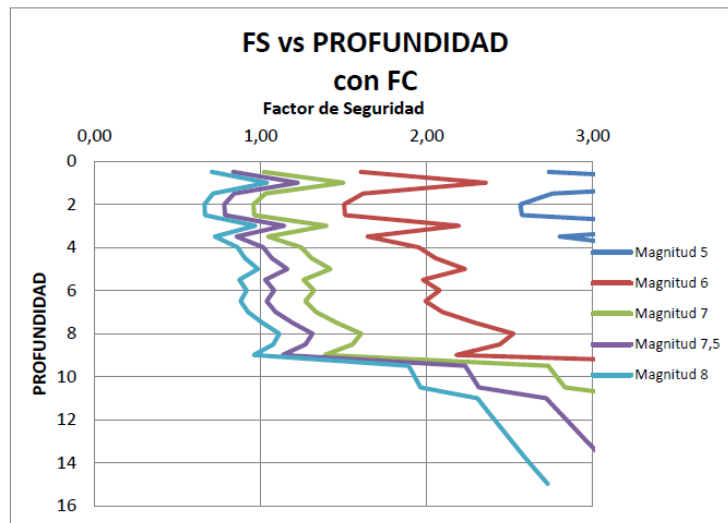
La licuefacción, en el caso de arenas con finos, se produce bajo movimientos sísmicos superiores a 7 en la escala de Richter. Para el caso particular de un movimiento de magnitud 8, se presenta en los primeros 7 metros según se muestra en el Anexo F. Este resultado se muestra coherente con el número de golpes, los cuales varían entre 5 y 8, presentando muy baja compacidad y densidad, por lo que tiende a experimentar la reducción del volumen. A los 7.5 m a 8.5 m, hay la posibilidad de presentar este fenómeno (FS entre 1.0 y 1.3) a pesar que tiene las mismas características del estrato anterior, pero el esfuerzo efectivo de confinamiento aumenta en función de la profundidad, lo que hace que su resistencia al cortante aumente y la relación de tensión cíclica (CSR) disminuya. Finalmente para profundidades mayores de 9m no se presenta licuefacción debido a que el suelo ya está confinado, presenta una mayor compacidad y por tanto mayor resistencia.

En el análisis de la figura 38, para el sondeo 1 con FC (contenido de finos), ANEXO N, para las Magnitudes de 8 el factor de seguridad se encuentra entre 0,71 y 0,92 a profundidades menores de 7 m , lo que indica que este segmento se licua debido a la gran magnitud del sismo; al compararlo con el sismo de 7.5 en la misma profundidad se observa que este presenta un factor de seguridad entre 1.02 y 1.09, mostrando alguna posibilidad de licuefacción.

Al disminuir la intensidad del movimiento, este afectara el factor de escala de la magnitud del sismo (MSF) propuesta por Idriss y citado por Youd (2001), el cual

sirve para cuantificar la carga sísmica, o la resistencia del suelo a la licuefacción; por tanto, al analizar una magnitud de 6 y 5, se puede evidenciar que la carga producida por esos sismos no va a afectar la resistencia del suelo.

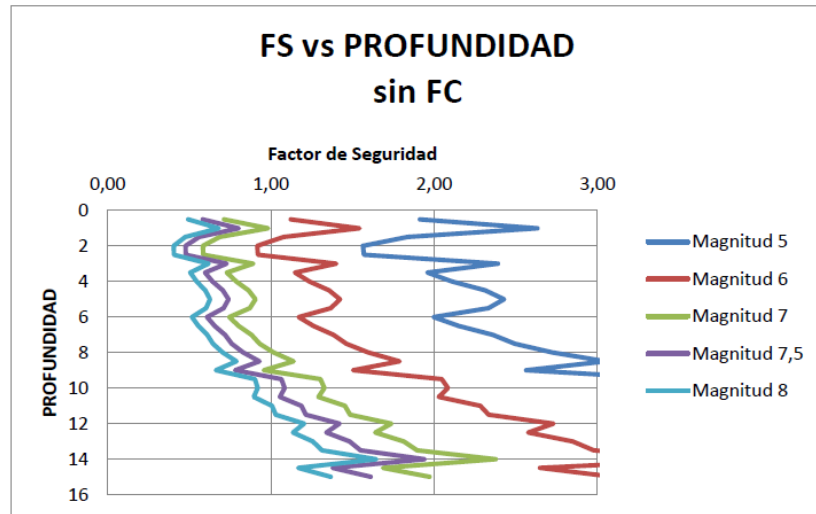
Figura 38. Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el **sondeo 1 con FC** (contenido de finos)



Fuente: Autores

Los resultados para el análisis de las diferentes magnitudes, sin contenido de finos y utilizado para fines académicos se presentan en el Anexo P, sondeo 1 sin FC (contenido de finos) y se resumen en la figura 39, donde se observa que hay una mayor posibilidad de licuefacción para magnitudes de 7 y mayores en la escala de Richter. Para un movimiento de magnitud 8 los factores de seguridad oscilan entre 0.41 y 0.92, hasta la profundidad de 10,5 m; para la magnitud 7, hay licuefacción hasta los 7.5m, con factores de seguridad de 0,58 -0,93, es decir, a pesar de disminuir la magnitud, la licuefacción se presenta a una profundidad considerable a diferencia del Sondeo 1 con FC (contenido de finos).

Figura 39. Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el **sondeo 1 sin FC** (contenido de finos)



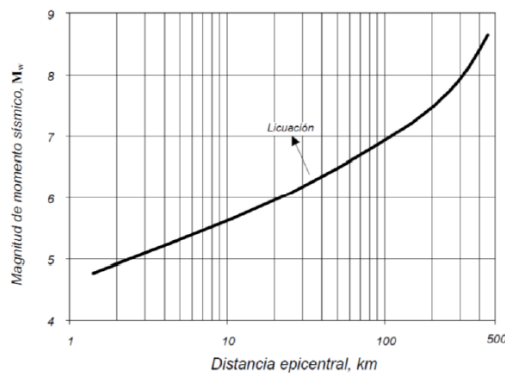
Fuente: Autores

Con respecto a la identificación de las zonas licuables, en las gráficas arrojadas por el programa Liquefy, se observa claramente cómo los esfuerzos cíclicos de corte producidos por el movimiento (CSR) superan a la resistencia disponible del suelo (CRR) en las zonas de licuación, como se observa en la figura 40. La licuación del suelo sobreviene como resultado de un rápido incremento de la presión intersticial, derivado de la acción de ese exceso de esfuerzo cíclico. La presión del fluido que ocupa los poros puede alcanzar un valor tal que anule la presión efectiva del suelo, que pasa a comportarse como un fluido. En el anexo L se presentan los resultados para cada uno de los casos modelados con el programa..

CONCLUSIONES

En el sitio estudiado se espera que se produzca licuación para movimientos con magnitudes mayores de 7. De acuerdo con la Figura 41 este fenómeno debe ocurrir a menos de 100 km de la distancia epicentral para que produzca el fenómeno.

Figura 41. Relacion entre la magnitud del sismo y la distancia epicentral donde se ha presentado historicamente la licuacion.



Fuente: Norma sismo resistente 98 H-5-3

Comparando los resultados obtenidos para el sismo de magnitud 6 se puede observar para el caso del sondeo 1 que existe la posibilidad de licuefacción cuando el suelo no contiene finos, mientras que no se presenta el fenómeno cuando contiene finos. Esto se debe al efecto de los finos como inhibidores de la licuación.

Con base en la bibliografía se concluye que los suelos granulares más susceptibles a la licuefacción son las arenas finas, de estructura suelta, saturados. Por tanto al incrementarse las presiones del agua y al entrar en contacto con los granos de la arena, esta disminuye su resistencia al esfuerzo cortante, lo cual conduce al desarrollo del fenómeno de licuefacción.

Se corrobora el efecto de la compacidad en la ocurrencia del fenómeno, pues el sondeo 2, que presentó menores valores de penetración estándar, mostró mayor susceptibilidad a la licuación. Por lo tanto es de esperarse que a grandes profundidades, donde deben darse mayores compacidades debido al confinamiento por el peso del suelo, no se presente el fenómeno de licuación.

Mediante el SPT es posible establecer la posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuación, mediante un procedimiento sencillo y que proporciona resultados bastante aproximados, cuando se comparan con los que se obtienen con programas para tal fin.

El software utilizado es una herramienta para automatizar el procedimiento analítico, su manejo es sencillo, proporcionando resultados precisos, optimiza el tiempo, y su adquisición es posible por medio virtual.

Para el caso particular estudiado el suelo puede ser mejorado por métodos de densificación para inhibir el fenómeno de licuación

RECOMENDACIONES

Continuar con proyectos en este tema, con evaluación de los cambios volumétricos que se puedan presentar en la masa de suelo por la ocurrencia del fenómeno.

Utilización de otros programas que ayuden a comparar de una manera más amplia los resultados y a comprender mejor el fenómeno.

BIBLIOGRAFIA

DANIEL HUMBERTO SANTIBÁÑEZ RODRÍGUEZ. Determinación del potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar, Valdivia, 2006

BRAJA DAS. "Principios de ingeniería de cimentaciones", Thomson Editores, México, 1999

ROGERS, J. DAVID. GOW, MOHR, TERZAGHI, AND THE ORIGINS OF THE STANDARD PENETRATION TEST. Missouri University of Science & Technology for the Joint Meeting Association of Environmental & Engineering Geologists. American Society of Civil Engineers. Chicago, Illinois January 14, 2009

CÉSAR ATALA ABAD. Ensayo de penetración estandar (SPT). (1992)

SEMINARIO TALLER DE MECANICA DE SUELOS Y EXPLORACIÓN GEOTECNICA, 9 al 11 de setiembre de 1992

CARLOS IVÁN HENRÍQUEZ PANTALEÓN, Tesis doctoral mejora de terrenos potencialmente licuables con inyecciones de compactación.. Madrid 2007.

[6]

MARÍA GRACIELA FRATELLI .Suelos, fundaciones y muros. (1993)

JESÚS R. GARCÍA NÚÑEZ. Tesis doctoral Análisis comparativos del fenómeno de licuación de arenas, Tumaco (Colombia). (2007).

X JORNADAS GEOTECNICAS DE LA INGENIERIA COLOMBIANA-SCI-SCG_1999

<<http://helid.digicollection.org/pdf/s8246s/s8246s.pdf> .> [en línea] [consulta 30 de Mayo de 2012]

< <http://vgatec.blogspot.com/2011/03/mejora-del-suelo-ii.html>>[en línea] [consulta 01 de julio de 2012]

http://intrawww.ing.puc.cl/siding/public/ingcursos/cursos_pub/descarga.phtml?id_curso_ic=1574&id_archivo=55084[en línea] [consulta 5 de julio de 2012].

<<http://es.scribd.com/doc/64676441/Ensayo-de-Penetracion-Estandar-SPT>> [en línea] [consulta 10 de julio de 2012].

<<http://es.scribd.com/doc/22621695/Potencial-de-Licuefaccion-de-Suelos>> [en línea] [consulta 2 agosto de 2012].

<<http://es.scribd.com/doc/22621695/Potencial-de-Licuefaccion-de-Suelos>> [en línea] [consulta 2 agosto de 2012].

<<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciq.6m/doc/bmfciq.6m.pdf>> [en línea] [consulta 25 septiembre de 2012].

ANEXOS

ANEXO A Programa para la determinación del potencial de licuefacción empleando el ensayo de penetración estándar.

INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA

La licuefacción es un problema común en las zonas propensas a terremotos, donde existen depósitos de suelos sueltos y saturados. Con el software de Liquefy4 podemos facilitar los cálculos para obtener el potencial de licuefacción en suelos sometidos a diferentes cargas sísmicas, con profundidades determinadas y teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de penetración estándar (SPT). El procedimiento de cálculo que lleva a cabo este software es:

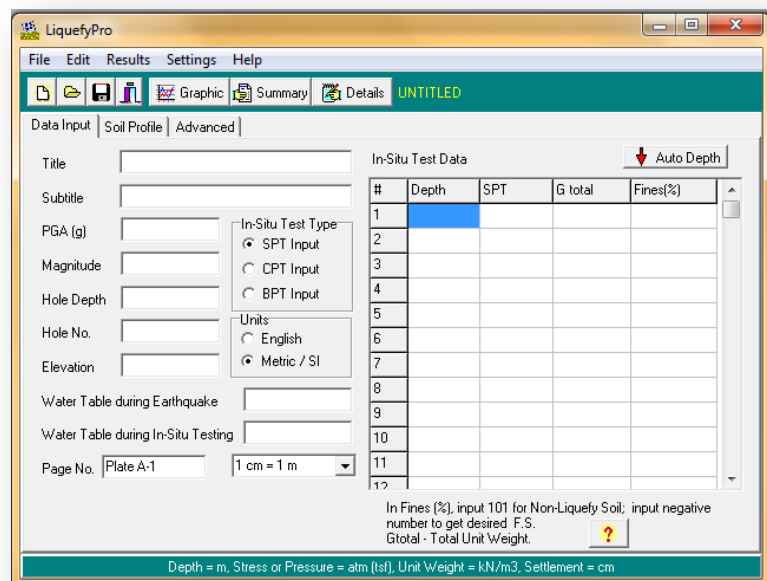
1. Cálculo de la relación de tensión cíclica (CSR), provocada por una carga en el suelo inducida por un terremoto
2. Cálculo del factor de resistencia cíclica (CRR) , basado en los datos in-situ que son proporcionados por el ensayo de penetración estándar (SPT)
3. Evaluación del potencial de licuefacción mediante el cálculo de un factor de seguridad (FS)

INGRESO DE DATOS

Vamos al boton de inicio seleccionamos el programa de manera inmediata nos mostrara el siguiente ventana:



La siguiente imagen muestra la ventana de ingreso de datos según el ensayo a modelar, para nuestro caso sera atravez del ensayo de SPT.



Se procedera a llenar la ventana de la siguiente manera:

Title: Titulo del modelo.

Subtitle: subtítulo del modelo.

PGA: Aceleración máxima del sitio de obtención de los datos, valor que se obtiene de la norma sísmo resistente.

Magnitude: Magnitud del sismo .

Hole Depth: Profundidad de la perforación.

Hole N° : Numero de la identificación de la perforacion.

Elevation: Elevación sobre el nivel del mar del sitio del sondeo.

Water table during Earthquake: Nivel freático durante un sismo.

