



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE  
LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS  
DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE - 2017**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**Autor (es):**

**Bach. Quintana Jaramillo, Francis Joel**

**<https://orcid.org/0000-0001-8222-8639>**

**Bach. Reyes Reátegui, Cristian Guillermo**

**<https://orcid.org/0000-0001-7778-6492>**

**Asesor:**

**Dra. Sotomayor Nunura Gioconda del Socorro**

**<https://orcid.org/0000-0001-6082-0893>**

**Línea de Investigación**

**Ingeniería de Procesos**

**Pimentel – Perú**

**2017**

# **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

## **APROBACIÓN DE INFORME DE INVESTIGACIÓN**

---

Dra. Sotomayor Nunura Gioconda del Socorro

Asesor

---

Dr. Ing. Coronado Zuloeta Omar

Presidente del Jurado de tesis

---

Mg. Ing. Muñoz Pérez Sócrates Pedro

Secretario del jurado de tesis

---

Mg. Ing. Salinas Vásquez Néstor Raúl

Vocal del jurado de tesis

## **DEDICATORIA**

Esta tesis de grado, al igual que el resto de los trabajos realizados, los dedico a mis pequeñas hijas Guadalupe y Ariana, a mi esposa Lucia así como también a mi madre Isabel, puesto que juntas ellas han sido la inspiración para todos los logros alcanzados; así como también lo dedico a mi padres y hermanos quienes me han dado la fuerza para seguir siendo el impulso y ejemplo en sus vidas

**Francis Quintana Jaramillo**

A Dios por brindarle vida a mi gran maestra de la vida, a mi guía terrenal, a mi bella madre Angeolina, por apoyarme a seguir mis metas y cumplirlas, por su amor y cuidados, a mi segunda madre quien también me brindó su apoyo y a mi abuelo que fue como mi padre, quien con sus consejo y ejemplo me hizo un hombre de bien.

**Cristian Reyes Reategui**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida; en especial a mi madre, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue, y que en la vida nadie nos regala nada y por cada día hacerme ver la vida de una forma diferente y confiar en mis decisiones.

Agradezco a mi esposa, por brindarme siempre el apoyo emocional y las fuerzas para seguir adelante.

**Francis Quintana**

Tus esfuerzos son impresionantes y tu amor es para mí invaluable. Junto con mis abuelos me has educado, me has proporcionado todo y cada cosa que he necesitado. Has trabajado duro, sin importar si llegabas cansada de tu trabajo. Tus enseñanzas las aplico cada día; de verdad que tengo mucho por agradecerte.

Tus ayudas fueron fundamentales para la culminación de mi tesis.

Te doy las gracias, madre.

**Cristian Reyes**

## **Resumen**

La presente investigación centrada en determinar el potencial de licuefacción de suelos en la zona las Dunas de la ciudad de Lambayeque, permitió conocer la relevancia del potencial de licuefacción de los suelos en la zona indicada y los riesgos que este fenómeno puede traer; fue una investigación aplicada, con un diseño cuasi experimental. Se evaluó en detalle la estratigrafía del suelo con un análisis in situ y en laboratorio, luego de recabada la información, se procedió análisis de los resultados, usando la metodología de Seed & Idriss para la determinación el potencial de licuefacción. Concluyendo que, el área de estudio de la zona sur este presenta una posibilidad muy alta de sufrir el fenómeno de la licuefacción, siendo esta estudiada a diferentes grados de sismos permitiéndonos conocer que la zona en su totalidad no es susceptible a este fenómeno por lo que es fundamental en la zona afectada realizar trabajos de mejoramiento de suelos, aplicando técnicas para tratar este fenómeno, usando asimismo micropilotes o columnas de grava.

**Palabras clave:** Suelos, licuefacción, potencial, dunas, Lambayeque

## **Abstract**

The present investigation centered in determining the potential of liquefaction of soils in the zone the Dunes of the city of Lambayeque, allowed to know the relevance of the potential of liquefaction of the soils in the indicated zone and the risks that this phenomenon can bring; it was an applied research, with a quasi-experimental design. The stratigraphy of the soil was evaluated in detail with an in situ and laboratory analysis, after the information was collected, the results were analyzed, using the Seed & Idriss methodology to determine the liquefaction potential. Concluding that, the study area of the south zone presents a very high possibility of suffering the phenomenon of liquefaction, being studied at different degrees of earthquakes allowing us to know that the area as a whole is not susceptible to this phenomenon. It is essential in the affected area to perform soil improvement works, applying techniques to treat this phenomenon, also using micropiles or gravel columns.

**Keywords:** Floors, liquefaction, potential, dunes, Lambayeque

# INDICE GENERAL

HOJA DE JURADO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
<i>Resumen</i> .....	v
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	v
<i>Abstract</i> .....	vi
<b>KEYWORDS</b> .....	vi
INDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	16
<b>1.1. Realidad Problemática</b> .....	16
<i>Internacional</i> .....	16
<i>Nacional</i> .....	17
<i>Regional</i> .....	18
<b>1.2. Antecedentes de Estudio</b> .....	22
<i>Internacional</i> .....	22
<i>Latinoamericano</i> .....	23
<i>Nacional</i> .....	28
<i>Regional</i> .....	30
<b>1.3. Teorías relacionadas al tema</b> .....	33
<b>1.3.1. Variables Independientes</b> .....	33
<b>1.3.2. Variables Dependientes</b> .....	57
<b>1.3.3. Impacto Ambiental</b> .....	96
<b>1.3.4. Seguridad y Salud Ocupacional</b> .....	96
<b>1.3.5. Gestión de Riesgos y Prevención de Desastres</b> .....	97
<b>1.3.6. Estimación de costos</b> .....	97
<b>1.3.7. Normativa</b> .....	97
<b>1.3.8. Estado del arte</b> .....	98
<b>1.3.9. Definición de términos</b> .....	101
<b>1.4. Formulación del Problema</b> .....	104

1.5.	Justificación e importancia del estudio .....	104
1.6.	Hipótesis.....	105
1.7.	Objetivos .....	105
	Objetivo General .....	105
	Objetivo Específicos .....	105
<b>CAPÍTULO II: MÉTODO .....</b>		<b>107</b>
2.1.	Tipo y Diseño de Investigación.....	107
2.1.1.	Tipo de Investigación .....	107
2.1.2.	Diseño de Investigación.....	107
2.2.	Población y muestra .....	108
2.2.1.	Población .....	108
2.2.2.	Muestra .....	108
2.3.	Variables, Operacionalización.....	108
2.3.1.	Variables .....	108
2.3.2.	Operacionalización.....	110
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	112
2.4.1.	Técnicas de recolección de datos.....	112
2.4.2.	Instrumento de recolección de datos .....	112
2.5.	Procedimiento de análisis de datos .....	114
2.5.1.	Diagrama de flujo de procesos.....	114
2.5.2.	Descripción de procesos .....	115
2.6.	Criterios éticos .....	142
2.7.	Criterios de Rigor Científico .....	142
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS .....</b>		<b>144</b>
3.1.	<b>RESULTADOS EN TABLAS Y FIGURAS .....</b>	<b>144</b>
3.1.1.	<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....</b>	<b>144</b>
3.1.2.	<b>CARACTERÍSTICAS HIDROMÉTRICAS DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO .....</b>	<b>148</b>
3.1.3.	<b>CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO ...</b>	<b>162</b>
3.1.4.	<b>MAPEO DE LAS CAPACIDADES PORTANTES DE LA ZONA, USANDO LOS DATOS DEL ENSAYO SPT.....</b>	<b>169</b>
3.1.5.	<b>DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS DE LA CIUDAD DE LAMBAYEQUE.....</b>	<b>170</b>
3.1.6.	<b>ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>207</b>
3.2.	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>209</b>