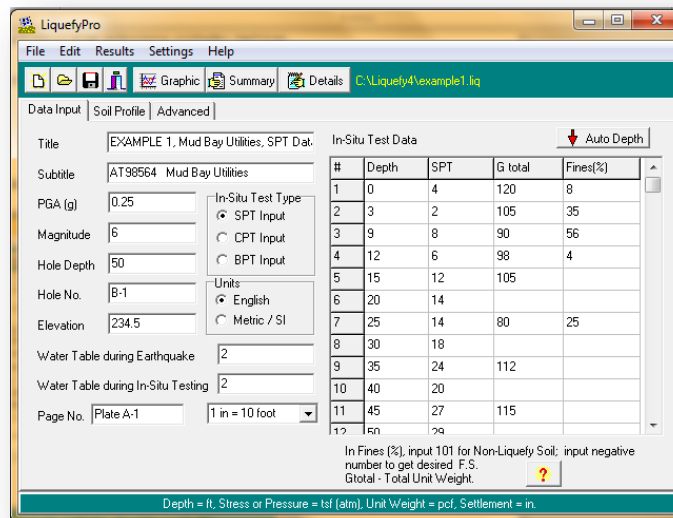
Water table during In-situ test: Nivel freático durante el sondeo

Los valores de Water table during Earthquake puede ser mismo del Water table during In-situ test.

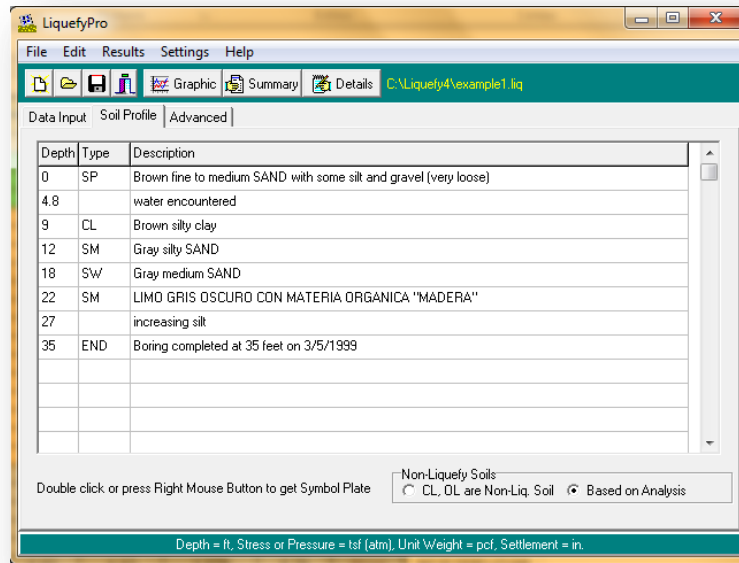
SPT: N° de golpes obtenido en el sondeo

Gtotal: Peso unitario o gamma del suelo en $\frac{Kn}{m^3}$ si se selecciona unidades metricas.

Fines (%): valor en porcentaje de finos



DESCRIPCION DEL SUELO. En la pestaña Soil Profile podemos realizar una pequeña descripción del suelo del modelamiento



TIPOS DE MODELAMIENTO A UTILIZAR:

Settlement Analysis: El tipo de metodología o autor para desarrollar el análisis.

Fines correccion: Seleccionar el autor o metodo para corregir la cantidad de finos.

Fines correccion (settlement): Si se quiere la correccion durante la licuacion o analizarla despues de la licuacion.

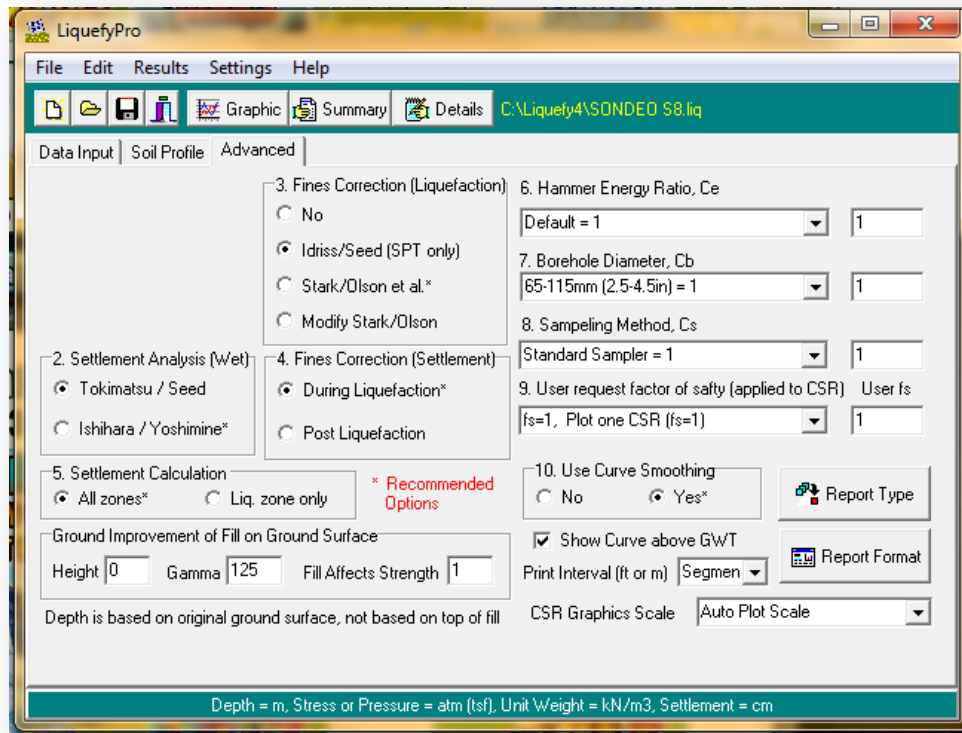
Settlement calculation: lugares donde desarrollar el analisis, solo en la zona licuable o en todas las zonas.

Hammer Energy Ratio Ce: Energia del martillo para la correccion del N.

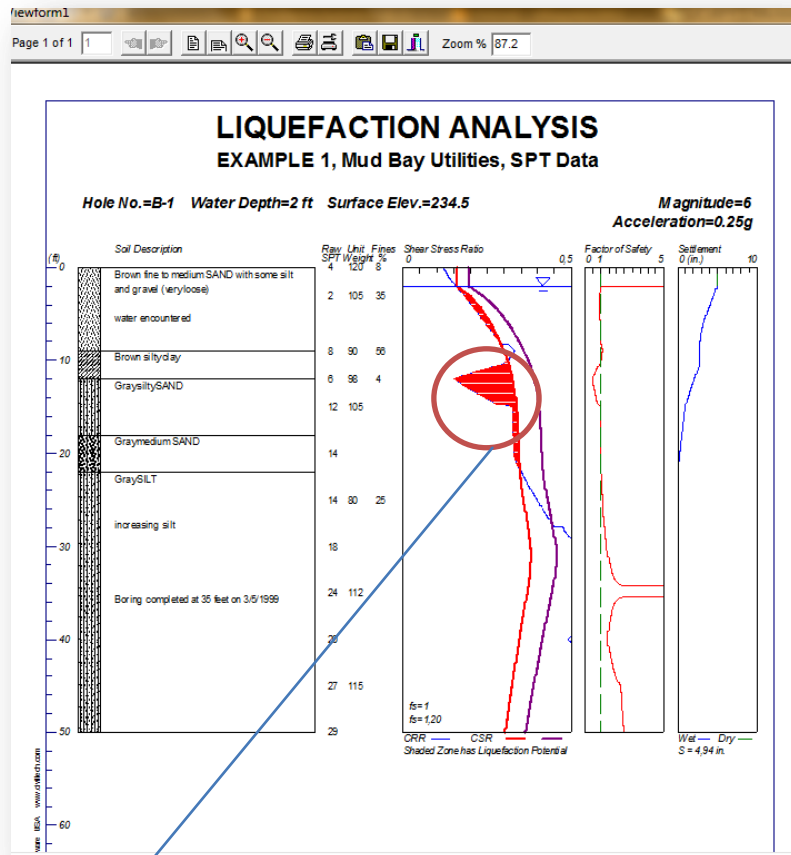
Bore hole diameter Cb: Diametro del agujero para correccion de N.

Sampeling Method: metodo de muestreo para correccion de N.

Factor of safety: valor del factor de seguridad.



OBTENCION DE RESULTADOS



Zona de licuación

ANEXO B Sondeo 1

SONDEOS

OBRA :	ESTUDIO DE SUELOS ESTACION N°2 - ECP. CASABE	PARA:	INELECTRA S.A.
LOCALIZACION	LADO DERECHO ENTRADA P/PAL. ESTACION N°2	SONDEO No.	1
PROFUNDIDAD DE NIVEL FREATICO mts	SUP.	PROFUNDIDAD TOTAL DEL SONDEO ... mts....	15
METODO DE PERFORACION	PERCUSION	PESA ..lbs ..	140
		CAIDA LIBRE ... pulgs.....	30
FECHA DE INICIACION	MAYO 04 DE 2009	FECHA DE TERMINACION	MAYO 04 DE 2009
JEFE DE PERFORACION	OCTAVIO BELLO C.		

PROFUNDIDAD MTS	PERFIL DEL SUELO	No. GOLPES			RECUPERA CION % w	DESCRIPCION DE LOS SUELOS Y OBSERVACIONES
		6"	12"	18"		
0.0	0,5	2	2	3	5	ARCILLA LIMOSA ROJA CON VETAS PARDAS
0.5	1	3	4	4	8	CONSISTENCIA BAJA - HUMEDAD ALTA
1.0	1,5	4	3	2	5	ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURO
1.5	2	2	2	2	4	CONSISTENCIA BAJA - HUMEDAD ALTA
2.0	2,5	2	2	2	4	
2.5	3	3	4	4	8	
3.0	3,5	4	3	3	6	
3.5	4	3	3	4	7	
4.0	4,5	4	4	4	8	
4.5	5	5	4	5	9	
5.0	5,5	4	4	4	8	
5.5	6	4	4	3	7	LIMO ARENOSO GRIS OSCURO
6.0	6,5	4	4	4	8	CONSISTENCIA BAJA - HUMEDAD ALTA
6.5	7	5	4	5	9	
7.0	7,5	5	5	5	10	
7.5	8	5	6	5	11	
8.0	8,5	6	7	6	13	
8.5	9	5	4	6	10	
9.0	9,5	9	7	8	15	ARENA LIMOSA GRIS OSCURO - GRANO FINO
9.5	10	8	8	7	15	CONSISTENCIA BAJA - HUMEDAD ALTA
10.0	10,5	7	7	8	15	
10.5	11	9	9	8	17	
11.0	11,5	8	9	8	17	
11.5	12	10	9	11	20	
12.0	12,5	9	9	10	19	ARENA LIMOSA FINA GRIS

12,5	13,0			9	10	11	21	ARENA LIMOSA GRIS - GRANO FINO
13,0	13,5			10	12	10	22	CONSISTENCIA ALTA - HUMEDAD MEDIA
13,5	14,0			10	12	14	26	
14,0	14,5			8	9	11	20	
14,5	15,0			11	12	10	22	

ANEXO C. Sondeo 2

SONDEOS

OBRA :	ESTUDIO DE SUELOS ESTACION N°2 - ECP. CASABE	PARA :	INELECTRA S.A.
LOCALIZACION	VIA COSTADO POSTERIOR ESTACION N°2	SONDEO No.	2
PROFUNDIDAD DE NIVEL FREATICO ... mts ...	SUP.	PROFUNDIDAD TOTAL DEL SONDEO ... mts....	15,0
METODO DE PERFORACION	PERCUSION	PESA ..lbs ..	140
		CAIDA LIBRE ... pulgs.....	30
FECHA DE INICIACION	MAYO 03 DE 2009	FECHA DE TERMINACION	MAYO 03 DE 2009
JEFE DE PERFORACION	OCTAVIO BELLO C.		

PROFUNDIDAD MTS	PERFIL DEL SUELO	No. GOLPES			RECUPERA CION % w	DESCRIPCION DE LOS SUELOS Y OBSERVACIONES
		6"	12"	18"		
0.0	0,5	0	0	0	0	ARCILLA LIMOSA GRIS CON VETAS AMARILLAS Y ROJAS
0.5	1	6	7	6	13	CONSISTENCIA BAJA - HUMEDAD MEDIA
1.0	1,5	7	8	7	15	ARCILLA LIMOSA AMARILLA CON VETAS PARDAS Y GRISES
1.5	2	7	6	5	11	CONSISTENCIA BAJA - HUMEDAD ALTA
2.0	2,5	5	5	4	9	
2.5	3	2	2	2	4	LIMO ARENOSO GRIS OSCURO - CON RESIDUOS DE MADEF
3.0	3,5	2	2	2	4	CONSISTENCIA BAJA - HUMEDAD ALTA
3.5	4	2	2	4	6	
4.0	4,5	4	3	2	5	
4.5	5	4	3	4	7	
5.0	5,5	4	5	4	9	
5.5	6	2	2	2	4	
6.0	6,5	2	2	2	4	
6.5	7	2	2	2	4	
7.0	7,5	3	2	2	4	
7.5	8	4	4	3	7	
8.0	8,5	5	4	3	7	LIMO ARENOSO GRIS OSCURO - CON RESIDUOS DE MADEF
8.5	9	6	5	6	11	CONSISTENCIA BAJA - HUMEDAD ALTA
9.0	9,5	9	8	10	18	
9.5	10	11	12	12	24	ARENA LIMOSA GRIS OSCURA.
10.0	10,5	13	14	15	29	CONSISTENCIA ALTA - HUMEDAD MEDIA
10.5	11	12	10	9	19	
11.0	11,5	9	6	4	10	
11.5	12	5	9	7	16	
12.0	12,5	7	6	7	13	

12,5	13,0			8	7	8	15	ARENA LIMOSA GRIS - GRANO FINO
13,0	13,5			6	10	10	20	CONSISTENCIA MEDIA - HUMEDAD MEDIA
13,5	14,0			10	11	9	20	
14,0	14,5			8	8	10	18	
14,5	15,0			10	10	13	23	

ANEXO D Clasificación De Los Suelos Para El Sondeo 1

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION			
CLIENTE :	INELECTRA SA.		
FECHA :	MAYO 05 DE 2009	EST. N° 2	
PROYECTO:	ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 ECOPETROL - CASABE		
DESCRIPCION :	LIMO ARENOSO GRIS OSCURO		
PROFUNDIDAD :	0.50 m - 06.00 m.	SONDEO N°:	1
		MTA. N°	1

LIMITES DE CONSISTENCIA		GRADACION					
	LIMITE LIQUIDO			WTMS: 403,1	WLST200: 403,10		
No DE GOLPES	43	26	15	TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
RECIPIENTE No.				3"			
Pr+Ph (P1)	38,05	36,51	39,72	2 1/2"			
Pr+Ps (P2)	32,38	30,75	32,45	2"			
Pr (P3)	14,63	14,88	14,65	1 1/2"			
Ps	17,75	15,87	17,80	1"			
HUMEDAD EN (%)	31,94	36,29	40,84	3/4"			
				1/2"			
				3/8"			100,00
				No 4	3,20	0,79	99,21
				No 10	5,60	1,39	97,82
				No 16	0,00	0,00	97,82
				No 20	7,50	1,86	95,96
				No 40	10,50	2,60	93,35
				No 50	42,60	10,57	82,78
				No 100	18,50	4,59	78,19
				No 200	13,30	3,30	74,89
				FONDO	301,90	74,89	0,00

LIMITE PLASTICO		w_n
RECIPIENTE No.		
Pr+Ph (P1)	16,27	15,96
Pr+Ps (Ps)	15,08	14,88
Pr (P3)	9,56	9,61
Ps	5,52	5,27
HUMEDAD EN (%)	21,56	20,49

NUMERO DE GOLPES

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO 36,32 %

LIMITE PLASTICO 21,03 %

INDICE DE PLASTICIDAD 15,30 %

CLASIFICACION U.S.C. CL

OBSERVACIONES

% GRAVA: 0,79

% ARENA: 24,31

% FINOS: 74,89

TOTAL: 100,00

R.B.C.

LABORATORISTA

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION

CLIENTE : **INELECTRA SA.**
 FECHA : **MAYO 05 DE 2009** EST. N° 2
 PROYECTO: **ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 | ECOPEPETROL - CASABE**
 DESCRIPCION : **LIMO NEGRO CON ALTO CONTENIDO DE MAR. ORGANICA.**
 PROFUNDIDAD : **06.00 m - 09.00 m.** SONDEO N. **1** MTA. N° **2**

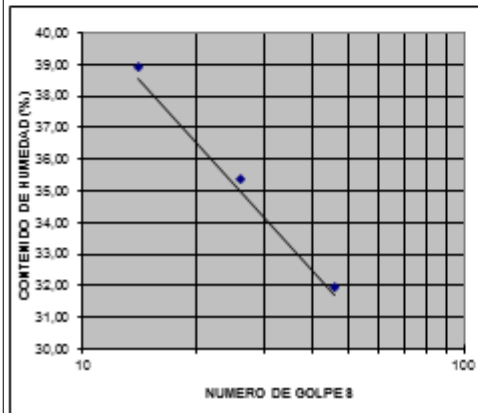
LIMITES DE CONSISTENCIA

No DE GOLPES	LIMITE LIQUIDO		
	46	26	14
RECIPIENTE No.			
Pr + Ph (P1)	30,6	31,8	31,7
Pr + Ps (P2)	26,8	27,2	26,6
Pr (P3)	14,8	14,1	13,4
Ps	11,99	13,08	13,15
HUMEDAD EN (%)	31,94	35,40	38,94

RECIPIENTE No.	LIMITE PLASTICO		Wn
	20,32	13,95	
Pr + Ph (P1)	20,32	13,95	
Pr + Ps (Ps)	19,26	12,82	
Pr (P3)	14,30	7,60	
Ps	4,96	5,22	
HUMEDAD EN (%)	21,37	21,65	21,51

GRADACION

WTMS:	209,5	WLST200	209,46
TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No 4			
No 10			
No 16			100,00
No 20	2,17	1,04	98,96
No 40	0,64	0,31	98,66
No 50	0,52	0,25	98,41
No 100	0,39	0,19	98,22
No 200	2,04	0,97	97,25
FONDO	203,70	97,25	0,00



RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO 35,42 %
 LIMITE PLASTICO 21,51 %
 INDICE DE PLASTICIDAD 13,91 %
 CLASIFICACION U.S.C. CL

OBSERVACIONES

% GRAVA : _____
 % ARENA : 2,75
 % FINOS : 97,25
 TOTAL: 100,00

Q.B.C.
LABORATORISTA

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION

CLIENTE : **INELECTRA SA.**
 FECHA : **MAYO 05 DE 2009** EST. N° **2**
 PROYECTO: **ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 | ECOPETROL - CASABE**
 DESCRIPCION : **LIMO ARENOSO GRIS OSCURO**
 PROFUNDIDAD : **09.00 m - 12.00 m.** SONDEO N° **1** MTA. N° **3**

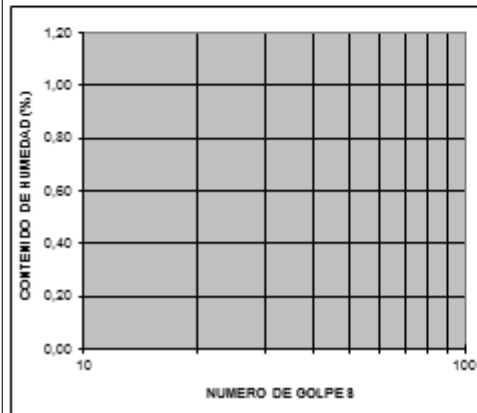
LIMITES DE CONSISTENCIA

	LIMITE LIQUIDO	
No DE GOLPES		
RECIPIENTE No.		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (P2)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

	LIMITE PLASTICO		W _n
RECIPIENTE No.			
Pr + Ph (P1)			
Pr + Ps (P2)			
Pr (P3)			
Ps			
HUMEDAD EN (%)			

GRADACION

WTMS:	438,77	WLST200	438,77
TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No 4			100,00
No 10	1,33	0,30	99,70
No 16	0,00	0,00	99,70
No 20	0,99	0,23	99,47
No 40	0,88	0,20	99,27
No 50	2,24	0,51	98,76
No 100	13,04	2,97	95,79
No 200	115,79	26,39	69,40
FONDO	304,50	69,40	0,00



RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO **NO LIQUIDO** %
 LIMITE PLASTICO **NO PLASTICO** %
 INDICE DE PLASTICIDAD **NO PLASTICO** %
 CLASIFICACION U.S.C. **ML**

OBSERVACIONES

% GRAVA : **0,00**
 % ARENA : **30,60**
 % FINOS : **69,40**
 TOTAL: **100,00**

Q.B.C.
LABORATORISTA

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION

CLIENTE : **INELECTRA SA.**
 FECHA : **MAYO 05 DE 2009** EST. N° **2**
 PROYECTO: **ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 | ECOPEPETROL - CASABE**
 DESCRIPCION : **LIMO ARENOSO GRIS OSCURO - MAT. ORG.**
 PROFUNDIDAD : **12.50 m - 19.50 m.** SONDEO N. **1** MTA. N **4**

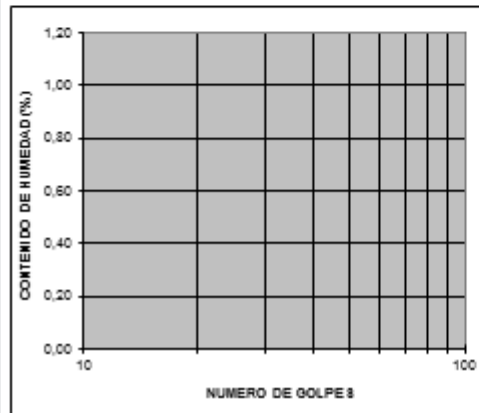
LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO	
No DE GOLPES	
RECIPIENTE No.	
Pr + Ph (P1)	
Pr + Ps (P2)	
Pr (P3)	
Ps	
HUMEDAD EN (%)	

LIMITE PLASTICO		W _n
RECIPIENTE No		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (Ps)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

GRADACION

WTMS:	281,3	WLST200	281,30
TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No 4			100,00
No 10	5,70	2,03	97,97
No 16	0,00	0,00	97,97
No 20	7,40	2,63	95,34
No 40	8,20	2,92	92,43
No 50	15,40	5,47	86,95
No 100	16,20	5,76	81,19
No 200	21,60	7,68	73,52
FONDO	206,80	73,52	0,00



RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO **NO LIQUIDO** %
 LIMITE PLASTICO **NO PLASTICO** %
 INDICE DE PLASTICIDAD **NO PLASTICO** %
 CLASIFICACION U.S.C. **ML**

OBSERVACIONES

% GRAVA : **0,00**
 % ARENA : **26,48**
 % FINOS : **73,52**
 TOTAL: **100,00**

O.R.C.
LABORATORISTA

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION

CLIENTE : **INELECTRA SA.**
 FECHA : **MAYO 05 DE 2009** EST. N° **2**
 PROYECTO: **ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 | ECOPEPETROL - CASABE**
 DESCRIPCION : **ARENA LIMOSA PARDA CON VETAS AMARILLAS.**
 PROFUNDIDAD : **21.50 m - 25.00 m.** SONDEO N: **1** MTA. N° **5**

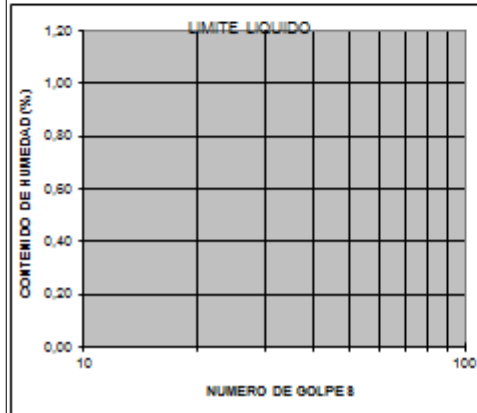
LIMITES DE CONSISTENCIA

	LIMITE LIQUIDO	
No DE GOLPES		
RECIPIENTE No.		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (P2)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

	LIMITE PLASTICO		W _n
RECIPIENTE No			
Pr + Ph (P1)			
Pr + Ps (Ps)			
Pr (P3)			
Ps			
HUMEDAD EN (%)			

GRADACION

WTMS:	316,1	WLST200	316,10
TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No 4			100,00
No 10	24,90	7,88	92,12
No 16	0,00	0,00	92,12
No 20	18,30	5,79	86,33
No 40	19,90	6,30	80,04
No 50	39,60	12,53	67,51
No 100	36,30	11,48	56,03
No 200	35,60	11,26	44,76
FONDO	141,50	44,76	0,00



RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO **NO LIQUIDO** %
 LIMITE PLASTICO **NO PLASTICO** %
 INDICE DE PLASTICIDAD **NO PLASTICO** %
 CLASIFICACION U.S.C. **SMd**

OBSERVACIONES

% GRAVA : **0,00**
 % ARENA : **55,24**
 % FINOS : **44,76**
 TOTAL: **100,00**

Q.B.C.
LABORATORISTA

ANEXO E Clasificación De Los Suelos Para El Sondeo 2

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION			
CLIENTE :	INELECTRA SA.		
FECHA :	MAYO 05 DE 2009	EST. N° 2	
PROYECTO:	ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 ECOPETROL - CASABE		
DESCRIPCION :	LIMO ARENOSO GRIS OSCURO		
PROFUNDIDAD :	1.00 m - 03.00 m.	SONDEO N°:	2 MTA. N 1

LIMITES DE CONSISTENCIA		GRADACION			
	LIMITE LIQUIDO	WTMS:	352,1	WLST200	352,06
No DE GOLPES		TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
RECIPIENTE No.		3"			
Pr + Ph (P1)		2 1/2"			
Pr + Ps (P2)		2"			
Pr (P3)		1 1/2"			
Ps		1"			
HUMEDAD EN (%)		3/4"			
		1/2"			
		3/8"			100,00
		No 4	5,60	1,59	100,00
		No 10	4,01	1,14	98,86
		No 16	0,00	0,00	98,86
		No 20	6,20	1,76	97,10
		No 40	14,22	4,04	93,06
		No 50	28,72	8,16	84,90
		No 100	16,82	4,78	80,13
		No 200	20,35	5,78	74,35
		FONDO	256,14	72,75	0,00

LIMITE PLASTICO		w _n
RECIPIENTE No		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (Ps)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO **NO LIQUIDO** %

LIMITE PLASTICO **NO PLASTICO** %

INDICE DE PLASTICIDAD **NO PLASTICO** %

CLASIFICACION U.S.C. **SMd**

OBSERVACIONES

% GRAVA : **0,00**

% ARENA : **25,65**

% FINOS : **74,35**

TOTAL: **100,00**

G.B.C.

LABORATORISTA

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION

CLIENTE : **INELECTRA SA.**
 FECHA : **MAYO 05 DE 2009** EST. N° **2**
 PROYECTO: **ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 | ECOPEPETROL - CASABE**
 DESCRIPCION : **LIMO ARENOSO GRIS OSCURO CON MAT. ORG.**
 PROFUNDIDAD : **03.00 m - 07.00 m.** SONDEO N. **2** MTA. N° **2**

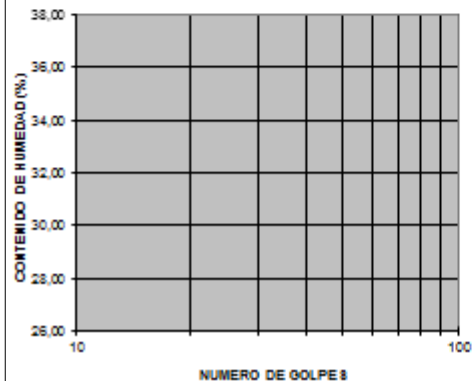
LIMITES DE CONSISTENCIA

	LIMITE LIQUIDO	
No DE GOLPES		
RECIPIENTE No.		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (P2)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

	LIMITE PLASTICO		W _n
RECIPIENTE No.			
Pr + Ph (P1)			
Pr + Ps (Ps)			
Pr (P3)			
Ps			
HUMEDAD EN (%)			

GRADACION

WTMS:	296,9	WLST200	296,93
TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			100,00
No 4	10,89	3,67	96,33
No 10	6,15	2,07	94,26
No 16	0,00	0,00	94,26
No 20	5,61	1,89	92,37
No 40	8,32	2,80	89,57
No 50	12,63	4,25	85,32
No 100	21,95	7,39	77,92
No 200	30,66	10,33	67,60
FONDO	200,72	67,60	0,00



RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO NO LIQUIDO %
 LIMITE PLASTICO NO PLASTICO %
 INDICE DE PLASTICIDAD NO PLASTICO %
 CLASIFICACION U.S.C. ML

OBSERVACIONES

% GRAVA : 3,67
 % ARENA : 28,73
 % FINOS : 67,60
 TOTAL: 100,00

Q.B.C.
LABORATORISTA

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION

CLIENTE : **INELECTRA SA.**
 FECHA : **MAYO 05 DE 2009** EST. N° **2**
 PROYECTO: **ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN N° 2 | ECOPETROL - CASABE**
 DESCRIPCION : **LIMO GRIS OSCURO**
 PROFUNDIDAD : **07.00 m - 11.50 m.** SONDEO N° **2** MTA. N° **3**

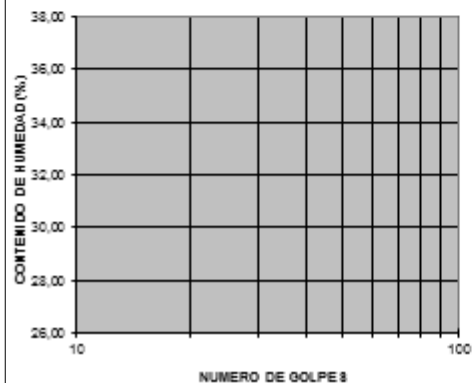
LIMITES DE CONSISTENCIA

	LIMITE LIQUIDO	
No DE GOLPES		
RECIPIENTE No.		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (P2)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

	LIMITE PLASTICO	W _n
RECIPIENTE No.		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (P2)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

GRADACION

WTMS:	454,1	WLST200	454,08
TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			100,00
No 4	3,44	0,76	99,24
No 10	2,92	0,64	98,60
No 16	0,00	0,00	98,60
No 20	2,52	0,55	98,04
No 40	1,28	0,28	97,76
No 50	1,71	0,38	97,39
No 100	0,98	0,22	97,17
No 200	0,90	0,20	96,97
FONDO	440,33	96,97	0,00



RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO NO LIQUIDO %
 LIMITE PLASTICO NO PLASTICO %
 INDICE DE PLASTICIDAD NO PLASTICO %
 CLASIFICACION U.S.C. ML

OBSERVACIONES

% GRAVA : 0,76
 % ARENA : 2,27
 % FINOS : 96,97
 TOTAL: 100,00

Q.B.C.
LABORATORISTA

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION

CLIENTE : **INELECTRA SA.**
 FECHA : **MAYO 05 DE 2009** EST. N° **2**
 PROYECTO: **ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 | ECOPELROL - CASABE**
 DESCRIPCION : **LIMO ARENOSO GRIS - MAT.ORG.**
 PROFUNDIDAD : **11.50 m - 17.00 m.** SONDEO N. **2** MTA. N° **4**

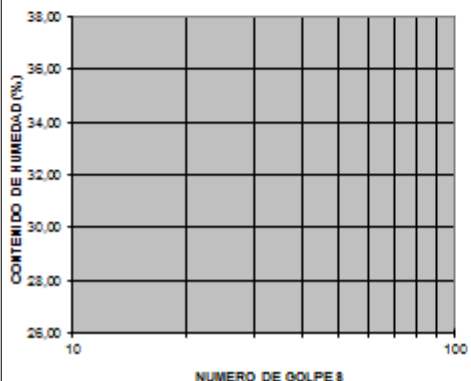
LIMITES DE CONSISTENCIA

	LIMITE LIQUIDO	
No DE GOLPES		
RECIPIENTE No.		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (P2)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

	LIMITE PLASTICO		W _n
RECIPIENTE No.			
Pr + Ph (P1)			
Pr + Ps (Ps)			
Pr (P3)			
Ps			
HUMEDAD EN (%)			

GRADACION

WTMS:	330,1	WLST200	330,13
TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No 4			
No 10			100,00
No 16	0,00	0,00	100,00
No 20	1,21	0,37	99,63
No 40	0,28	0,08	99,55
No 50	2,70	0,82	98,73
No 100	13,24	4,01	94,72
No 200	72,09	21,84	72,88
FONDO	240,61	72,88	0,00



RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO **NO LIQUIDO** %
 LIMITE PLASTICO **NO PLASTICO** %
 INDICE DE PLASTICIDAD **NO PLASTICO** %
 CLASIFICACION U.S.C. **ML**

OBSERVACIONES

% GRAVA : _____
 % ARENA : **27,12**
 % FINOS : **72,88**
 TOTAL: **100,00**

QBC
LABORATORISTA

LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION

CLIENTE : **INELECTRA SA.**
 FECHA : **MAYO 05 DE 2009** EST. N° **2**
 PROYECTO: **ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN No 2 | ECOPETROL - CASABE**
 DESCRIPCION : **ARENA LIMOSA GRIS - GRANO FINO.**
 PROFUNDIDAD : **17.00 m - 20.00 m.** SONDEO N° **2** MTA. N° **5**

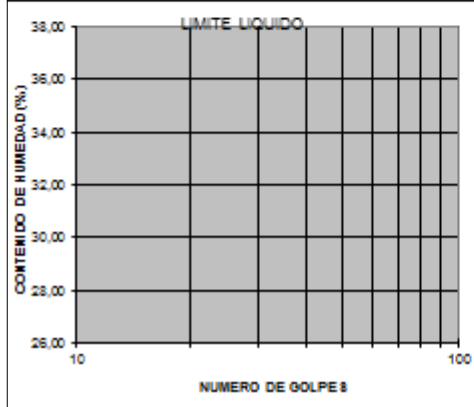
LIMITES DE CONSISTENCIA

	LIMITE LIQUIDO	
No DE GOLPES		
RECIPIENTE No.		
Pr + Ph (P1)		
Pr + Ps (P2)		
Pr (P3)		
Ps		
HUMEDAD EN (%)		

	LIMITE PLASTICO		W _n
RECIPIENTE No.			
Pr + Ph (P1)			
Pr + Ps (P2)			
Pr (P3)			
Ps			
HUMEDAD EN (%)			

GRADACION

WTMS:	197,5	WLST200	197,50
TAMIZ	W _{ret}	%RET.	%PASA
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No 4			100,00
No 10	1,40	0,71	99,29
No 16	0,00	0,00	99,29
No 20	4,10	2,08	97,22
No 40	8,20	4,15	93,06
No 50	11,40	5,77	87,29
No 100	47,20	23,90	63,39
No 200	43,20	21,87	41,52
FONDO	82,00	41,52	0,00



RESULTADOS

LIMITE LIQUIDO **NO LIQUIDO** %
 LIMITE PLASTICO **NO PLASTICO** %
 INDICE DE PLASTICIDAD **NO PLASTICO** %
 CLASIFICACION U.S.C. **SMd**

OBSERVACIONES

% GRAVA : **0,00**
 % ARENA : **58,48**
 % FINOS : **41,52**
 TOTAL : **100,00**

Q.B.C.
LABORATORISTA

ANEXOS F. Programación en Excel Sondeo 1 con FC (contenido de finos) variando la magnitud de 5, 6,7, 7.5 y 8, con los datos obtenidos en los ensayos.

1. Magnitud 5

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	5
----	---

n	2,93
MSF	3,28

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO CON CF

Z	Z	N	compacida	CL	% FC	σo	γ	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,22	0,08	2,74	No Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,32	0,08	4,02	No Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,22	0,08	2,76	No Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,08	2,56	No Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,08	2,57	No Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,29	0,08	3,75	No Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,08	2,80	No Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,26	0,08	3,33	No Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,27	0,08	3,50	No Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,08	3,80	No Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,26	0,08	3,37	No Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,27	0,08	3,54	No Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,26	0,08	3,40	No Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,27	0,08	3,57	No Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,29	0,07	3,91	No Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,32	0,07	4,30	No Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,30	0,07	4,16	No Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,27	0,07	3,71	No Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,52	0,07	7,32	No Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,52	0,07	7,46	No Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,52	0,07	7,59	No Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,60	0,07	8,92	No Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,60	0,07	9,12	No Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,60	0,06	9,32	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,60	0,06	9,52	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,60	0,06	9,72	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,60	0,06	9,93	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,60	0,06	10,13	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,60	0,06	10,35	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,60	0,06	10,56	No Licua

2. Magnitud 6

NIVEL FREATICO	0,5	M	Mw	6	n	2,93
PRESION POROS	1	ton/m3			MSF	1,92

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO CON CF																			
Z	Z	N	compacida	CL	% FC	σo	γ	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,22	0,13	1,60	No Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,32	0,13	2,36	No Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,22	0,13	1,62	No Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,13	1,50	No Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,13	1,51	No Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,29	0,13	2,20	No Licua
3	3,5	8	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,13	1,64	No Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,26	0,13	1,95	No Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,27	0,13	2,05	No Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,13	2,23	No Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,26	0,13	1,98	No Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,27	0,13	2,08	No Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,26	0,13	1,99	No Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,27	0,13	2,09	No Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,29	0,13	2,29	No Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,32	0,13	2,52	No Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,30	0,12	2,44	No Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,27	0,12	2,18	No Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,52	0,12	4,29	No Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,52	0,12	4,37	No Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,52	0,12	4,45	No Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,60	0,11	5,23	No Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,60	0,11	5,34	No Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,60	0,11	5,46	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,60	0,11	5,58	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,60	0,11	5,70	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,60	0,10	5,82	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,60	0,10	5,94	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,60	0,10	6,06	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,60	0,10	6,19	No Licua

3. Magnitud 7

NIVEL FREATICO PRESION POROS	0,5	M	Mw	7	n	2,93
	1	ton/m3			MSF	1,22

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO CON CF																			
Z	Z	N	compacida	CL	% FC	σ _o	γ	σ' _o	C _n	N _{corr}	CSR	γ _d	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,22	0,21	1,02	Posib. Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,32	0,21	1,50	No Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,22	0,21	1,03	Posib. Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,21	0,96	Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,21	0,96	Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,29	0,21	1,40	No Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,21	1,04	Posib. Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,26	0,21	1,24	Posib. Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,27	0,21	1,31	No Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,20	1,42	No Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,26	0,20	1,26	Posib. Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,27	0,20	1,32	No Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,26	0,20	1,27	Posib. Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,27	0,20	1,33	No Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,29	0,20	1,46	No Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,32	0,20	1,61	No Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,30	0,20	1,55	No Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,27	0,19	1,39	No Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,52	0,19	2,73	No Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,52	0,19	2,78	No Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,52	0,18	2,83	No Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,60	0,18	3,33	No Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,60	0,18	3,40	No Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,60	0,17	3,48	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,60	0,17	3,55	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,60	0,17	3,63	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,60	0,16	3,70	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,60	0,16	3,78	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,60	0,16	3,86	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,60	0,15	3,94	No Licua

4. Magnitud 7.5

NIVEL FREATICO	0,5	M	Mw	7,5	n	2,56
PRESION POROS	1	ton/m3			MSF	1,00

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO CON CF

Z	Z	N	compacida	CL	% FC	σσ	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,22	0,26	0,83	Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,32	0,26	1,22	Posib. Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,22	0,26	0,84	Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,26	0,78	Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,26	0,78	Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,29	0,25	1,14	Posib. Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,25	0,85	Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,26	0,25	1,02	Posib. Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,27	0,25	1,07	Posib. Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,25	1,16	Posib. Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,26	0,25	1,03	Posib. Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,27	0,25	1,08	Posib. Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,26	0,25	1,04	Posib. Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,27	0,25	1,09	Posib. Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,29	0,24	1,19	Posib. Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,32	0,24	1,31	No Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,30	0,24	1,27	Posib. Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,27	0,24	1,13	Posib. Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,52	0,23	2,23	No Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,52	0,23	2,27	No Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,52	0,22	2,31	No Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,60	0,22	2,72	No Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,60	0,22	2,78	No Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,60	0,21	2,84	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,60	0,21	2,90	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,60	0,20	2,96	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,60	0,20	3,03	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,60	0,19	3,09	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,60	0,19	3,15	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,60	0,19	3,22	No Licua

5. Magnitud 8

NIVEL FREATICO	0,5	M	Mw	8	n	2,56
PRESION POROS	1	ton/m3			MSF	0,85

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO CON CF																			
Z	Z	N	compacida	CL	% FC	σ _o	γ	σ' _o	C _n	N _{corr}	CSR	γ _d	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,22	0,31	0,71	Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,32	0,30	1,04	Posib. Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,22	0,30	0,71	Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,30	0,66	Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,30	0,66	Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,29	0,30	0,97	Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,30	0,72	Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,26	0,30	0,86	Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,27	0,30	0,90	Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,29	0,98	Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,26	0,29	0,87	Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,27	0,29	0,92	Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,26	0,29	0,88	Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,27	0,29	0,92	Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,29	0,29	1,01	Posib. Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,32	0,28	1,11	Posib. Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,30	0,28	1,08	Posib. Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,27	0,28	0,96	Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,52	0,27	1,89	No Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,52	0,27	1,93	No Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,52	0,27	1,96	No Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,60	0,26	2,30	No Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,60	0,25	2,36	No Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,60	0,25	2,41	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,60	0,24	2,46	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,60	0,24	2,51	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,60	0,23	2,56	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,60	0,23	2,62	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,60	0,22	2,67	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,60	0,22	2,73	No Licua

ANEXO G Programación en Excel Sondeo 2 con FC (contenido de finos) Variando la magnitud de 5, 6,7, 7.5 y 8, con los datos obtenidos en los ensayos.

1. Magnitud 5

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	5
----	---

n	2,93
MSF	3,28

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO CON FC

Z	Z	N	compacidad	LASIFICACION	% FC	σo	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,11	0,07	1,56	No Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,60	0,07	8,38	No Licua
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,60	0,07	8,41	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,60	0,07	8,26	No Licua
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,30	0,07	4,09	No Licua
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,07	2,71	No Licua
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,20	0,07	2,71	No Licua
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,07	2,92	No Licua
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,21	0,07	2,78	No Licua
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,24	0,07	3,25	No Licua
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,07	3,93	No Licua
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,07	2,44	No Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,07	2,45	No Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,07	2,45	No Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,18	0,07	2,46	No Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,22	0,07	2,96	No Licua
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,22	0,07	2,97	No Licua
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,29	0,07	4,02	No Licua
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,60	0,07	8,45	No Licua
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,60	0,07	8,60	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,60	0,07	8,76	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,60	0,07	8,92	No Licua
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,26	0,07	3,87	No Licua
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,52	0,06	8,01	No Licua
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,30	0,06	4,75	No Licua
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,31	0,06	5,08	No Licua
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,60	0,06	10,04	No Licua
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,60	0,06	10,25	No Licua
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,52	0,06	9,07	No Licua

2. Magnitud 6

NIVEL FREATICO	0,5	M	Mw	6	n	2,93
PRESION POROS	1	ton/m3			MSF	1,92

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO CON FC																			
Z	Z	N	compacidad	LASIFICACION	% FC	σ_0	Y	σ'_0	Cn	Ncorr	CSR	γ_d	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,11	0,12	0,91	Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,60	0,12	4,91	No Licua
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,60	0,12	4,93	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,60	0,12	4,84	No Licua
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,30	0,13	2,40	No Licua
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,13	1,59	No Licua
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,20	0,13	1,59	No Licua
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,13	1,71	No Licua
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,21	0,13	1,63	No Licua
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,24	0,13	1,90	No Licua
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,13	2,30	No Licua
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,13	1,43	No Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,13	1,43	No Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,13	1,44	No Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,18	0,12	1,44	No Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,22	0,12	1,73	No Licua
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,22	0,12	1,74	No Licua
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,29	0,12	2,36	No Licua
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,60	0,12	4,95	No Licua
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,60	0,12	5,04	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,60	0,12	5,13	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,60	0,11	5,23	No Licua
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,26	0,11	2,27	No Licua
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,52	0,11	4,70	No Licua
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,30	0,11	2,78	No Licua
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,31	0,10	2,98	No Licua
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,60	0,10	5,88	No Licua
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,60	0,10	6,01	No Licua
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,52	0,10	5,32	No Licua

3. Magnitud 7

NIVEL FREATICO	0,5	M	Mw	7	n	2,93
PRESION POROS	1	ton/m3			MSF	1,22

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO CON FC

Z	Z	N	compacidad	LASIFICACIO	% FC	σ	γ	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,11	0,19	0,58	Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,60	0,19	3,13	No Licua
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,60	0,19	3,14	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,60	0,19	3,08	No Licua
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,30	0,20	1,53	No Licua
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,20	1,01	Posib. licuar
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,20	0,20	1,01	Posib. licuar
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,20	1,09	Posib. licuar
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,21	0,20	1,04	Posib. licuar
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,24	0,20	1,21	Posib. licuar
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,20	1,47	No Licua
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,20	0,91	Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,20	0,91	Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,20	0,92	Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,18	0,20	0,92	Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,22	0,20	1,10	Posib. licuar
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,22	0,20	1,11	Posib. licuar
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,29	0,19	1,50	No Licua
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,60	0,19	3,15	No Licua
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,60	0,19	3,21	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,60	0,18	3,27	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,60	0,18	3,33	No Licua
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,26	0,18	1,45	No Licua
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,52	0,17	2,99	No Licua
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,30	0,17	1,77	No Licua
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,31	0,16	1,89	No Licua
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,60	0,16	3,75	No Licua
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,60	0,16	3,83	No Licua
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,52	0,15	3,39	No Licua