<b>A. Realización el levantamiento topográfico del terreno obteniendo cotas reales del terreno .....</b>	<b>209</b>
<b>B. Determinación las características hidrométricas del perfil estratigráfico .....</b>	<b>210</b>
<b>C. Identificación las características geotécnicas del perfil estratigráfico de la zona en estudio con el ensayo SPT .....</b>	<b>211</b>
<b>D. Diseño del mapeo de las capacidades portantes de la zona en estudio utilizando los datos del ensayo SPT .....</b>	<b>212</b>
<b>E. Determinación el potencial de licuefacción de los suelos en la zona las Dunas de la ciudad de Lambayeque .....</b>	<b>214</b>
<b>F. Estimación de costos para la implementación del proyecto .....</b>	<b>214</b>
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>216</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>216</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>217</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>223</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Croquis de la zona Las Dunas - Lambayeque .....	18
Figura 2: Se observa viviendas de adobe las cuales están construidas por los mismos pobladores están en riesgo por este fenómeno .....	19
Figura 3: Intersección de las calles en estudio, observando la precariedad de las viviendas. ....	19
Figura 4: Al fondo de la imagen se observa depósitos jóvenes de arenas (dunas), índice el cual nos da referencia a la presencia de este fenómeno. ....	20
Figura 5: Se aprecia que la napa freática es alta. Encontrando muestra húmeda mayormente siendo arenas mal gradadas.....	21
Figura 6: Formación de suelos .....	36
Figura 7: Perfil de roca madre según diferentes autores, que ocupa la parte más baja y alejada de la superficie y el suelo la más alta. ....	37
Figura 8 Estructura y esquematización de algunas arcillas típicas. ....	40
Figura 9: Características de algunas arcillas .....	41
Figura 10: Esquema de una muestra de suelo.....	44
Figura 11: Piezómetro de piedra porosa tipo Casagrande.....	48
Figura 12: Determinación de los niveles de agua. ....	49
Figura 13: Disposición para la toma de muestras y ejecución del ensayo normal de penetración en una perforación. ....	50
Figura 14: Determinación de los niveles de agua .....	63
Figura 15: Curva pseudo aceleracion vs Tiempo .....	64
Figura 16: Si la columna analizada estuviera compuesta por un material rígido, el valor de $r_d$ para cualquier profundidad sería igual a 1 .....	66
Figura 17: Variación del coeficiente de reducción de tensiones con la profundidad y la magnitud del sismo .....	67
Figura 18: Factor de corrección de escala para distintas magnitudes del sismo .....	69
Figura 19: Gráfica para Factores de Corrección $C_N$ de Liao Whitman.....	74
Figura 20: Variación de $\Delta(N1)60$ con el contenido de finos .....	75
Figura 21: Distribución granulométrica de suelos granulares potencialmente licuables .....	76
Figura 22: Curva para estimar la magnitud del factor de corrección $K_M$ .....	78
Figura 23: Curva para estimar el coeficiente de corrección $K_\sigma$ .....	79
Figura 24: Estimación del coeficiente de corrección $K_\alpha$ .....	80
Figura 25: Casos históricos de arenas limpias que han experimentado licuefacción en función del valor del SPT corregido .....	80
Figura 26: Gráfico de Valores CN Basados en los Estudios de Marcuson y Bieganousky (como se citó en Alva 2002). ....	83
Figura 27: Gráfico de la Relación de Esfuerzo para Causar Licuación, vs Valores $N1$ , para Arenas Limosas para Terremotos de $M=7 - \frac{1}{2}$ .....	84
Figura 28: Relación entre valores $N$ Adicionales y Contenido de Finos .....	87
Figura 29: Gráfico de la Relación de la Resistencia a la Licuación vs Valores $N$ Corregidos.....	88
Figura 30: Curva base para arenas limpias para las magnitudes de sismos de 7.5, con los datos de casos históricos de licuación .....	92
Figura 31: Esquema constructivo del tratamiento de cimentación para construir un bloque de suelo reforzado.....	100

Figura 32: Sistema para disipación de las presiones para disminuir el efecto de la licuación de arenas saturadas.....	101
Figura 33: Esquema del diseño de investigación.....	107
Figura 34: Diagrama de flujo .....	114
Figura 35: Programa AutoCAD Civil 3D para crear Curvas de Nivel.....	116
Figura 36: Puntos del levantamiento extraídos de la Estación Total.....	116
Figura 37: Importado de datos al AutoCAD Civil 3D .....	117
Figura 38: Selección de orden de coordenadas en AutoCAD Civil 3D.....	117
Figura 39: Puntos importados en AutoCAD Civil 3D .....	118
Figura 40: Brindando formato y escala a los puntos del levantamiento .....	118
Figura 41: Brindando propiedades al dibujo .....	119
Figura 42: Puntos con sus respectivas etiquetas de ubicación .....	119
Figura 43: Escalado del dibujo .....	120
Figura 44: Proceso de creación de Curvas de Nivel .....	120
Figura 45: Editado de las Curvas de Nivel .....	121
Figura 46: Curvas de Nivel.....	121
Figura 47: Selección de separación entre curvas de nivel.....	122
Figura 48: Vista previa de las curvas de nivel.....	122
Figura 49: Uso del comando polilínea para ubicación de manzanas .....	123
Figura 50: Ubicación de puntos de exploración .....	124
Figura 51: Herramientas utilizadas durante la exploración .....	125
Figura 52: Proceso de exploración con posteadora.....	125
Figura 53: Extracción de muestras con posteadora.....	126
Figura 54: Reconocimiento visual del suelo extraído .....	126
Figura 55: Suelo extraído para el análisis visual .....	127
Figura 56: Medición de la profundidad del pozo de exploración.....	127
Figura 57: Ubicación de los puntos a realizar el ensayo SPT.....	128
Figura 58: Hoja del permiso de salida del equipo SPT .....	129
Figura 59: Medición para ensamblaje del equipo SPT.....	129
Figura 60: Excavación para trípode.....	130
Figura 61: Inserción del perno de anclaje .....	130
Figura 62: Ubicación de la polea.....	131
Figura 63: Ensamblaje del trípode .....	131
Figura 64: Ensayo SPT .....	132
Figura 65: Tomamuestras del SPT.....	133
Figura 66: Muestras obtenidas y guardadas en bolsas herméticas.....	133
Figura 67: Lavado de muestras.....	136
Figura 68: Cuarteo de muestras. ....	137
Figura 69: Tamizado de muestras.....	137
Figura 70: Saturación de las muestras para Limite Liquido.....	138
Figura 71: Muestras saturadas por estrato .....	139
Figura 72: Canal en copa de Casagrande .....	139
Figura 73: Formación de cilindros para ensayo de Límite Plástico.....	140
Figura 74: Plano general de curvas de nivel.....	148
Figura 75: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 1.....	155
Figura 76: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 2 .....	156
Figura 77: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 3 .....	156

Figura 78: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 4 .....	157
Figura 79: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 5 .....	157
Figura 80: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 6 .....	158
Figura 81: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 1 .....	158
Figura 82: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 2 .....	159
Figura 83: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 3 .....	159
Figura 84: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 4 .....	160
Figura 85: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 5 .....	160
Figura 86: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 6 .....	161
Figura 87: Cimentación hecha de adobe .....	214

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de las partículas según su tamaño. ....	39
<b>Tabla 2:</b> Los límites de los intervalos para la densidad relativa son similares a los de la Tabla 3 ....	54
<b>Tabla 3:</b> Valores empíricos de $\phi$ , $D_r$ y $\gamma$ , relativos a N del SPT en suelos granulares normalmente consolidados y una profundidad de 6 m. ....	55
<b>Tabla 4:</b> Equipo de SPT estandarizado Recomendado por Seed et al en 1985 .....	71
<b>Tabla 5:</b> Factores de corrección para procedimientos y equipos no standard .....	72
<b>Tabla 6:</b> Número de ciclos representativos de terremotos de diferentes magnitudes.....	85
<b>Tabla 7:</b> Número de ciclos representativos de terremotos de diferentes magnitudes.....	86
<b>Tabla 8:</b> Comparación de las ventajas y desventajas de varias pruebas de campo para verificar la resistencia por licuación.....	91
<b>Tabla 9:</b> Correcciones a SPT .....	94
<b>Tabla 10:</b> Operacionalización .....	110
<b>Tabla 11:</b> Normativa usada .....	113
<b>Tabla 12:</b> Tabla de puntos del levantamiento.....	144
Tabla 13: Consolidado de ensayos de SPT-1 .....	149
Tabla 14: Consolidado de ensayos de SPT- 2.....	150
Tabla 15: Consolidado de ensayos de SPT- 3.....	151
Tabla 16: Consolidado de ensayos de SPT- 4.....	152
Tabla 17: Consolidado de ensayos de SPT- 5.....	153
Tabla 18: Consolidado de ensayos de SPT- 6.....	154
Tabla 19: Perfil Estratigráfico SPT - 1 .....	163
Tabla 20: Perfil Estratigráfico SPT - 2 .....	164
Tabla 21: Perfil Estratigráfico SPT - 3 .....	165
Tabla 22: Perfil Estratigráfico SPT - 4 .....	166
Tabla 23: Perfil Estratigráfico SPT - 5 .....	167
Tabla 24: Perfil Estratigráfico SPT - 6 .....	168
Tabla 25: Capacidades Portantes por punto analizado.....	169
Tabla 26: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a $M_w= 5.5$ .....	171
Tabla 27: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a $M_w= 6.0$ .....	172
Tabla 28: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a $M_w= 6.5$ .....	173
Tabla 29: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a $M_w= 7.0$ .....	174
Tabla 30: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a $M_w= 7.5$ .....	175
Tabla 31: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a $M_w= 8.0$ .....	176
Tabla 32: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a $M_w= 5.5$ .....	177
Tabla 33: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a $M_w= 6.0$ .....	178
Tabla 34: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a $M_w= 6.5$ .....	179
Tabla 35: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a $M_w= 7.0$ .....	180
Tabla 36: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a $M_w= 7.5$ .....	181
Tabla 37: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a $M_w= 8.0$ .....	182
Tabla 38: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a $M_w= 5.5$ .....	183
Tabla 39: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a $M_w= 6.0$ .....	184
Tabla 40: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a $M_w= 6.5$ .....	185

Tabla 41: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a Mw= 7.0.....	186
Tabla 42: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a Mw= 7.5.....	187
Tabla 43: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a Mw= 8.0.....	188
Tabla 44: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 5.5.....	189
Tabla 45: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 6.0.....	190
Tabla 46: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 6.5.....	191
Tabla 47: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 7.0.....	192
Tabla 48: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 7.5.....	193
Tabla 49: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 8.0.....	194
Tabla 50: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a Mw= 5.5.....	195
Tabla 51: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a Mw= 6.0.....	196
Tabla 52: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a Mw=6.5 .....	197
Tabla 53: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a Mw=7.0 .....	198
Tabla 54: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a Mw=7.5 .....	199
Tabla 55: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a Mw=8.0 .....	200
Tabla 56: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=5.5 .....	201
Tabla 57: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=6.0 .....	202
Tabla 58: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=6.5 .....	203
Tabla 59: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=7.0 .....	204
Tabla 60: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=7.5 .....	205
Tabla 61: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=8.0 .....	206
<b>Tabla 62:</b> Bienes materiales .....	207
<b>Tabla 63:</b> Aparato y equipos .....	207
<b>Tabla 64:</b> Servicios .....	207
<b>Tabla 65:</b> Presupuesto final.....	208
Tabla 66: Tipos de perfiles de suelo.....	212
Tabla 67: Profundidad y perfil de estratos .....	213

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Delimitación de zona de estudio .....	223
Anexo 2: Mapa de Peligros ciudad de Lambayeque .....	225
Anexo 3: Puntos de Investigación.....	226
Anexo 4: Formato para ensayo SPT Y perfil estratigráfico .....	226
Anexo 5: Formato para ensayo de contenido de humedad.....	227
Anexo 6: Formato para Limites de Atterberg.....	227
Anexo 7: Formato para ensayo de Granulometría .....	228
Anexo 8: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 1.1 .....	229
Anexo 9: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 1.2 .....	230
Anexo 10: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 1.3 .....	231
Anexo 11: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 2 .....	232
Anexo 12: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 3 .....	233
Anexo 13: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 4 .....	234
Anexo 14: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 1 .....	235
Anexo 15: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 2.1 .....	236
Anexo 16: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 2.2 .....	237
Anexo 17: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 2.3 .....	238
Anexo 187: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 3 .....	239
Anexo 19: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 4 .....	240
Anexo 20: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 1.1 .....	241
Anexo 21: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 1.2 .....	242
Anexo 22: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 2.2 .....	244
Anexo 23: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 3 .....	245
Anexo 24: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 4 .....	246
Anexo 25: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 1.1 .....	247
Anexo 26: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 1.2 .....	248
Anexo 27: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 2 .....	249
Anexo 28: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 3 .....	250
Anexo 29: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 4 .....	251
Anexo 30: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 5 .....	252
Anexo 31: Resultado de granulometría SPT 5- estrato 1.1 .....	253
Anexo 32: Resultado de granulometría SPT 5- estrato 1.2 .....	254
Anexo 33: Resultado de granulometría SPT 5- estrato 2.1 .....	255
Anexo 34: Resultado de granulometría SPT 5- estrato 2.2 .....	256
Anexo 35: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 1.1 .....	257
Anexo 36: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 1.2 .....	258
Anexo 37: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 1.3 .....	259
Anexo 38: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 2.1 .....	260
Anexo 39: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 2.2 .....	261
Anexo 40: Perfil Estratigráfico SPT 1.....	262
Anexo 41: Perfil Estratigráfico SPT 2.....	263

Anexo 42: Perfil Estratigráfico SPT 3 .....	264
Anexo 43: Perfil Estratigráfico SPT 4 .....	265
Anexo 44: Perfil Estratigráfico SPT 5 .....	266
Anexo 45: Perfil Estratigráfico SPT 6 .....	267
Anexo 46: Instalación del nivel topográfico .....	268
Anexo 47: Medición de los prismas para verificar alturas .....	268
Anexo 48: Instalación de primas para su posterior levantamiento .....	269
Anexo 49: Ubicación de nuevos puntos a levantar .....	269
Anexo 50: Levantamiento de una de las calles de la zona .....	270
Anexo 51: Levantamiento de la duna existente .....	270
Anexo 52: Seccionando la duna para mejor apreciación en planos .....	271
Anexo 53: Realizando un cambio de estación .....	271
Anexo 54: Instalación del equipo SPT .....	272
Anexo 55: Puesta del yunque para la realización de los trabajos .....	273
Anexo 56: Marca de la caña para su posterior golpeo .....	273
Anexo 57: Yunque hincando la caña para extracción de muestra .....	274
Anexo 58: Muestra extraída de la caña partida .....	274
Anexo 59: Punto explorado SPT 01 .....	275
Anexo 60: Plano de curvas de nivel de la zona las dunas – Lambayeque .....	276
Anexo 61: Plano de perfiles de calles de la zona las dunas – Lambayeque .....	277
Anexo 62: Plano de zona licuable $M_w=6.0$ y $M_w=7.0$ .....	278
Anexo 63: Plano de zona licuable $M_w=7.5$ y $M_w=8.0$ .....	279
Anexo 64: Informes de Laboratorio por cada punto de exploración .....	280

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

Los suelos por lo general pierden partes importantes de su resistencia por períodos cortos, pero aun así generan problemas en cuanto a la seguridad personal y pública, así como problemas en el aspecto económico, de allí la necesidad de realizar evaluaciones del potencial de licuefacción de los suelos para ejecutar proyectos de ingeniería, aplicando determinadas estrategias.

#### *Internacional*

Cuando ocurrió el sismo de 1964 en Anchorage, Alaska y Niigata, Japón, se reconoció al fenómeno de licuación de arenas como una de las principales causas de pérdidas humanas e infraestructura, por lo que este fenómeno ha sido uno de los más importantes, interesantes y controversiales temas en la ingeniería geotécnica, este fenómeno se viene presentando en numerosos terremotos, como ha quedado en evidencia en los registros históricos y geológicos. (EFEverde, 2014).

En Alaska en 1964, el viernes santo 27 de marzo de 1964, un terremoto de magnitud  $M_s=9.2$  golpeó Prince William Sound y causó severos daños en forma de desprendimientos en forma de tierra y licuación, éste evento duró 3 minutos, y fue sentido en 500 000 millas cuadradas. Un fuerte tsunami aumentó la cantidad de daño en el muelle, ocasionó muertes durante cinco horas después del sismo en la Ciudad Creciente, California (Silva, 2000).

En Chile, en el 2007 el terremoto de magnitud 8.8, produjo una licuefacción en más de 120 sitios que se ubicaron en una extensión de 800 km, desde La Calera hasta Valdivia, una población afectada de 12.77 millones. La magnitud de este fenómeno produjo daños en riberas de ríos y lagos, caminos, viviendas, edificios, puentes, pasos a desnivel, puertos, estructuras enterradas, entre otras obras de ingeniería (Fiestas y Tocto, 2013).

El terremoto del 3 de marzo de 1985, el cual afectó la zona con mayor densidad de población, donde se encuentran los dos puertos más importantes del país, Valparaíso y San

Antonio, y grandes estructuras de suelos o rellenos en forma de muelles, espigones. (Mussio, 2012).

Otro caso que se presentó en la ciudad de México, el valle de Mexicali se encuentra en la zona atravesada por la Falla de San Andrés, por lo que es una de las zonas sísmicamente más activas del país. Los sismos más sobresalientes en esta zona han sido; el 8 de junio de 1980, se produjo un sismo de magnitud de 6.7, el 4 de abril de 2010 se produjo un sismo de magnitud 7.2, el cual “causó daños a la infraestructura eléctrica en la zona del Valle de Mexicali, colapso de la carretera Tijuana-Mexicali a la altura del kilómetro 21 La Rumorosa”, reportándose múltiples fenómenos de licuación, generando grietas en el terreno, en tramos de carretera, deformaciones verticales y horizontales en algunos tramos de la vía del ferrocarril (Mussio, 2012).