4. Magnitud 7.5

NIVEL FREATICO	0,5	M	Mw	7,5	n	2,56
PRESION POROS	1	ton/m3			MSF	1,00

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO CON FC

Z	Z	N	compacidad	LASIFICACIO	% FC	σ	Y	$\sigma'o$	Cn	Ncorr	CSR	yd	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,11	0,24	0,47	Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,60	0,23	2,55	No Licua
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,60	0,23	2,56	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,60	0,24	2,52	No Licua
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,30	0,24	1,25	Posib. licuar
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,24	0,83	Licua
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,20	0,24	0,82	Licua
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,24	0,89	Licua
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,21	0,24	0,85	Licua
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,24	0,24	0,99	Licua
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,24	1,20	Posib. licuar
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,24	0,74	Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,24	0,75	Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,24	0,75	Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,18	0,24	0,75	Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,22	0,24	0,90	Licua
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,22	0,24	0,90	Licua
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,29	0,24	1,23	Posib. licuar
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,60	0,23	2,58	No Licua
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,60	0,23	2,62	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,60	0,22	2,67	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,60	0,22	2,72	No Licua
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,26	0,22	1,18	Posib. licuar
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,52	0,21	2,44	No Licua
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,30	0,21	1,45	No Licua
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,31	0,20	1,55	No Licua
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,60	0,20	3,06	No Licua
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,60	0,19	3,13	No Licua
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,52	0,19	2,77	No Licua

5. Magnitud 8

NIVEL FREATICO	0,5	M	Mw	8	n	2,56
PRESION POROS	1	ton/m3			MSF	0,85

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO CON FC

Z	Z	N	compacidad	LASIFICACIO	% FC	σ	γ	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Youd	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,11	0,28	0,40	Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,60	0,28	2,16	No Licua
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,60	0,28	2,17	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,60	0,28	2,13	No Licua
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,30	0,28	1,06	Posib. licuar
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,20	0,29	0,70	Licua
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,20	0,29	0,70	Licua
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,22	0,29	0,75	Licua
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,21	0,29	0,72	Licua
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,24	0,29	0,84	Licua
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,29	0,29	1,01	Posib. licuar
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,29	0,63	Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,28	0,63	Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,18	0,28	0,63	Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,18	0,28	0,64	Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,22	0,28	0,76	Licua
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,22	0,28	0,77	Licua
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,29	0,28	1,04	Posib. licuar
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,60	0,27	2,18	No Licua
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,60	0,27	2,22	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,60	0,27	2,26	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,60	0,26	2,30	No Licua
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,26	0,26	1,00	Posib. licuar
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,52	0,25	2,07	No Licua
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,30	0,25	1,23	Posib. licuar
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,31	0,24	1,31	No Licua
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,60	0,23	2,59	No Licua
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,60	0,23	2,65	No Licua
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,52	0,22	2,35	No Licua

ANEXO H Programación en Excel Sondeo 1 sin FC (contenido de finos) variando la magnitud de 5, 6,7, 7.5 y 8, con los datos obtenidos en los ensayos, para fines académicos

1. Magnitud 5

NIVEL FREATICO	0,5	M	Mw	5	n	2,93
PRESION POROS	1	ton/m3			MSF	3,28

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO SIN FC

Z	Z	N	compacida	CL	% FC	σo	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	yd	α	β	N corr Finos	CRR YOUD	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,151	0,08	1,91	No Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,207	0,08	2,63	No Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,144	0,08	1,84	No Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,08	1,56	No Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,08	1,57	No Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,185	0,08	2,39	No Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,08	1,96	No Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,162	0,08	2,11	No Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,177	0,08	2,31	No Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,08	2,43	No Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,177	0,08	2,33	No Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,151	0,08	2,00	No Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,162	0,08	2,15	No Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,177	0,08	2,36	No Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,185	0,07	2,49	No Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,200	0,07	2,72	No Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,222	0,07	3,05	No Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,185	0,07	2,56	No Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,248	0,07	3,49	No Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,248	0,07	3,56	No Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,237	0,07	3,46	No Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,262	0,07	3,89	No Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,262	0,07	3,98	No Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,300	0,06	4,66	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,277	0,06	4,39	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,300	0,06	4,86	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,307	0,06	5,08	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,377	0,06	6,37	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,262	0,06	4,52	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,300	0,06	5,28	No Licua

2, Magnitud 6

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	6
----	---

n	2,93
MSF	1,92

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO SIN FC

Z	Z	N	compacida	CL	%FC	σo	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR YOU2	CSR CORR	F5	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,151	0,13	1,12	Posib. Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,207	0,13	1,54	No Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,144	0,13	1,08	Posib. Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,13	0,92	Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,13	0,92	Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,185	0,13	1,40	No Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,13	1,15	Posib. Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,162	0,13	1,24	Posib. Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,177	0,13	1,36	No Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,13	1,42	No Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,177	0,13	1,37	No Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,151	0,13	1,17	Posib. Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,162	0,13	1,26	Posib. Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,177	0,13	1,38	No Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,185	0,13	1,46	No Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,200	0,13	1,60	No Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,222	0,12	1,79	No Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,185	0,12	1,50	No Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,248	0,12	2,05	No Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,248	0,12	2,08	No Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,237	0,12	2,03	No Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,262	0,11	2,28	No Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,262	0,11	2,33	No Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,300	0,11	2,73	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,277	0,11	2,58	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,300	0,11	2,85	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,307	0,10	2,98	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,377	0,10	3,73	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,262	0,10	2,65	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,300	0,10	3,10	No Licua

3. Magnitud 7

NIVEL FREATICO PRESION POROS	0,5	M	Mw	7	n	2,93
	1	ton/m3			MSF	1,22

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO SIN FC

Z	Z	N	compacida	CL	% FC	σ _o	γ	σ' _o	C _n	N _{corr}	CSR	γ _d	α	β	N corr Finos	CRR YOU _D	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,151	0,21	0,71	Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,207	0,21	0,98	Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,144	0,21	0,69	Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,21	0,58	Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,21	0,59	Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,185	0,21	0,89	Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,21	0,73	Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,162	0,21	0,79	Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,177	0,21	0,86	Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,20	0,91	Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,177	0,20	0,87	Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,151	0,20	0,75	Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,162	0,20	0,80	Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,177	0,20	0,88	Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,185	0,20	0,93	Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,200	0,20	1,02	Posib. Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,222	0,20	1,14	Posib. Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,185	0,19	0,96	Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,248	0,19	1,30	No Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,248	0,19	1,33	No Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,237	0,18	1,29	Posib. Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,262	0,18	1,45	No Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,262	0,18	1,49	No Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,300	0,17	1,74	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,277	0,17	1,64	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,300	0,17	1,81	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,307	0,16	1,89	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,377	0,16	2,38	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,262	0,16	1,69	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,300	0,15	1,97	No Licua

4. Magnitud 7.5

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	7,5
----	-----

n	2,56
MSF	1,00

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO SIN FC

Z	Z	N	compacida	CL	% FC	σo	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR YOUd	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,151	0,26	0,58	Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,207	0,26	0,80	Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,144	0,26	0,56	Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,26	0,48	Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,26	0,48	Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,185	0,25	0,73	Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,25	0,60	Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,162	0,25	0,64	Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,177	0,25	0,71	Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,25	0,74	Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,177	0,25	0,71	Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,151	0,25	0,61	Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,162	0,25	0,66	Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,177	0,25	0,72	Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,185	0,24	0,76	Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,200	0,24	0,83	Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,222	0,24	0,93	Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,185	0,24	0,78	Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,248	0,23	1,06	Posib. Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,248	0,23	1,08	Posib. Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,237	0,22	1,05	Posib. Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,262	0,22	1,19	Posib. Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,262	0,22	1,21	Posib. Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,300	0,21	1,42	No Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,277	0,21	1,34	No Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,300	0,20	1,48	No Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,307	0,20	1,55	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,377	0,19	1,94	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,262	0,19	1,38	No Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,300	0,19	1,61	No Licua

5. Magnitud 8

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	8
----	---

n	2,56
MSF	0,85

SONDEO 1 PROYECTO DE GRADO SIN FC

Z	Z	N	compacida	CL	%FC	σo	γ	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR YOUd	CSR CORR	FS	
0	0,5	5	Muy suelta	CL	74,89	0,8	1,6	0,30	1,94	7	0,259	1,00	5,00	1,20	14	0,151	0,31	0,49	Licua
0,5	1	8	Muy suelta	CL	74,89	1,6	1,6	0,60	1,89	11	0,258	0,99	5,00	1,20	19	0,207	0,30	0,68	Licua
1	1,5	5	Muy suelta	CL	74,89	2,4	1,6	0,90	1,83	7	0,257	0,99	5,00	1,20	13	0,144	0,30	0,47	Licua
1,5	2	4	Muy suelta	CL	74,89	3,2	1,6	1,20	1,79	5	0,256	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,30	0,40	Licua
2	2,5	4	Muy suelta	CL	74,89	4,0	1,6	1,50	1,74	5	0,255	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,30	0,41	Licua
2,5	3	8	Muy suelta	CL	74,89	4,8	1,6	1,80	1,69	10	0,254	0,98	5,00	1,20	17	0,185	0,30	0,62	Licua
3	3,5	6	Muy suelta	CL	74,89	5,6	1,6	2,10	1,65	7	0,253	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,30	0,51	Licua
3,5	4	7	Muy suelta	CL	74,89	6,4	1,6	2,40	1,61	8	0,252	0,97	5,00	1,20	15	0,162	0,30	0,54	Licua
4	4,5	8	Muy suelta	CL	74,89	7,2	1,6	2,70	1,57	9	0,251	0,97	5,00	1,20	16	0,177	0,30	0,60	Licua
4,5	5	9	Muy suelta	CL	74,89	8,0	1,6	3,00	1,54	10	0,250	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,29	0,63	Licua
5	5,5	8	Muy suelta	CL	74,89	8,8	1,6	3,30	1,50	9	0,249	0,96	5,00	1,20	16	0,177	0,29	0,60	Licua
5,5	6	7	Muy suelta	CL	97,25	9,6	1,6	3,60	1,47	8	0,248	0,95	5,00	1,20	14	0,151	0,29	0,52	Licua
6	6,5	8	Muy suelta	CL	97,25	10,4	1,6	3,90	1,44	9	0,247	0,95	5,00	1,20	15	0,162	0,29	0,56	Licua
6,5	7	9	Muy suelta	CL	97,25	11,2	1,6	4,20	1,41	10	0,246	0,95	5,00	1,20	16	0,177	0,29	0,61	Licua
7	7,5	10	Muy suelta	CL	97,25	12,1	1,7	4,55	1,37	10	0,243	0,94	5,00	1,20	17	0,185	0,29	0,64	Licua
7,5	8	11	Muy suelta	CL	97,25	12,9	1,7	4,90	1,34	11	0,241	0,94	5,00	1,20	18	0,200	0,28	0,70	Licua
8	8,5	13	Muy suelta	CL	97,25	13,8	1,7	5,25	1,31	13	0,239	0,93	5,00	1,20	20	0,222	0,28	0,79	Licua
8,5	9	10	Muy suelta	ML	69,40	14,6	1,7	5,60	1,28	10	0,237	0,93	5,00	1,20	17	0,185	0,28	0,66	Licua
9	9,5	15	Muy suelta	ML	69,40	15,5	1,7	5,95	1,25	14	0,233	0,92	5,00	1,20	22	0,248	0,27	0,90	Licua
9,5	10	15	Muy suelta	ML	69,40	16,3	1,7	6,30	1,23	14	0,229	0,91	5,00	1,20	22	0,248	0,27	0,92	Licua
10	10,5	15	Muy suelta	ML	69,40	17,2	1,7	6,65	1,20	14	0,225	0,89	5,00	1,20	21	0,237	0,27	0,89	Licua
10,5	11	17	Muy suelta	ML	69,40	18,0	1,7	7,00	1,18	15	0,221	0,88	5,00	1,20	23	0,262	0,26	1,01	Posib. Licua
11	11,5	17	Muy suelta	ML	69,40	18,9	1,8	7,40	1,15	15	0,216	0,87	5,00	1,20	23	0,262	0,25	1,03	Posib. Licua
11,5	12	20	suelta	ML	69,40	19,8	1,8	7,80	1,12	17	0,211	0,85	5,00	1,20	25	0,300	0,25	1,20	Posib. Licua
12	12,5	19	Muy suelta	ML	73,52	20,7	1,8	8,20	1,10	16	0,207	0,84	5,00	1,20	24	0,277	0,24	1,14	Posib. Licua
12,5	13	21	suelta	ML	73,52	21,6	1,8	8,60	1,08	17	0,202	0,83	5,00	1,20	25	0,300	0,24	1,26	Posib. Licua
13	13,5	22	suelta	ML	73,52	22,5	1,8	9,00	1,05	17	0,198	0,81	5,00	1,20	26	0,307	0,23	1,31	No Licua
13,5	14	26	suelta	ML	73,52	23,4	1,8	9,40	1,03	20	0,194	0,80	5,00	1,20	29	0,377	0,23	1,65	No Licua
14	14,5	20	suelta	ML	73,52	24,3	1,8	9,80	1,01	15	0,190	0,79	5,00	1,20	23	0,262	0,22	1,17	Posib. Licua
14,5	15	22	suelta	ML	73,52	25,2	1,8	10,20	0,99	16	0,186	0,77	5,00	1,20	25	0,300	0,22	1,36	No Licua

ANEXO I Programación en Excel Sondeo 2 sin FC (contenido de finos) variando la magnitud de 5, 6,7, 7.5 y 8, con los datos obtenidos en los ensayos, para fines académicos

1. Magnitud 5

NIVEL FREATICO PRESION POROS	0,5	M	Mw	5	n	2,93
	1	ton/m3				MSF

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO SIN FC																			
Z	Z	N	compacidad	CLASIFICACION	% FC	σ	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Yound	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,062	0,07	0,86	Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,311	0,07	4,34	No Licua
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,396	0,07	5,55	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,248	0,07	3,41	No Licua
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,207	0,07	2,82	No Licua
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,07	1,66	No Licua
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,122	0,07	1,65	No Licua
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,07	2,04	No Licua
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,129	0,07	1,74	No Licua
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,162	0,07	2,19	No Licua
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,07	2,50	No Licua
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,07	1,45	No Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,07	1,45	No Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,07	1,46	No Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,107	0,07	1,46	No Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,144	0,07	1,97	No Licua
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,144	0,07	1,98	No Licua
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,200	0,07	2,77	No Licua
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,300	0,07	4,22	No Licua
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,500	0,07	7,17	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,500	0,07	7,30	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,300	0,07	4,46	No Licua
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,162	0,07	2,45	No Licua
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,237	0,06	3,65	No Licua
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,200	0,06	3,14	No Licua
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,222	0,06	3,64	No Licua
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,277	0,06	4,63	No Licua
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,277	0,06	4,73	No Licua
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,237	0,06	4,14	No Licua