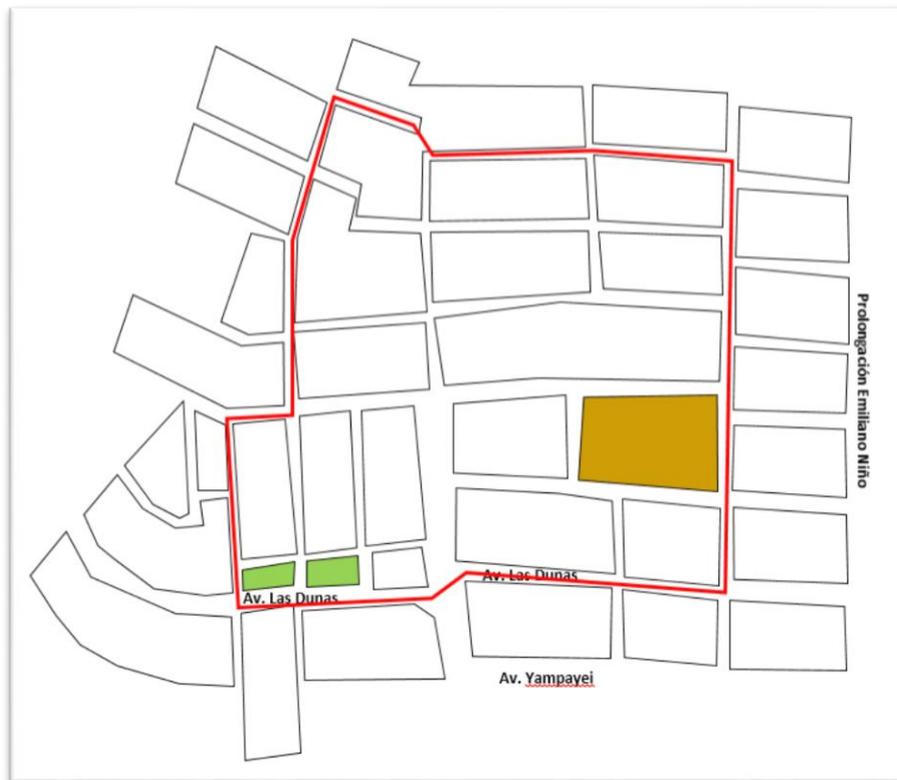
Asimismo, el sismo del 17 de octubre de 1989 en Loma Prieta, con magnitud  $M_s=7.1$  causó severos daños, no solo en la vecindad del epicentro, sino también en áreas más distantes hacia el norte, alrededor de San Francisco y Oakland. La licuación de suelo ocasionó daños importantes en las instalaciones marinas, estructuras y líneas de tuberías enterradas ubicadas en el área de la Bahía donde los suelos arenosos, sueltos, saturados fueron susceptibles a la licuación. Los numerosos volcanes de arena, eran la evidencia de la ocurrencia de licuación (Silva, 2000).

### *Nacional*

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto, está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales. Existe alta actividad sísmica en la costa peruana debido a la subducción de la Placa de Nazca y moderada actividad sísmica en el área subandina debido a sismos continentales, y se encuentra comprendido en el Cinturón de Fuego del Pacífico, que registra el 85% de actividad sísmica en el mundo (Instituto Geofísico del Perú 2015).

## *Regional*

La zona de estudio el asentamiento humano las Dunas ubicada al sur oeste de la ciudad de Lambayeque, en la provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque, con coordenadas geográficas 6° 42' 31" S 79° 55' 05" O con una extensión de 9.7 Ha, como se puede observar en el siguiente croquis.



*Figura 1: Croquis de la zona Las Dunas - Lambayeque*

Es un asentamiento humano reciente con una antigüedad no mayor de 20 años, limitando por el norte con el pueblo joven San Martín, por el sur con el A.A.H.H. Nuevo Mocce, por el este con la urbanización Guardia Republicana y el oeste con el asentamiento humano 1° de Marzo y Pedro Ruiz. Durante el reconocimiento se encontró casas rústicas aplicadas a la autoconstrucción donde predomina en sí las casas de adobe como se observa en las imágenes.



*Figura 2: Se observa viviendas de adobe las cuales están construidas por los mismos pobladores están en riesgo por este fenómeno*



*Figura 3: Intersección de las calles en estudio, observando la precariedad de las viviendas.*

Este riesgo significa un grave peligro para la región de Lambayeque, debido a que hay un silencio sísmico, de producirse un sismo de grandes proporciones, un 40 % terminará

destrozada debido al alto grado de vulnerabilidad que hay en los espacios geográficos de sus tres provincias. Ello debido a que en estas zonas hay edificaciones construidas sin tener en cuenta un estudio de suelos, uso de material rústico de mala calidad, la autoconstrucción, entre otros aspectos que agravan dicha vulnerabilidad.

Observando los suelos de la zona Las Dunas de la ciudad de Lambayeque se aprecian que estos son suelos potencialmente licuables, ya que los suelos más susceptibles a la licuefacción son aquellos formados por depósitos jóvenes de arenas (dunas) y con un alto contenido de agua, situación que es preocupante.



*Figura 4: Al fondo de la imagen se observa depósitos jóvenes de arenas (dunas), índice el cual nos da referencia a la presencia de este fenómeno.*

Las Dunas es una extensión de suelos habitado por una población que llega a modo de invasión, sin existir un plan urbanístico específico, donde las autoridades fundamentalmente del Concejo Provincial de Lambayeque hayan tomado cartas en el asunto; la población no tiene mayores conocimientos sobre la estructura de los suelos, dado su nivel instructivo y cultural; siguen poblando y construyendo cuyas casas en algunos casos llegan hasta dos niveles.



*Figura 5: Se aprecia que la napa freática es alta. Encontrando muestra húmeda mayormente siendo arenas mal gradadas*

No se conoce la existencia de estudios de licuefacción de suelos de la zona. Las Dunas, sin embargo, se conocen que INDECI (2003) señalando que la zona Las Duna es muy licuable habiendo elaborado un mapa de todo Lambayeque y allí está inmerso la zona indicada, precisando además sobre la existencia de agua en el subsuelo a pocos metros de la superficie.

A la fecha no hay mayores problemas relacionados con la licuefacción sin embargo dada las características ya señaladas es probable que las lluvias, los movimientos sísmicos que se produzcan en el futuro de lugar a ceder y afectar a las construcciones y por ende a la comunidad, repercutiendo en forma social y económica en las familias que allí habitan.

En base a los señalado líneas arriba se indica que el propósito de la presente investigación es aplicar las estrategias como ensayos de campo específicas para determinar el potencial de licuefacción de la zona Las Dunas de la ciudad de Lambayeque.

## 1.2. Antecedentes de Estudio

Revisadas las fuentes bibliográficas se han encontrado diversos trabajos de investigación que se relacionan con la presente y de los cuales se detalla.

### *Internacional*

Valverde, Chacón, Valverde, Irigaray (2012) en su investigación *Susceptibilidad a la Licuefacción en La Vega de Granada* donde se analizaron una amplia base de datos formada por más de 300 informes geotécnicos que contienen: 459 sondeos mecánicos a rotación con extracción continua de testigo, 691 penetraciones dinámicas, 354 calicatas y numerosos ensayos in situ y de laboratorio, también se presentan en primer lugar una revisión de las características relevantes del área de estudio y de la base de datos realizada con toda la información litológica, geotécnica, hidrológica y sismológica de la zona de estudio. En segundo lugar, a través de un mapa, se presentan los resultados de la evaluación de la susceptibilidad a licuefacción en 104 puntos aplicando el procedimiento de Seed e Idriss (2003) para suelos arenosos y de Bray y Sancio (2006) para sedimentos arcillosos y/o limosos.

Llegaron a concluir que:

El parámetro significativo en el análisis de susceptibilidad a la licuefacción ha sido la profundidad del nivel freático. Esta se incrementa en la Vega de Granada en dirección NWSE (respecto a las rasantes actuales), estando desde prácticamente en superficie hasta unos 4 m en las localidades del sector NW, Atarfe, Chauchina, Fuente Vaqueros, Cijuela y Láchar; en la zona centro de la Vega se puede establecer una franja de dirección NE-SW en la que las localidades de Santa Fé, Maracena, Albolote, Peligros y Pulianas presentan profundidades intermedias (entre 5 y 13 m); desde esa zona hacia el E, el nivel freático desciende gradualmente hasta localizarse a profundidades muy notables (mayores de 60 m) como por ejemplo en el sector SE de la ciudad de Granada y en las localidades de Armilla, Churriana de la Vega, Ogíjares, entre otras, con las excepciones de las proximidades a los cauces principales donde se eleva a profundidades entre 3 y 10 m, aproximadamente (p. 9).

Mussio (2012) en su tesis *Potencial De Licuación Mediante El Método De Microtremores en La Colonia Solidaridad Social, Mexicali*, trabajó con una población correspondiente al valle de Mexicali ubicado en el extremo noreste del estado mexicano de Baja California y dentro de la región fisiográfica denominada delta del Río Colorado distinguiéndose cuatro unidades fisiográficas: las planicies, las mesetas, las terrazas, y el macizo montañoso de la sierra de los Cucapah, y con una muestra que corresponde a un subconjunto representativo de la población como señala Hernández et al (2010) para el presente caso se consideró la colonia Solidaridad Social y la ampliación de la misma, en la ciudad de Mexicali lugar donde se presentaron severos efectos como consecuencia del sismo Mw=7.2 del 4 de abril del 2010.

En la investigación se aplicaron las técnicas para realizar treinta (30) perfiles sísmicos para medir microtremores, así como seis (6) perforaciones geotécnicas para pruebas de penetración estándar (SPT) hasta 11 m de profundidad lo que permitió apoyar la interpretación geofísica.

Llegó a concluir que:

La combinación de la magnitud del temblor El Mayor-Cucapah del 04 de abril del 2010 y la naturaleza del subsuelo somero (10 metros) constituido de arenas de grano fino y capas superficiales de arcillas, provocó que los sedimentos se licuaran y fueran extruidos en forma de volcanes de arena, con grandes cantidades de agua, situación que se corrobora con los resultados obtenidos en los análisis de potencial de licuación realizados en esta investigación. Los resultados que aquí se presentan muestran que el suelo es potencialmente licuable hasta una profundidad de 27 metros, con una zona más propensa a sufrir licuación que se encuentra entre los 15 metros de profundidad a las diferentes alturas de los niveles freáticos encontrados en la Colonia Solidaridad Social (p. 104).

De acuerdo al estudio se trabajó en una zona de temblores, con una zona especial de los suelos donde se produce licuefacción llegando a determinar que estos suelos presentan un potencial licuable en profundidad que va de los 15 a los 27 metros.

Rodas (2011) en su tesis *susceptibilidad a la licuefacción por medio del sondeo de penetración estándar: las lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala*, trabajó con la población de las Lisas la cual se encuentra sobre la planicie aluvial costera (Suchiate - Madre Vieja), compuesta por depósitos cuaternarios de la línea costera del Océano 71 Pacífico, por un aluvión (Qa), que comúnmente es un material detrítico fue transportado y depositado en el área por acciones fluviales, en las que intervinieron los procesos deposicionales de tipo marino.

El suelo tiene una textura superficial arenosa y una coloración gris oscuro a gris café oscuro, en el subsuelo presenta texturas franco-arcillosa y coloraciones grises a gris café, por tratarse de arenas de origen marino, el drenaje interno es malo.

En la investigación se realizó tres sondeos de penetración estándar SPT (A.S.T.M. 1586-64T Standard Penetration Test). Dos sondeos llegaron a una profundidad de 7.5 metros de profundidad y el tercer sondeo a una profundidad de 13.41 metros, llevado en forma continua, aumentando el número de golpes necesarios para la penetración de cada 0.15 metros, con el objeto de poder determinar con mayor exactitud el espesor y firmeza de cada uno de los estratos.

Llegando a concluir que:

El factor de seguridad para evaluar la vulnerabilidad ante la licuefacción a una profundidad de 4.5 metros es menor de 1.3, por lo que se considera que el suelo es propenso ante dicho fenómeno (p. 101).

Ordóñez (2017) en su tesis *Evaluación del Potencial de Licuación de suelos en Tarqui, Ecuador*, centrado él en la ciudad de Manta dentro del cual se ubica el barrio de Tarqui, importante para el desarrollo económico de la ciudad, la muestra correspondió a 9 zonas del sector Tarqui, zonas que cubren un área total de aproximadamente 89 hectáreas de estudio, donde se observó evidencias de haberse producido el fenómeno de licuación, desde

grietas hasta brotes en la superficie por eyección de arena (conocidos también como volcanes de arena).

En la investigación se aplicaron pruebas de penetración estándar (SPT) con una distribución de 27 perforaciones y sondeos CPTu en un número de 26 ensayos.

Llegando a concluir que:

Es importante, al realizar un estudio de evaluación de potencial de licuación de un sitio, optar por utilizar una metodología de análisis que sea considerada como aceptada ampliamente y que sea parte del estado del arte del estudio del fenómeno de licuación (p. 90).

Lindao Baque y Polonio (2014) en su tesis *Evaluación Del Potencial De Licuefacción De Suelos En La Zona De Chipipe Del Cantón Salinas*. Los suelos en el área de Chipipe ubicados en el Cantón Salinas, cercanos al mar, se caracterizan por ser suelos limosos y/o arenosos finos sueltos y un nivel freático de 1 a 1.5 m de profundidad; estos son factores que nos indican que el suelo tiene una alta probabilidad de riesgo de licuefacción ante la ocurrencia de un sismo.

La metodología empleada fue de tipo cualitativo y cuantitativo del cual se recopilamos tres estudios de suelos: Edificio Punta Pacifico cuatro perforaciones a una profundidad de 6.5 m, Edificio Marenostrum dos perforaciones a una profundidad de 20.00 m y aeropuerto Gral. Ulpiano Páez de Salinas cinco perforaciones, las cuatro primeras a una profundidad de 10 m y el último a 7.00 m. Obteniendo un total de 11 perforaciones de diferentes profundidades. Del cual se realizaron tres sondeos, el primero ubicado en el solar destinado para la Biblioteca Municipal de Salinas, el segundo cercano a la Base Aérea de Salinas y el tercero en el solar destinado para el proyecto condominio Vela Beach, para obtener una base de datos de las características geomecánicas del área de estudio.

Los ensayos de campo y laboratorio que realizaron fueron: ensayo de Penetración Estándar, SPT (campo) y en laboratorio análisis granulométrico (por tamizado y por el

hidrómetro), límites de Atterberg (límite líquido y plástico), gravedad específica del suelo y peso específico del suelo.

Aplicó solo el método en campo, para estimar el potencial de licuación., las pruebas de penetración estándar (SPT)

Llegaron a concluir que

De acuerdo a los resultados obtenidos de las diferentes metodologías propuestas para el análisis del Potencial de Licuefacción en el presente estudio, se concluyó que el perfil costero de la zona de Chipipe es más propenso a sufrir problemas de licuefacción en comparación con las zonas altas del mismo sector, debido a que se encuentran depósitos de conglomerados, arenas, limos y arcillas de baja densidades dispuestas en terrazas y nivel freático de aproximadamente 2.00 m de profundidad. (p.93).

Castañeda y Romero (2016), en su tesis *Evaluación Del Potencial De Licuación Por Medio Del Ensayo Triaxial Cíclico De Un Suelo En La Sabana De Bogotá*. Indio que para la selección del sitio, se utilizó como referencia el Decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá, en donde se denotan sus tipos de suelo, sus descripciones geotécnicas, geológicas, geomorfológicas, sus composiciones principales y sus comportamientos geotécnicos generales, se pudo seleccionar una zona cuyo tipo de suelo es propenso al fenómeno de la licuación, conocido como Aluvial 200, el cual se describe como un suelo granular no cohesivo (limos-arenosos); dicha zona escogida es la aledaña al lecho del río Tunjuelito.

Para el análisis de este fenómeno se utilizó uno de los varios métodos con los que se cuenta, el ensayo triaxial cíclico; el cual permite estudiar los factores que generan la licuación, dentro de esta situación se consideró importante realizar un estudio cuasi-experimental, estos conocimientos fueron la base que le permitió analizar el comportamiento de un suelo granular saturado ante la presencia de cargas dinámicas, bajo el fenómeno de licuación a través del Equipo Triaxial Cíclico.

El método utilizado fue el Ensayo Triaxial Cíclico, el equipo triaxial Cíclico de la universidad de La Salle. El CRR encontrado por el ensayo triaxial cíclico para la muestra 2 del sondeo 2 fue del 11.4% mientras que por el método empírico no fue posible el cálculo. Asimismo, para la muestra 2 del sondeo 1 el valor de CRR7.5 fue de 9.2%, y para la muestra 1 del sondeo 1 el valor de CRR7.5 fue de 7.2%. Según la norma el CRR de falla debe ser superior al 20%.

#### Llegando a la conclusión

Por medio de la microzonificación sísmica de Bogotá y las características que allí se describen de los suelos, se seleccionó el Aluvial 200 debido a que es un suelo propenso a la licuación; sin embargo, por medio de los ensayos realizados y los resultados obtenidos, se evidenció que su potencial de licuación es muy bajo, debido a que el CRR calculado no superó el 20% establecido en la normativa ASTM D-5311-13 (p.77).

Serrano (2014) en su tesis *Efectos de la Licuefacción en Puentes fundados en Pilotes*, Santiago de Chile, para este trabajo se seleccionaron dos puentes fundados en pilotes donde se observaron daños importantes por licuefacción durante el Terremoto del Maule (2010): Juan Pablo II y Llacolén. El propósito fue evaluar si era posible anticipar, mediante el uso de procedimientos actuales y la información geotécnica disponible, la ocurrencia de licuefacción en las fundaciones, el efecto de tal fenómeno en los pilotes, y comparar estos efectos con los daños efectivamente observados en el terremoto.

La investigación centró sus objetivos en la evaluación de los efectos de licuefacción y comparación del potencial de licuefacción y sus efectos con los daños observados en el terremoto 2010 y en la identificación de los principales códigos relacionados con el efecto de la licuefacción en el diseño de pilotes.

#### Llego a la conclusión:

Dentro de la Normativa Chilena, el Manual de Carreteras (MOP-DV, 2002) limita la definición de suelos susceptibles de licuar, considerando solo

eventos con una aceleración de 0.2g, mientras que la norma NCh 433.0f96 de diseño sísmico de edificios, define tres zonas sísmicas, dos de ellas tienen una aceleración efectiva máxima del suelo (A0): mayor a 0.2g (p.159).

### *Nacional*

Ayala (2010) en su tesis *Evaluación del potencial de licuación de suelos en la ciudad de Tambo de Mora* realizando excavaciones para calicatas, así como también ensayos de Penetración Estándar (SPT) y ensayos de Penetración con cono de Peck, la ubicación de estas exploraciones fueron distribuidas de tal forma que cubrieron uniformemente el área de estudio; con estas muestras se analizaron las condiciones relevantes para el análisis del potencial de licuación de suelos.