2. Magnitud 6

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	6
----	---

n	2,93
MSF	1,92

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO SIN FC

Z	Z	N	compacidad	CLASIFICACION	% FC	σ	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Yound	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,062	0,12	0,51	Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,311	0,12	2,54	No Licua
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,396	0,12	3,25	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,248	0,12	2,00	No Licua
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,207	0,13	1,65	No Licua
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,13	0,97	Licua
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,122	0,13	0,97	Licua
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,13	1,20	Posib. licuar
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,129	0,13	1,02	Posib. licuar
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,162	0,13	1,28	Posib. licuar
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,13	1,47	No Licua
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,13	0,85	Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,13	0,85	Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,13	0,85	Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,107	0,12	0,86	Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,144	0,12	1,16	Posib. licuar
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,144	0,12	1,16	Posib. licuar
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,200	0,12	1,62	No Licua
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,300	0,12	2,48	No Licua
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,500	0,12	4,20	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,500	0,12	4,28	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,300	0,11	2,61	No Licua
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,162	0,11	1,44	No Licua
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,237	0,11	2,14	No Licua
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,200	0,11	1,84	No Licua
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,222	0,10	2,13	No Licua
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,277	0,10	2,72	No Licua
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,277	0,10	2,77	No Licua
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,237	0,10	2,42	No Licua

3. Magnitud 7

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	7
----	---

n	2,93
MSF	1,22

																		PRESION POROS		1	ton/m3
SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO SIN FC																					
Z	Z	N	compacidad	CLASIFICACION	% FC	σo	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	vd	α	β	N corr Finos	CRR Yound	CSR CORR	FS			
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,062	0,19	0,32	Licua		
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,311	0,19	1,62	No Licua		
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,396	0,19	2,07	No Licua		
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,248	0,19	1,27	Posib. licuar		
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,207	0,20	1,05	Posib. licuar		
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,20	0,62	Licua		
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,122	0,20	0,62	Licua		
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,20	0,76	Licua		
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,129	0,20	0,65	Licua		
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,162	0,20	0,82	Licua		
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,20	0,93	Licua		
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,20	0,54	Licua		
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,20	0,54	Licua		
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,20	0,54	Licua		
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,107	0,20	0,55	Licua		
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,144	0,20	0,74	Licua		
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,144	0,20	0,74	Licua		
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,200	0,19	1,03	Posib. licuar		
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,300	0,19	1,58	No Licua		
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,500	0,19	2,67	No Licua		
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,500	0,18	2,72	No Licua		
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,300	0,18	1,66	No Licua		
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,162	0,18	0,91	Licua		
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,237	0,17	1,36	No Licua		
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,200	0,17	1,17	Posib. licuar		
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,222	0,16	1,36	No Licua		
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,277	0,16	1,73	No Licua		
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,277	0,16	1,77	No Licua		
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,237	0,15	1,54	No Licua		

4. Magnitud 7.5

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	7,5
----	-----

n	2,56
MSF	1,00

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO SIN FC																			
Z	Z	N	compacidad	CLASIFICACION	% FC	σ_o	Y	σ'_o	Cn	Ncorr	CSR	vd	α	β	N corr Finos	CRR Yound	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,062	0,24	0,26	Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,311	0,23	1,32	No Licua
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,396	0,23	1,69	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,248	0,24	1,04	Posib. licuar
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,207	0,24	0,86	Licua
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,24	0,50	Licua
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,122	0,24	0,50	Licua
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,24	0,62	Licua
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,129	0,24	0,53	Licua
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,162	0,24	0,67	Licua
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,24	0,76	Licua
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,24	0,44	Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,24	0,44	Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,24	0,44	Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,107	0,24	0,45	Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,144	0,24	0,60	Licua
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,144	0,24	0,60	Licua
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,200	0,24	0,84	Licua
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,300	0,23	1,29	Posib. licuar
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,500	0,23	2,19	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,500	0,22	2,23	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,300	0,22	1,36	No Licua
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,162	0,22	0,75	Licua
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,237	0,21	1,11	Posib. licuar
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,200	0,21	0,96	Licua
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,222	0,20	1,11	Posib. licuar
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,277	0,20	1,41	No Licua
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,277	0,19	1,44	No Licua
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,237	0,19	1,26	Posib. licuar

5. Magnitud 8

NIVEL FREATICO	0,5	M
PRESION POROS	1	ton/m3

Mw	8
----	---

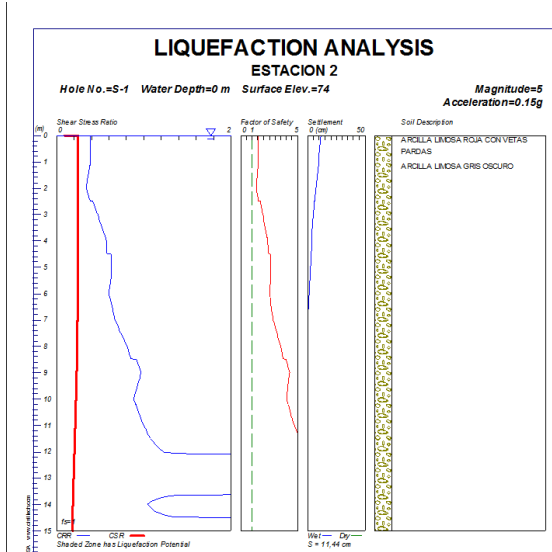
n	2,56
MSF	0,85

SONDEO 2 PROYECTO DE GRADO SIN FC

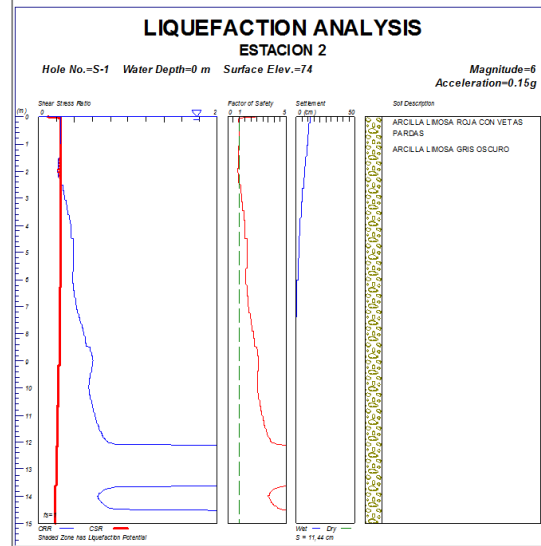
Z	Z	N	compacidad	CLASIFICACION	% FC	σo	Y	σ'o	Cn	Ncorr	CSR	γd	α	β	N corr Finos	CRR Yound	CSR CORR	FS	
0	0,5	0,01	Muy suelta	SMd	74,35	0,85	1,7	0,35	1,93	0	0,24	1,00	5,00	1,20	5	0,062	0,28	0,22	Licua
0,5	1	13	Muy suelta	SMd	74,35	1,70	1,7	0,70	1,87	18	0,23	0,99	5,00	1,20	27	0,311	0,28	1,12	Posib. licuar
1	1,5	15	Muy suelta	SMd	74,35	2,55	1,7	1,05	1,81	20	0,23	0,99	5,00	1,20	29	0,396	0,28	1,43	No Licua
1,5	2	11	Muy suelta	SMd	74,35	3,35	1,6	1,35	1,76	15	0,24	0,98	5,00	1,20	22	0,248	0,28	0,88	Licua
2	2,5	9	Muy suelta	SMd	74,35	4,15	1,6	1,65	1,72	12	0,24	0,98	5,00	1,20	19	0,207	0,28	0,73	Licua
2,5	3	4	Muy suelta	ML	67,60	4,95	1,6	1,95	1,67	5	0,24	0,98	5,00	1,20	11	0,122	0,29	0,43	Licua
3	3,5	4	Muy suelta	ML	67,60	5,75	1,6	2,25	1,63	5	0,24	0,97	5,00	1,20	11	0,122	0,29	0,43	Licua
3,5	4	6	Muy suelta	ML	67,60	6,55	1,6	2,55	1,59	7	0,24	0,97	5,00	1,20	14	0,151	0,29	0,53	Licua
4	4,5	5	Muy suelta	ML	67,60	7,35	1,6	2,85	1,56	6	0,24	0,97	5,00	1,20	12	0,129	0,29	0,45	Licua
4,5	5	7	Muy suelta	ML	67,60	8,15	1,6	3,15	1,52	8	0,24	0,96	5,00	1,20	15	0,162	0,29	0,57	Licua
5	5,5	9	Muy suelta	ML	67,60	8,95	1,6	3,45	1,49	10	0,24	0,96	5,00	1,20	17	0,185	0,29	0,65	Licua
5,5	6	4	Muy suelta	ML	67,60	9,75	1,6	3,75	1,45	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,29	0,38	Licua
6	6,5	4	Muy suelta	ML	67,60	10,55	1,6	4,05	1,42	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,28	0,38	Licua
6,5	7	4	Muy suelta	ML	96,97	11,35	1,6	4,35	1,39	4	0,24	0,95	5,00	1,20	10	0,107	0,28	0,38	Licua
7	7,5	4	Muy suelta	ML	96,97	12,15	1,6	4,65	1,37	4	0,24	0,94	5,00	1,20	10	0,107	0,28	0,38	Licua
7,5	8	7	Muy suelta	ML	96,97	12,95	1,6	4,95	1,34	7	0,24	0,94	5,00	1,20	13	0,144	0,28	0,51	Licua
8	8,5	7	Muy suelta	ML	96,97	13,75	1,6	5,25	1,31	7	0,24	0,93	5,00	1,20	13	0,144	0,28	0,51	Licua
8,5	9	11	Muy suelta	ML	96,97	14,60	1,7	5,60	1,28	11	0,24	0,93	5,00	1,20	18	0,200	0,28	0,72	Licua
9	9,5	18	Muy suelta	ML	96,97	15,45	1,7	5,95	1,25	17	0,23	0,92	5,00	1,20	25	0,300	0,27	1,09	Posib. licuar
9,5	10	24	suelta	ML	96,97	16,30	1,7	6,30	1,23	22	0,23	0,91	5,00	1,20	32	0,500	0,27	1,85	No Licua
10	10,5	29	suelta	ML	96,97	17,15	1,7	6,65	1,20	26	0,22	0,89	5,00	1,20	36	0,500	0,27	1,89	No Licua
10,5	11	19	Muy suelta	ML	96,97	18,00	1,7	7,00	1,18	17	0,22	0,88	5,00	1,20	25	0,300	0,26	1,15	Posib. licuar
11	11,5	10	Muy suelta	ML	72,88	18,85	1,7	7,35	1,15	9	0,22	0,87	5,00	1,20	15	0,162	0,26	0,63	Licua
11,5	12	16	Muy suelta	ML	72,88	19,70	1,7	7,70	1,13	14	0,21	0,85	5,00	1,20	21	0,237	0,25	0,94	Licua
12	12,5	13	Muy suelta	ML	72,88	20,55	1,7	8,05	1,11	11	0,21	0,84	5,00	1,20	18	0,200	0,25	0,81	Licua
12,5	13	15	Muy suelta	ML	72,88	21,45	1,8	8,45	1,08	12	0,20	0,83	5,00	1,20	20	0,222	0,24	0,94	Licua
13	13,5	20	suelta	ML	72,88	22,35	1,8	8,85	1,06	16	0,20	0,81	5,00	1,20	24	0,277	0,23	1,20	Posib. licuar
13,5	14	20	suelta	ML	72,88	23,25	1,8	9,25	1,04	16	0,20	0,80	5,00	1,20	24	0,277	0,23	1,22	Posib. licuar
14	14,5	18	Muy suelta	ML	72,88	24,15	1,8	9,65	1,02	14	0,19	0,79	5,00	1,20	21	0,237	0,22	1,07	Posib. licuar

ANEXO J Graficas obtenidas del Sondeo 1 con FC (contenidos de finos) utilizando el software. Con las diferentes magnitudes y datos que se obtuvieron de los ensayos.

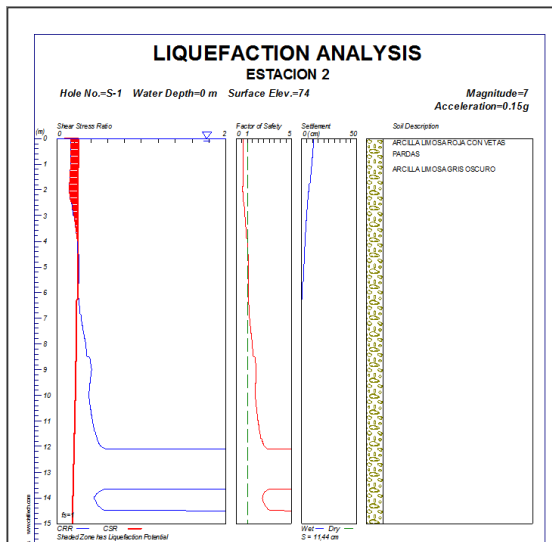
MAGNITUD 5



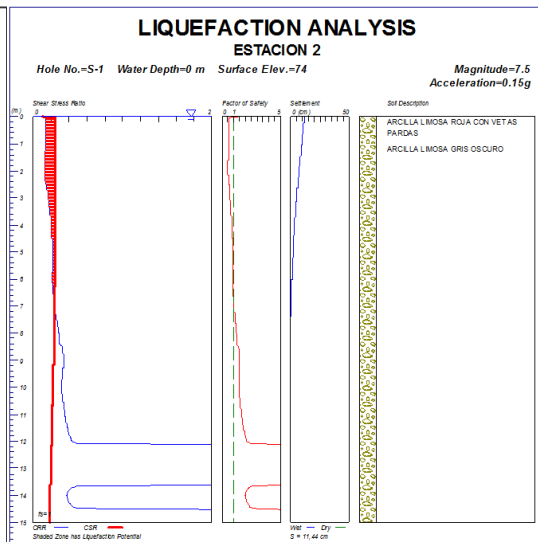
MAGNITUD 6



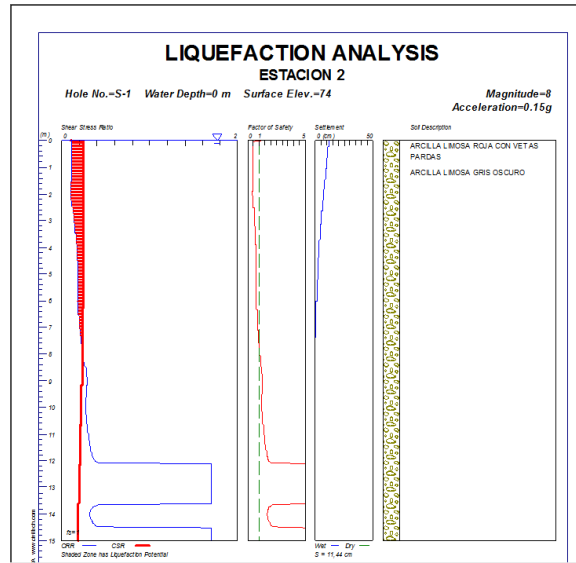
MAGNITUD 7



MAGNITUD 7.5

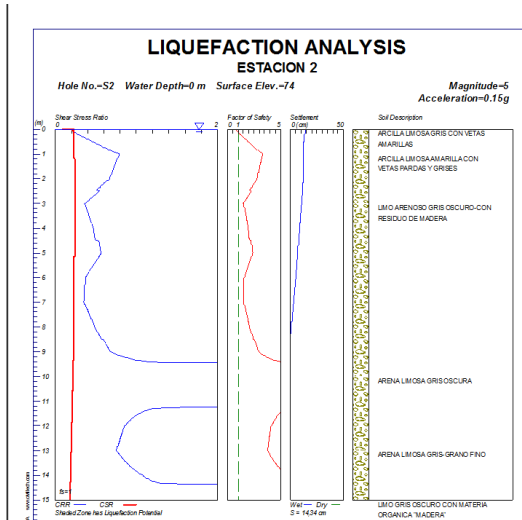


MAGNUTD 8

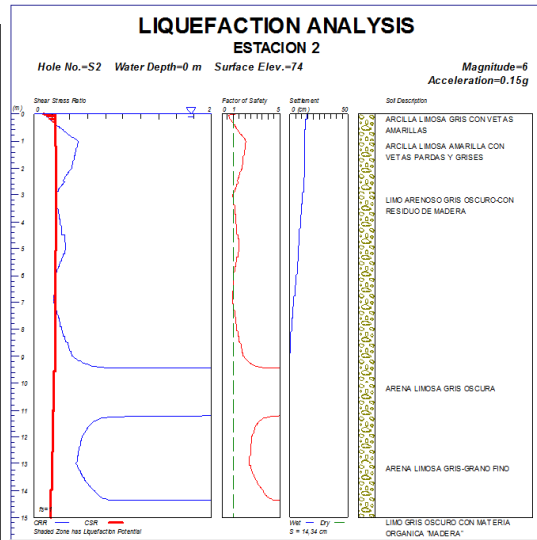


ANEXO K Graficas obtenidas del Sondeo 2 con FC (contenidos de finos) utilizando el software. Con las diferentes magnitudes y datos que se obtuvieron de los ensayos.