Como resultado se definió que se pueden observar potencial a sufrir licuación en cierta zona de la margen izquierda del río Chico, tanto que en la margen derecha donde se ubica la ciudad de Tambo de Mora, el potencial de licuación es bastante alto, provocando daños severos en la superficie del terreno e incrementándose el espesor del estrato licuable.

Llegó a concluir que:

Las áreas más afectadas por este fenómeno en la ciudad de Tambo Mora serían las cercanas o sobre terrenos pantanosos e inundables, lo que provoca que sean altamente susceptibles a la licuación (p.104).

Campos (2011) elaboró un trabajo de investigación *Estudio de la variabilidad del suelo de Piura a través del spt para la valoración del F.S.*, la región estudiada incluye un vasto territorio del noroeste del Perú, cuyos elementos geográficos principales que lo conforman son: a) una zona de llanura desértica, hacia el oeste, formada por un relleno sedimentario cuaternario, con cotas comprendidas entre los 100 y 200m.s.n.m y b) una zona montañosa correspondiente a las cordilleras occidental y de Sallique, las mismas que se encuentran separadas por la depresión de Huancabamba, con cotas que se encuentran entre los 200 y los 3800 m.s.n.m. Dichos rasgos fisiográficos se encuentran disectados por cursos fluviales, de los cuales la mayor parte corresponde al sistema hidrográfico del Marañón.

Piura forma parte del llamado “Gran Cinturón de Fuego del Pacífico”, una franja sísmica muy activa en el cual se detecta más del 75 % de la sismicidad total del globo. La tectónica nos indica que la región está sometida a los esfuerzos derivados del contacto de la Placa de Nazca (oceánica) y la placa Sudamericana (continental); en este contexto, se plantea la valoración del coeficiente de seguridad en distintos cálculos geotécnicos a partir del estudio de la variabilidad del suelo. Para este caso, se ha usado el suelo típico de Piura conocido por las exploraciones SPT que se realizan en el Laboratorio de ensayo de materiales de Construcción (LEMC) de la Universidad de Piura.

Llegó a la conclusión:

Con la clasificación del suelo por estado de densificación se encontró que existen arenas en estado suelto hasta los 4 m con mayor proporción a 1 m de profundidad, arenas en estado medianamente denso hasta los 7 m con mayor proporción a los 2 y 3 m de profundidad y arenas en estado denso a partir de los 2 m de profundidad con una proporción de 100 % a partir de los 6 m. (p. 111).

Camargo y Zapata (2017) en su tesis *EVALUACIÓN DE LA REDUCCIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN USANDO LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE SEED & IDRISS SOBRE ENSAYOS DE SPT REALIZADOS EN EL SUELO ARENOSO DEL PROYECTO OUTLET PREMIUM LURÍN MEJORADO CON PILAS DE GRAVA COMPACTADA*, trabajaron con la zona correspondiente al proyecto “Outlet Premium Lurín” ubicado a la altura del kilómetro 32 de la panamericana sur, colindantes Por el sureste, se encuentra ubicado el condominio Islas de San Pedro, Por el suroeste, a una distancia de 100m aproximadamente, cruzando la zona balnearia, se encuentra el Océano Pacífico, Por el noreste, se ubica la Panamericana Sur y por noroeste, colinda con un terreno destinado parcialmente a la siembra de productos agrícolas .en el distrito de Lurín, en la provincia y departamento de Lima

En la investigación se aplicaron la recolección y análisis de datos tanto cualitativos como cuantitativos, así como la integración y discusión conjunta de los mismos, para realizar

deducciones producto de la información demandada, lograr un mayor entendimiento del tema a estudiar y poder realizar un análisis completo del mejoramiento de suelos mediante el uso de pilas de grava

Llegó a concluir que:

Al aplicar las pilas de grava en el suelo del proyecto “Outlet Premium Luín” se logró disminuir el potencial de licuefacción presente en un inicio en el terreno. Dicho resultado se pudo demostrar haciéndose una evaluación del antes y el después de la mejora del suelo, con los valores obtenidos de los ensayos de SPT a través del análisis de Seed & Idriss.

Luego de colocadas las pilas de grava en el suelo del proyecto se realizaron dos ensayos de SPT post mejora cerca de los puntos SPT-5 y SPT-8 (los cuales llamamos SPT-5 y SPT-8 post mejora) en base a estos nuevos valores se realizó nuevamente el análisis del potencial de licuefacción confirmando de esta manera que las columnas de grava permitieron reducir en su totalidad el potencial de licuefacción (como se muestra en el inciso 5.3) que se encontraba en un inicio presente en el terreno. (p.117).

### *Regional*

Huidoboro (2015) en su tesis *Determinación del potencial de licuación de suelos en el casco urbano de la ciudad de Pícsi* trabajó con un sondeo de 08 pozos exploratorios mediante ensayos de penetración (SPT) con una penetración de 5 m cada uno, para el cálculo de licuación de suelos se empleó el método simplificado para determinar la aceleración de dicho suelo frente a distintos eventos sísmicos de consideración a los que estará sometido, basándonos en el reporte histórico de la actividad sísmica de la zona se procedió mediante el uso del método determinístico; como resultado determinó que un sismo de magnitud  $M_w=7.7$  producirá el fenómeno de licuefacción a una profundidad de 1 a 2 metros en el suelo.

Llegó a concluir que:

Debido a la presencia de estratos arenas sueltas limo arcillosos, y con el respaldo de los reportes obtenidos en el análisis mediante el método

simplificado de Youd and Idriss, concluye que la ciudad de Picsi está apoyada sobre estratos de suelos potencialmente licuables (p.180).

Barrenechea y Rojas (2017) en su tesis *Potencial de licuefacción en el distrito de San José*, trabajó con una muestra representada por los suelos provenientes del distrito de San José– Provincia de Chiclayo – Dpto. de Lambayeque, y una población referente a los suelos en la zona de estudio, tomando como criterio de selección, toda la información existente sobre la zona de estudio desde el punto de vista de Geológico, Topográfico y Geotécnico; realizaron un reconocimiento geotécnico in situ para identificar las características y especificaciones técnicas de los suelos en mención priorizando los suelos de características arenosas-limosas, con presencia de Napa Freática.

En la investigación se identificaron los lugares para ensayos in situ y extracción de muestras de suelos granulares tomando como referencia los mapas presentados por INDECI, donde se seleccionaron 10 puntos específicos teniendo en cuenta, toda la información existente sobre la zona de estudio desde el punto de vista de Geológico, Topográfico y Geotécnico. También se tomó en cuenta el MAPA DE PELIGROS de la ciudad de San José (Mapa de peligros geológicos) priorizando las áreas de suelos licuables donde se pudiera construir en un futuro, para pruebas de penetración estándar (SPT) se registró el número de golpes en formatos adecuados para cada hinca, como señala la norma, hinca a cada 1.00 metro, este valor numérico (parámetro), es el más importante y principal para el cálculo del potencial de licuefacción.

Llegó a concluir que:

De acuerdo a los resultados obtenidos con el método simplificado semi empírico de Seed e Idriss propuesta para el análisis del Potencial de Licuefacción en el presente estudio, se concluyó que el perfil costero (ribereño) al Nor-oeste del Distrito de San José es más propenso a sufrir problemas de licuefacción a mayores profundidades en comparación con las zonas altas del mismo sector, debido que se encuentran, arenas pobres, arenas con limos y nivel freático de 1.00 metro de profundidad.

Las zonas más alejadas y con más altura (la zona comprendida al nor-centro y nor-este de la de av. A. B. Leguía) son potencialmente licuables hasta una

profundidad promedio de 3.00 metros, debido que están conformados por suelos arenosos pobres, arenosos arcillosos, arenosos limosos y nivel promedio 1.30 metros de profundidad.

La zona comprendida entre la Av. A. B. Leguía y la Carretera San José-Pimentel (zona sur de Distrito de San José), Sector “Comunidad”, “El Pescador” y parte del Cercado de San José, se concluye que no son suelos potencialmente licuables, debido que están conformados por suelos arcillosos de baja plasticidad con arena, limosos de alta plasticidad con arena, arcillas arenosas con grava y nivel freático aproximadamente de 3.00 metros a más. Ver Plano (P-04) Plano Peligros Geológicos Suelos Licuables (p. 236).

Benites y Vélchez (2017) en su tesis *Potencial de licuefacción de suelos en el distrito de Santa Rosa*, trabajo con una población correspondiente al Distrito de Santa Rosa, ubicado al Sur Oeste de la ciudad de Chiclayo, entre los puertos de Pimentel y Eten, a orillas del mar; con una altitud de 6 m.s.n.m. limitando por el norte con los Distritos de Pimentel y Monsefú, por el Sur con el Océano Pacífico, por el Este con Distrito de Monsefú y por el Oeste con el Océano Pacífico y cuenta con una población estimada al 2000 de 14 996 habitantes, y con una muestra que corresponde a un subconjunto representativo de la población como señala Hernández et al (2010), para el presente caso se consideró la población limosos-arenosos con presencia de nivel freático en 10 puntos del distrito de Santa Rosa con un muestreo no probabilístico que tendrá como criterio de selección las características y especificaciones técnicas de los suelos antes mencionados.

En la investigación se seleccionarán 10 puntos específicos para realizar el sondeo SPT y recolectar las muestras para elaborar la investigación. Enfocándose en las áreas de suelos licuables donde se pudiera construir en un futuro cualquier tipo de estructura (edificaciones, terminales pesqueros, hospitales, tanques elevados, proyectos inmobiliarios, etc.) o cualquier otro tipo de estructura debido al desarrollo de la región, con perforaciones de profundidad menor o igual a 6 m ya que el fenómeno de licuefacción tiende a ocurrir a profundidades menores a 9.00 m.

Llegaron a concluir que:

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación realizada se lograron agrupar e identificar IV zonas dentro de las cuales, las zonas I, II y

IV se presentan como zonas susceptibles al fenómeno de licuefacción y la zona III donde el fenómeno no se presenta a ninguna profundidad.

Así mismo también se identificó la profundidad hasta donde ocurre el fenómeno de licuefacción para los sondajes SPT, el suelo estudiado es licuable para la zona I hasta los 4.45 m para el sondeo SPT-01 y 3.45m para el sondeo SPT-07 , zona II hasta los 3.45 para los sondeos SPT-02, SPT-05 y SPT-10 y hasta los 2.45 m, zona IV hasta la 2.45 m para el SPT-08 y 1.45m para el SPT-09. y no licuable a ninguna profundidad en la zona II. (p. 275).

---

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Variables Independientes**

##### **1.3.1.1. El Suelo**

###### **a) Definición**

Es frecuente el concepto en la que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas no sujetas a ninguna organización. Pero en realidad se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían vectorialmente. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal. El suelo tiene un perfil y este es un hecho del que se hace abundante aplicación.

Suelo, es un término del que hacen uso diferentes profesionales. La interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses. Para el agrónomo, por ejemplo, la palabra se aplica a la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal, siendo esta interpretación demasiado restringida para el ingeniero. Para el geólogo es todo material intemperizado en el lugar es que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie, esta definición peca de parcial en ingeniería, al no tomar en cuenta los materiales transportados no intemperizados posteriormente a su transporte.

La palabra suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las roas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. El agua contenida juega un papel tan

fundamental en el comportamiento mecánico del suelo que debe considerarse como parte integral del mismo (Badillo, 2011).

#### **b) Origen de los suelos**

Como es sabido, la alteración o desintegración de las rocas bajo los agentes climáticos (calor, humedad, helada, etc.) químicos (ácidos húmicos, sales, etc.) o mecánicos (erosión, gelifracción, etc.), da lugar a fragmentos y partículas sueltas que se conocen como suelos residuales. (Rodríguez, s.f). Las acciones físicas producen cambios térmicos (lo que origina dilataciones diferenciales entre los diferentes minerales da lugar a acciones y fisuras internas) y a la acción del agua (arrastre de fragmentos ya erosionados, posible acción directa por congelación, que produce tensiones internas por el aumento de volumen del hielo respecto al agua, acción alternante de humedad - sequedad a lo largo del tiempo, etc.). Estas acciones físicas tienden a romper la roca inicial y a dividirla en fragmentos de tamaño cada vez más pequeño, que pueden ser separados de la roca por agentes activos (agua, viento, gravedad) y llevados a otros puntos en los que continua la acción erosiva. Es decir, tienden a crear las partículas que van a formar el suelo (González, 2004), también las acciones físicas producen una disgregación mecánica que da lugar a gravas y arenas (Rodríguez, s.f), los agentes químicos descomponen y transforman las partículas más pequeñas dando lugar a suelos finos de naturaleza distinta a la de la roca original (Rodríguez, s.f), mientras que los agentes biológicos, producidos por actividad bacteriana, provocando putrefacciones de materiales orgánicos y mezclando el producto con otras partículas de origen físico-químico, actuando de elemento catalizador, etc.

Todo ello da lugar a fenómeno de disgregación (alteración o meteorización) y transformación de la roca, creándose el perfil de meteorización (Figura 2). En este perfil la roca madre ocupa la parte más baja y alejada de la superficie, y el suelo la más alta (González, 2004). Los suelos así formados son transportados por la gravedad, la lluvia, las corrientes de agua, el viento o los glaciares sufriendo cierta abrasión o degradación y volviendo a depositarse (sedimentos aluviales) en el fondo de los ríos, lagos, estuarios, costas o mares

o formando Dunas o depósitos eólicos. Cuando el transporte es corto y los suelos se depositan cerca de la formación original, generalmente en las laderas de las montañas, se dice que forman un depósito coluvial. (Rodríguez, s.f).

(González, 2004) Cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado, se le conoce como suelo residual.

En la figura 6 se resumen los distintos procesos que intervienen en la formación de los suelos caracterizados por:

Ser un sistema particulado de sólidos de diverso origen, que pueden considerarse indeformables.

Tener una granulometría de gruesos (centímetros) a finos (micras); las partículas más finas (por debajo de las 2 o 5 micras) necesitan procesos físico químicos para su constitución, las de mayor tamaño solo necesitan procesos físicos, aunque pueden intervenir los químicos.

Una estructura y fábrica en función del origen de los minerales, agentes cementantes, transformaciones químicas, medio de deposición, etc.

Presencia importante de huecos (o poros o intersticios), con agua (suelo saturado), aire y agua (semi saturado) o solo aire (seco), situación prácticamente inexistente, a las temperaturas normales, incompresibles.

Las deformaciones del conjunto del suelo se producen por giros y deslizamientos relativos de las partículas y por expulsión de agua, solo en raras ocasiones se producen por roturas de granos.

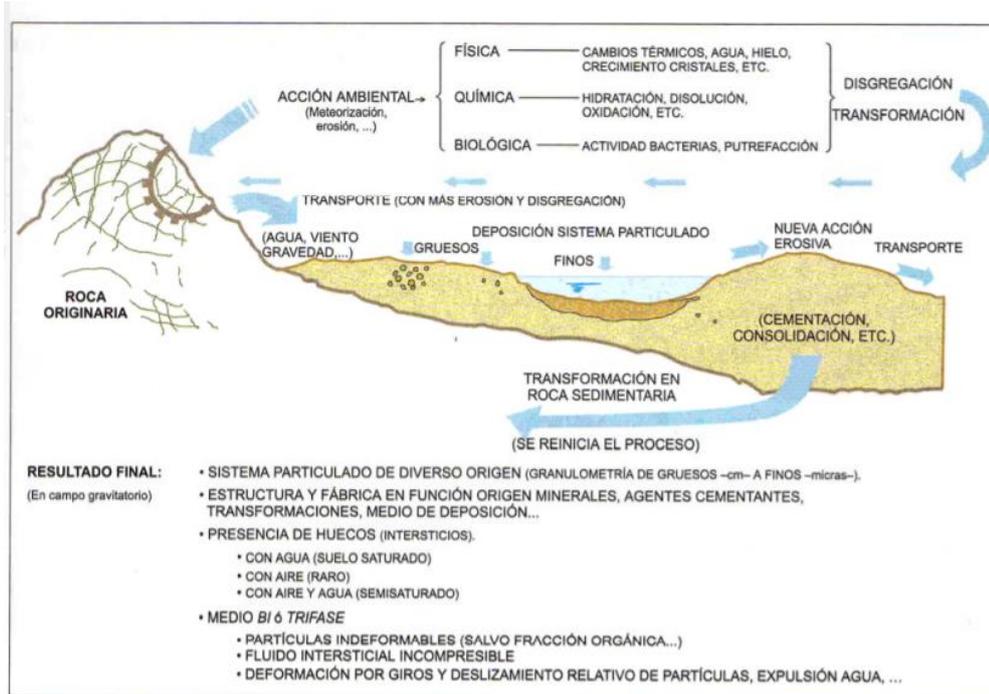


Figura 6: Formación de suelos

En los desiertos no actúa la acción química por falta de humedad y ello explica que los suelos sean arenosos. Por el contrario, en las regiones tropicales los agentes formadores de suelos se dan con gran intensidad, y por ello abundan los suelos arcillosos con grandes potencias. En las zonas de gran escorrentía los suelos finos son arrastrados por el agua, quedando in situ la fracción arenosa.

Una vez depositados los suelos pueden sufrir fenómenos diversos, como:

- ✓ Presiones, con lo que mejora la resistencia, disminuyendo la permeabilidad y compresibilidad.
- ✓ Variaciones del nivel freático.
- ✓ Cambios en el entorno, como puede ser la naturaleza del agua intersticial, la temperatura, el nivel de tensiones, etc.
- ✓ Acciones sísmicas o tectónicas, etc.

Todo lo mencionado anteriormente da lugar a fenómenos de disgregación y transformación de la roca, creándose el perfil de meteorización.