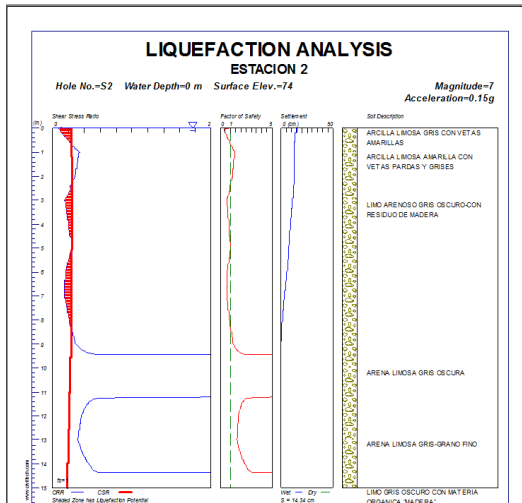
MAGNTUD 5



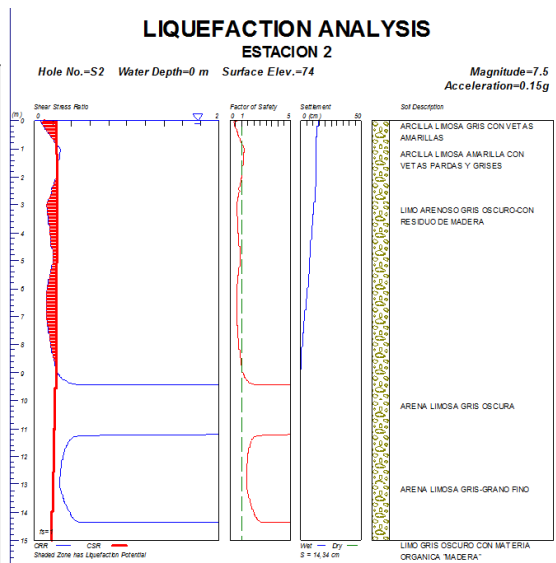
MAGNITUD 6



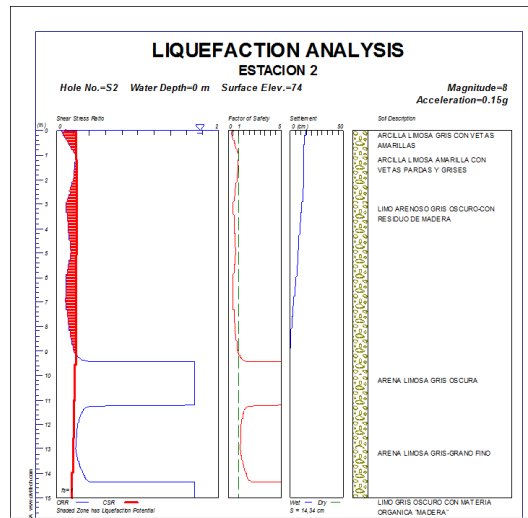
MAGNITUD 7



MAGNITUD 7.5

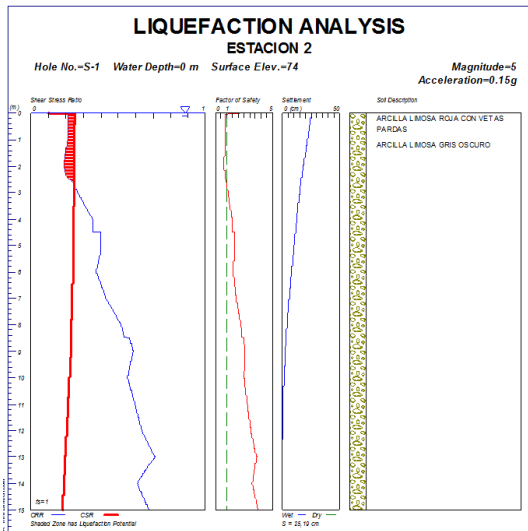


MAGNITUD 8

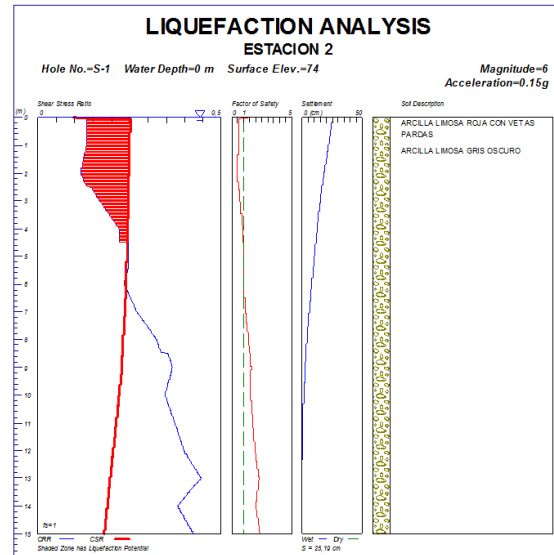


ANEXO L Graficas obtenidas del Sondeo 1 sin FC (contenidos de finos) utilizando el software. Con las diferentes magnitudes y datos que se obtuvieron de los ensayos. Para fines académicos

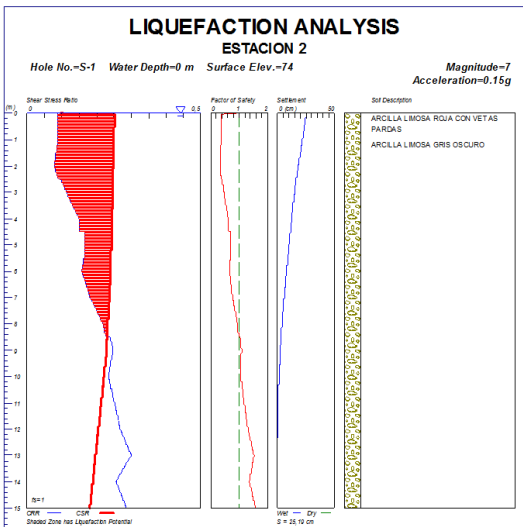
MAGNITUD 5



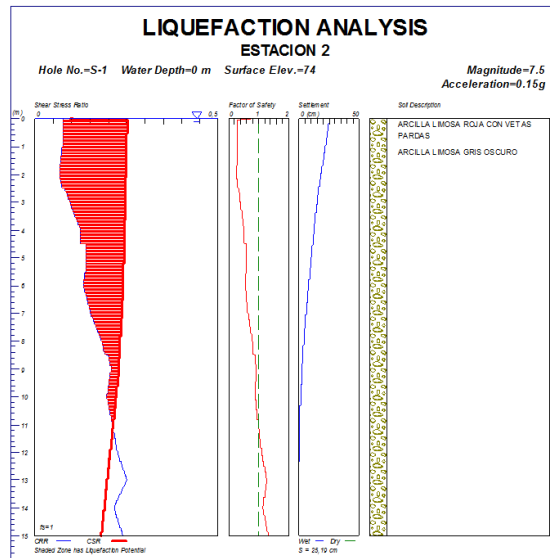
MAGNITUD 6



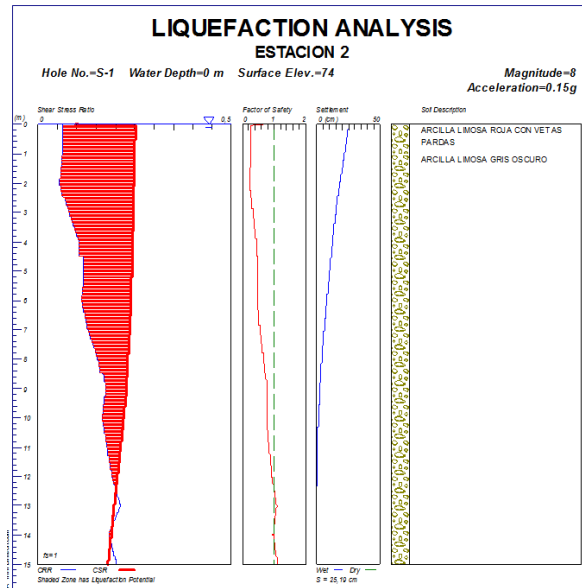
MAGNITUD 7



MAGNITUD 7.5

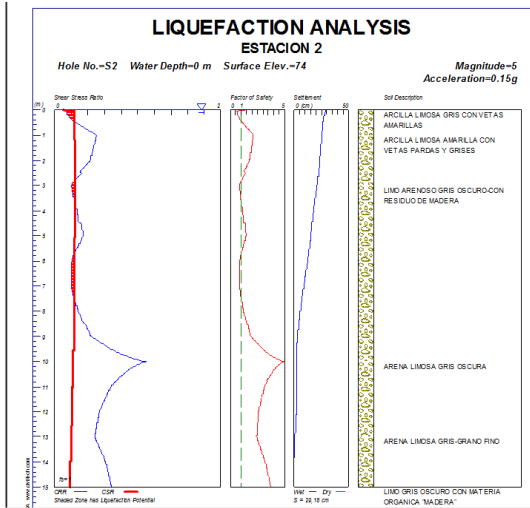


MAGNITUD 8

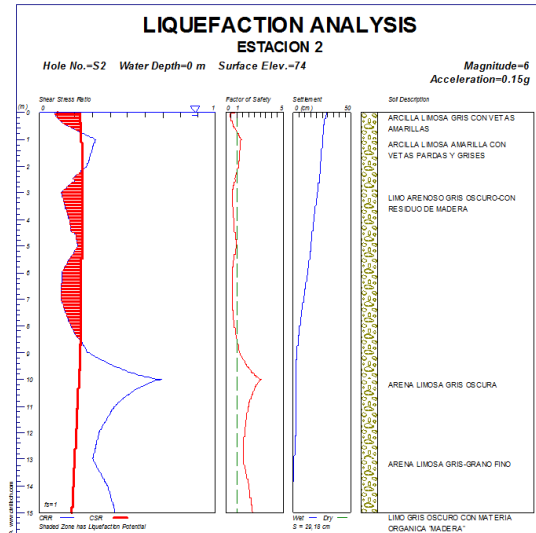


ANEXO M Graficas obtenidas del Sondeo 2 sin FC (contenidos de finos) utilizando el software. Con las diferentes magnitudes y datos que se obtuvieron de los ensayos., para fines académicos.

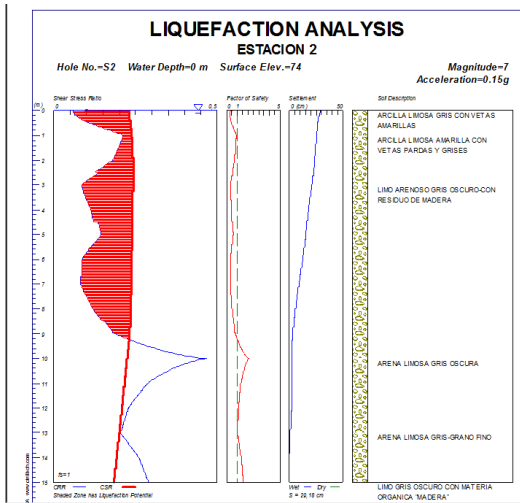
MAGNITUD 5



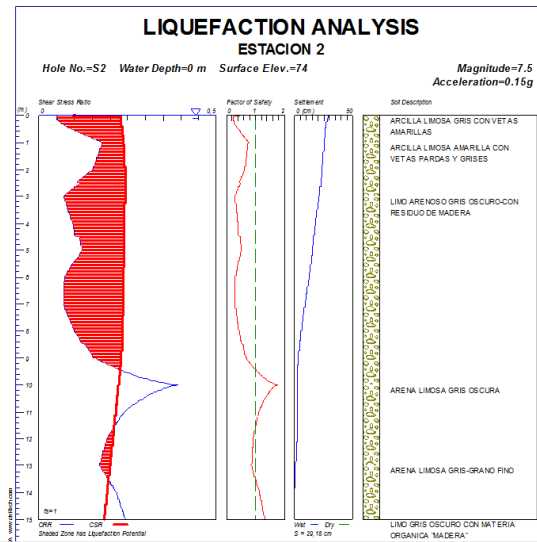
MAGNITUD 6



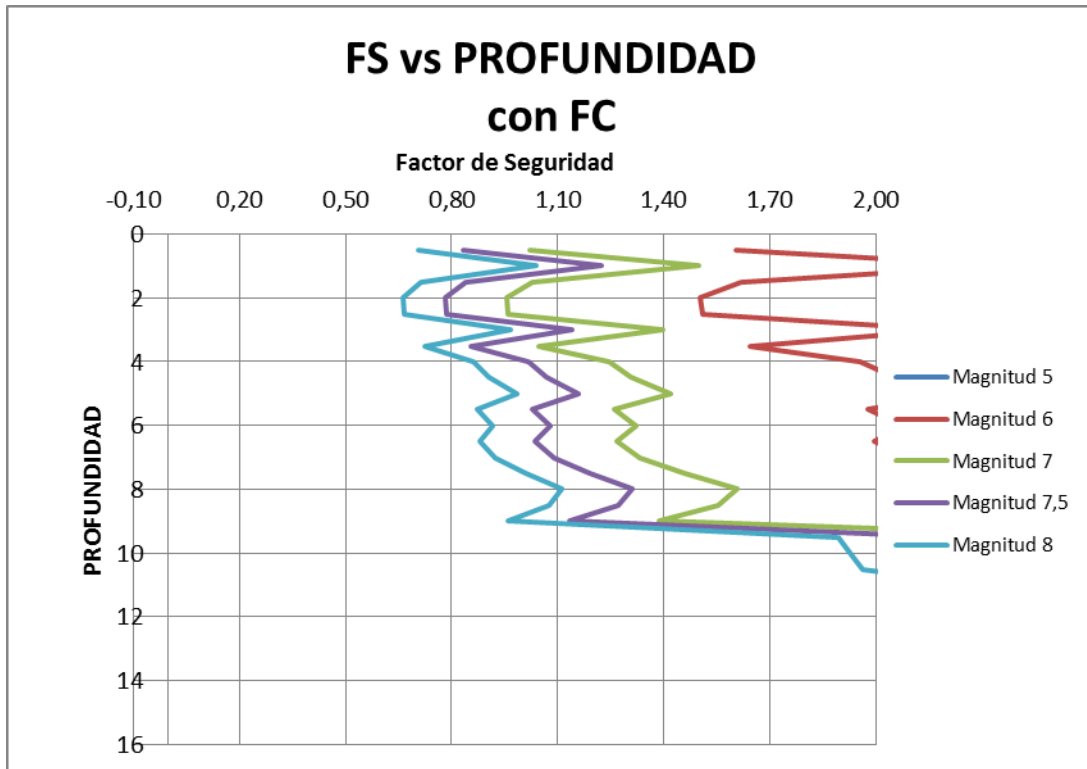
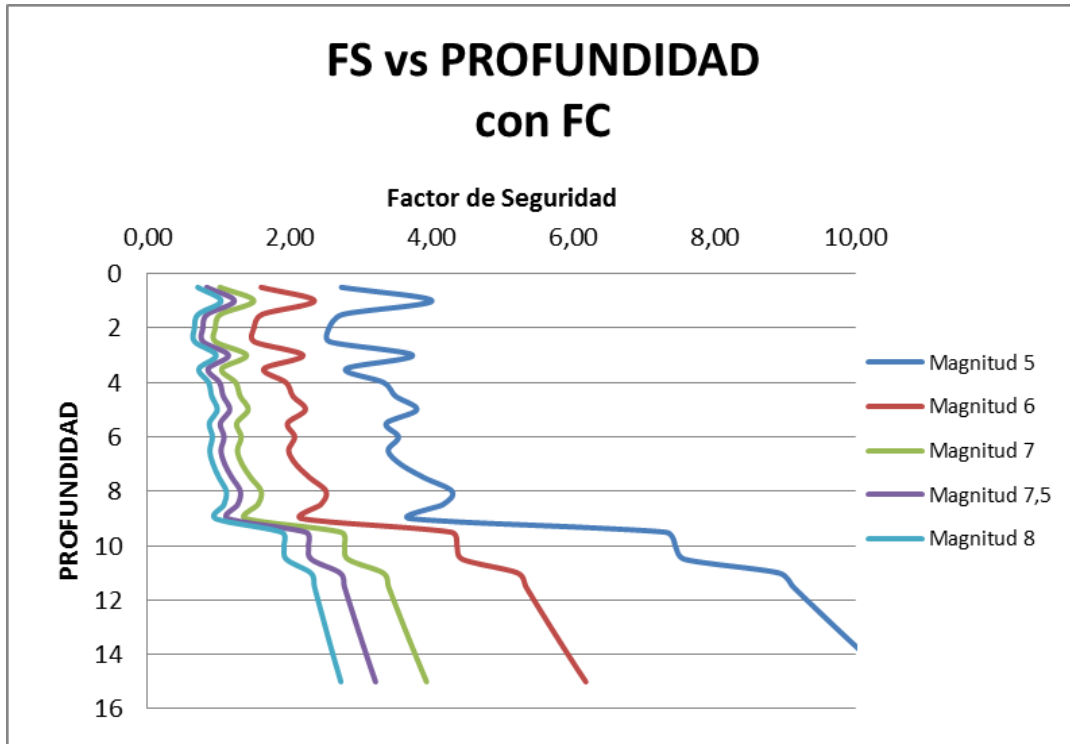
MAGNITUD 7



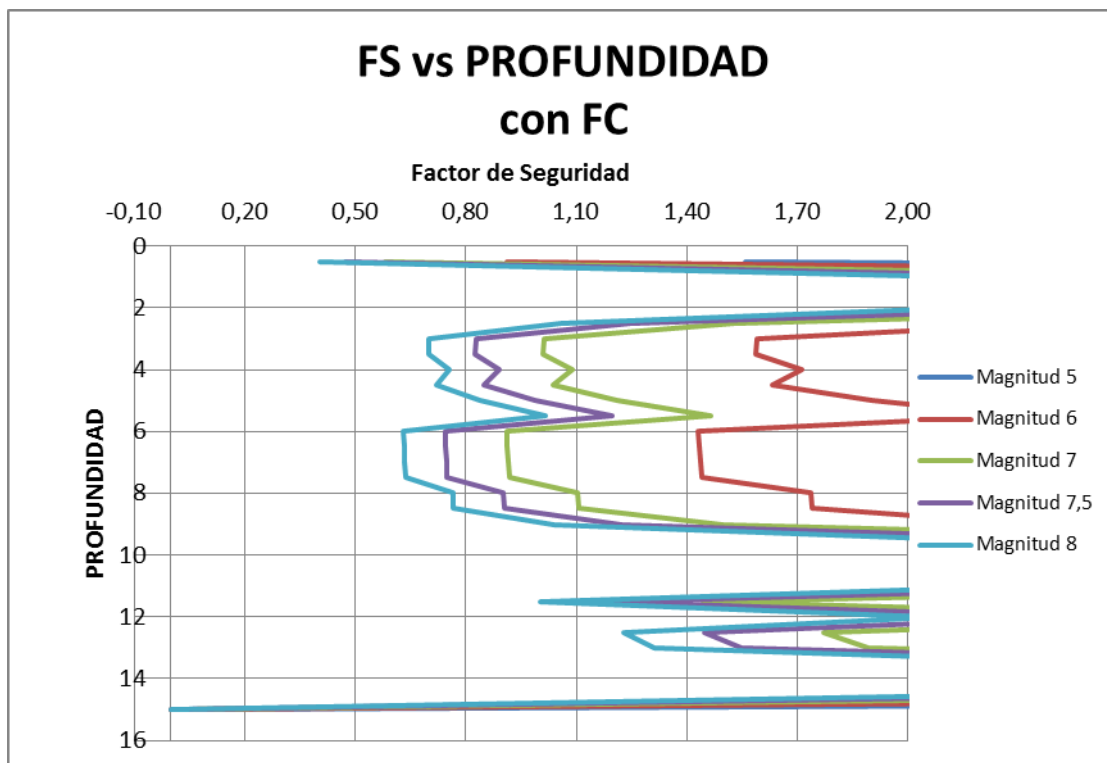
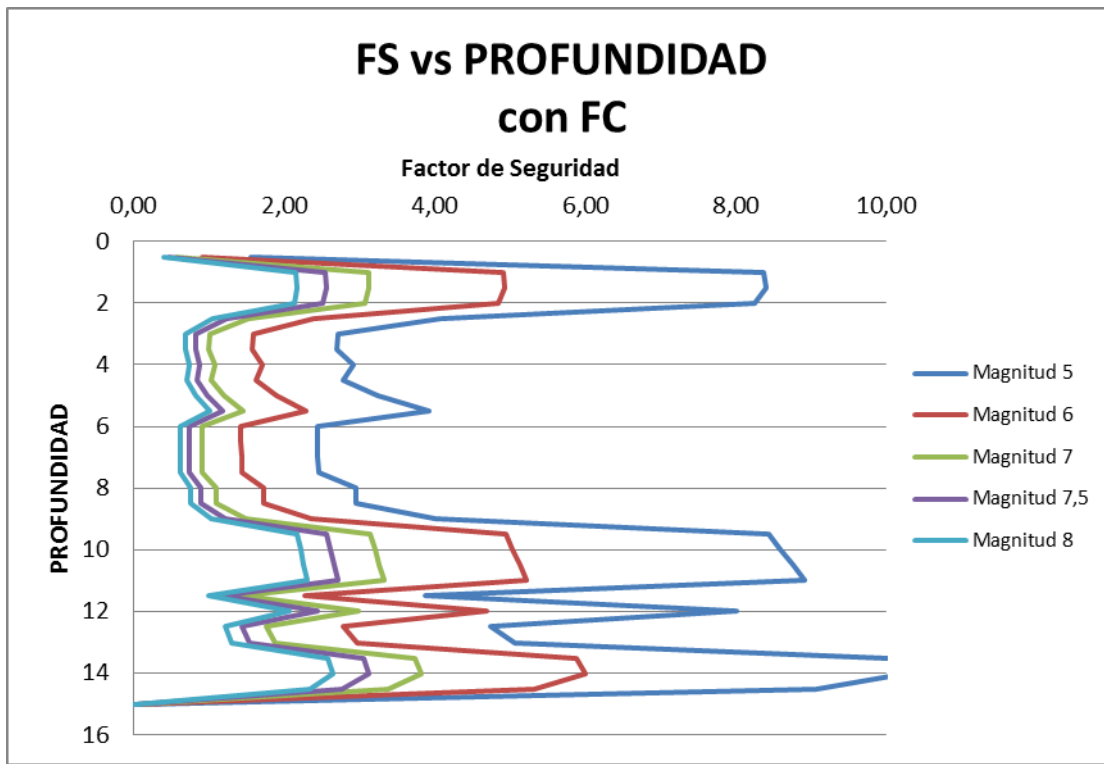
MAGNITUD 7.5



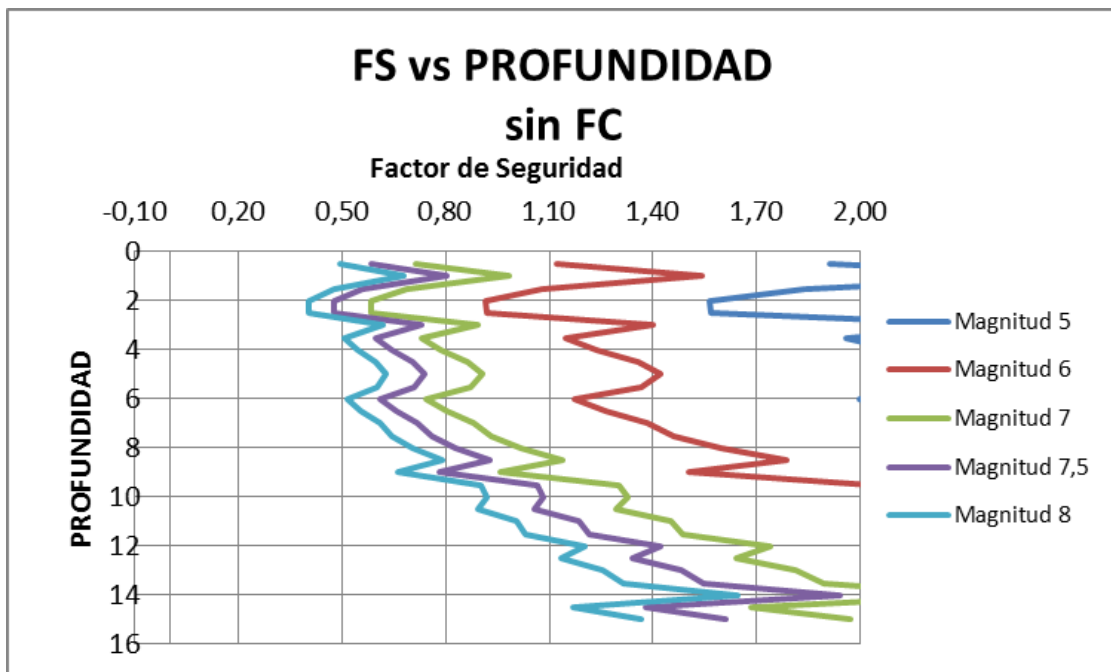
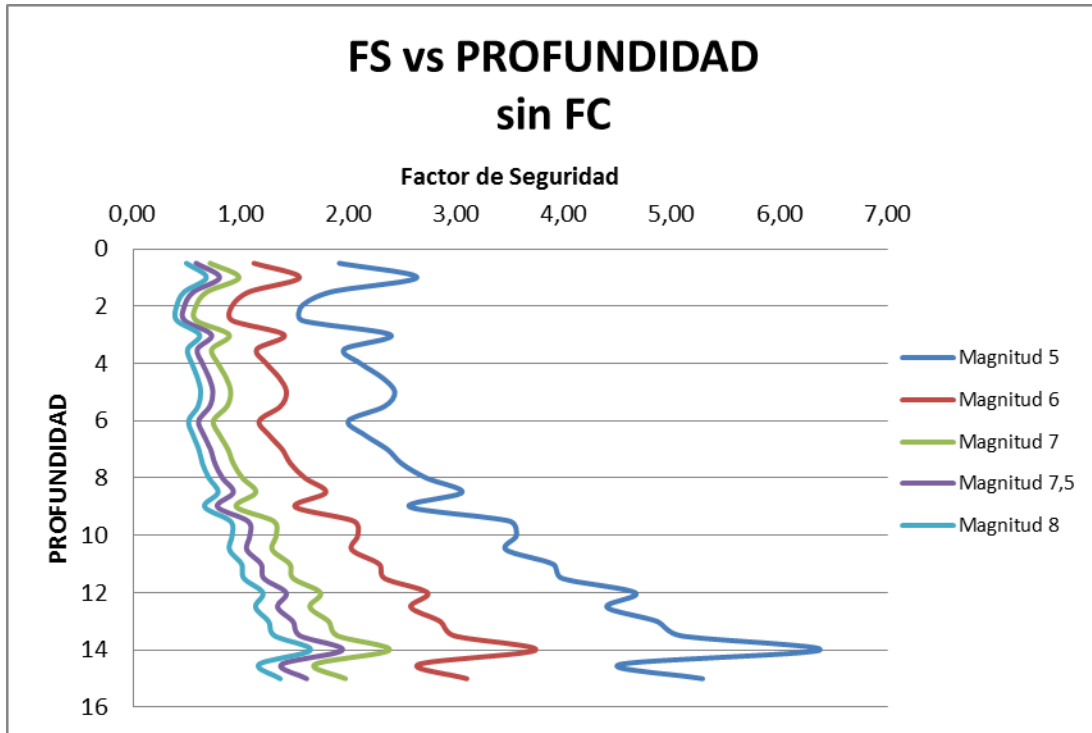
ANEXO N Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 1 con FC (contenido de finos)



ANEXO O Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 2 con FC (contenido de finos)



ANEXO P Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 1 sin FC (contenido de finos)



ANEXO Q Graficas FS vs PROFUNDIDAD, para el sondeo 2 sin FC (contenido de finos)