PERFIL ESQUEMÁTICO	LOVE (1951) LITTLE (1961)	VARGAS (1951)	SOWERS (1954, 1963)	CHANDLER (1969)	GEOLOGICAL SOC. ENG. GROUP (1970)	DEERE Y PATTON (1971)	
	ROCAS ÍGNEAS	ÍGNEAS, BASÁLTICAS Y ARENISCAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS	MARGAS Y LIMOLITAS	ROCAS ÍGNEAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS	
	VI SUELO	SUELO RESIDUAL	ZONA SUPERIOR	V COMPLETAMENTE ALTERADA	VI SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IA	
	V COMPLETAMENTE ALTERADA	SUELO RESIDUAL JOVEN	ZONA INTERMEDIA	PARCIALMENTE ALTERADA	IV	HORIZONTE IB	
	IV ALTAMENTE ALTERADA	CAPAS DE ROCA DESINTEGRADA	ZONA PARCIALMENTE ALTERADA		III	V COMPLETAMENTE ALTERADA	HORIZONTE IC (SAPROLITO)
	III MODERADAMENTE ALTERADA			IV ALTAMENTE ALTERADA	ZONA DE TRANSICIÓN	IA TRANSICIÓN CON ROCA METEORIZADA SAPROLITO	
	II ALGO ALTERADA			III MODERADAMENTE ALTERADA		II DEBILMENTE ALTERADA	IB PARCIALMENTE METEORIZADA
	I ROCA SANA	ROCA SANA	ROCA INALTERADA	I ROCA INALTERADA	IB MUY POCO ALTERADA	IA ROCA SANA	ROCA SANA

Figura 7: Perfil de roca madre según diferentes autores, que ocupa la parte más baja y alejada de la superficie y el suelo la más alta.

Fuente

### c) Clasificación de los suelos

(González, 2004) Indica que para estudiar un material tan complejo como es el suelo (con diferentes tamaños de partículas y composición química) es necesario seguir una metodología con definiciones y sistemas de evaluación de propiedades, de forma que se constituya un lenguaje fácilmente comprensible por los técnicos de diferentes especialidades y países. Así, se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función a su granulometría (normas A.S.T.M.):

Gravas, con tamaño de grano entre unos 8 – 10 cm y 2 mm; se caracterizan porque los granos son observables directamente. No retienen el agua, por la inactividad de su superficie y los grandes vacíos existentes entre partículas.

Arenas, con partículas comprendidas entre 2 y 0.060 mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados, sino que se separan de ella con facilidad.

Limos, con partículas comprendidas entre 0.060 y 0.002 mm (algunas normativas indican que este último valor debe ser 0.005 mm, pero no hay apenas consecuencias prácticas entre ambas distinciones). Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forman una pasta agua – limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se ve como el agua se exuda con facilidad.

Arcillas, formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0.002 mm). Se trata ya de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a estos tamaños. Están formados, principalmente, por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos (el ion silicio se encuentra en el centro en cada una de estas estructuras regulares), unidas por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas produciendo, a veces, aumentos de volumen (recuperables cuando el agua se evapora). Todo ellos hacen que la capacidad de retención del agua sea muy grande (pequeños vacíos con una gran superficie de absorción en las partículas y una estructura que permite retener el agua), por lo que son generalmente los materiales más problemáticos (tiempos muy elevados de consolidación o de expulsión de agua bajo esfuerzos).

#### **d) Identificación de los suelos**

Con experiencia la identificación de los suelos puede hacerse a partir de algunos caracteres típicos, pero resulta más exacto y apropiado determinar mediante pruebas o ensayos determinadas propiedades básicas que, por su uso generalizado, permiten unificar las descripciones y clasificaciones y eliminar ambigüedades de terminología.

##### **i. Tamaño**

El tamaño de las partículas de un suelo se determina mediante el análisis granulométrico por tamizado (hasta tamaños de 0,074 mm) y, para fracciones más pequeñas, mediante el análisis por sedimentación basado en la ley de

Stokes que proporciona la velocidad de caída de partículas esféricas en líquidos de viscosidad conocida.

A efectos de clasificación puede utilizarse la serie de la tabla 1.

**Tabla 1:** Clasificación de las partículas según su tamaño.

Bloques	> 30 cm
Bolos	15 a 30 cm
Grava	4.76 mm a 15 cm
Arena	0.076 mm a 4.76 mm
Limo	0.002 a 0.074 mm
Arcilla	< a 0.002 mm

Aunque la graduación es continua existen diferencias cualitativas entre los limos que podrían considerarse arenas muy finas pero inertes, y las arcillas que son partículas con carga eléctrica y propiedades fisicoquímicas derivadas de su estructura mineralógica.

## **ii. Mineralogía**

Las partículas de suelo pueden ser inorgánicas u orgánicas, si bien estas últimas son menos frecuentes y se engloban, sin mayor análisis, en el grupo de "suelos orgánicos" cuando son mayoritarios, o en el de componentes secundarios en caso contrario.

Las partículas inorgánicas de tamaño limo o superior suelen ser trozos de minerales presentes en las rocas originales.

Sin embargo, las arcillas se forman por destrucción química de los granos de las rocas: los feldspatos se transforman en sericita y después en illita; si el drenaje es bueno se forma la caolinita; en medio alcalino con mal drenaje se forman las esmectitas. Las micas dan lugar a vermiculitas, cloritas e illitas.

Los minerales que componen las arcillas son silicatos de aluminio hidratados con formas cristalinas de estructura relativamente complicada. Esta estructura, sin embargo, está formada por combinación de dos unidades elementales (Fig.3).

- el tetraedro de sílice ( $SiO_2$ )
- el octaedro de aluminio ( $Al(OH)_3$ )

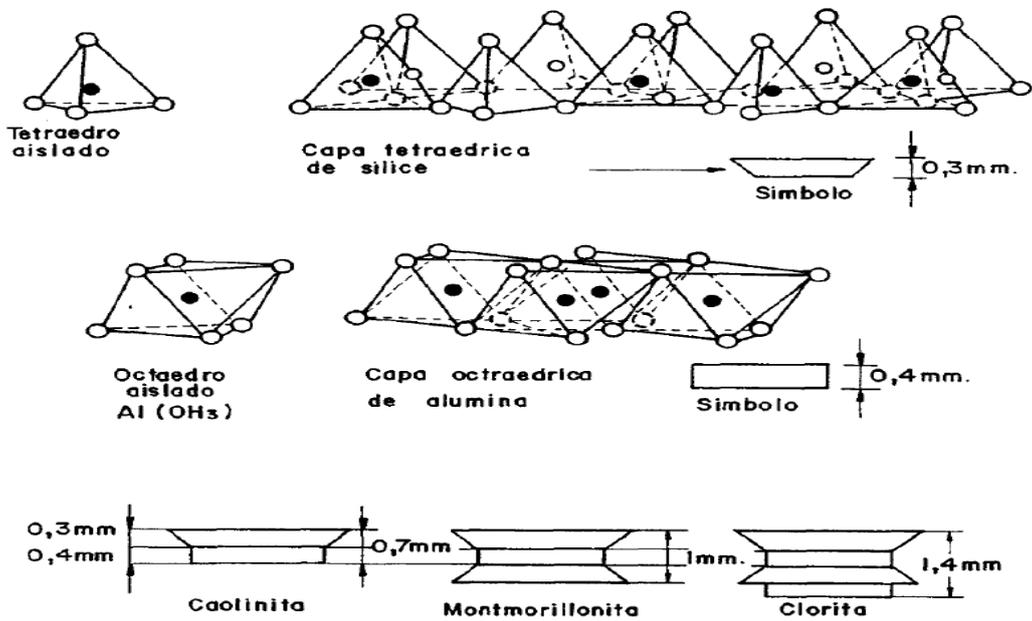


Figura 8 Estructura y esquematización de algunas arcillas típicas.

Las estructuras resultantes pueden ser de tipo laminar, de una o varias capas o retículos tridimensionales. En la Fig.4 se muestran las características de algunas de las arcillas más comunes.

Mineral	Representación simbólica	Substitución isomorfa (tipo y porcentaje)	Enlace entre capas (tipo y resistencia)	Superficie específica (m <sup>2</sup> /gr)	$\frac{1}{\text{Densidad de carga}}$ (Å/ion)	Capacidad de cambio real (me/100 gr)	Forma de las partículas	Tamaño de las partículas
Caolinita		Al por Si 1 de 400	Enlace de H + valencia secundaria	10-20	83	3	Aplanada	$d=0,3$ a $3\mu$ espesor $e=1/3$ a $1/10d$
Haloisita (4H <sub>2</sub> O)		Al por Si 1 de 100	Valencia secundaria	40	55	12	Cilíndrica hueca	$D.E.=0,07\mu$ $D.l.=0,04\mu$ $L=0,5\mu$
Illita		Al por Si 1 de 7 Mg,Fe por Al Fe,Al por Mg	Valencia secundaria + enlace de K	80-100	67	25	Aplanada	$d=0,1$ a $2\mu$ $e=1/10d$
Montmorillonita		Mg por Al, 1 de 6	Valencia secundaria + enlace del ion de cambio	800	133	100	Aplanada	$d=0,1$ a $1\mu$ $e=1/100d$
Clorita		Al por Si,Fe, Al por Mg	Valencia secundaria + enlace de brucita	5-50	700	20	Aplanada	

Figura 9: Características de algunas arcillas

Transportados por el agua los minerales arcillosos acaban por depositarse constituyendo las rocas sedimentarias. La naturaleza del mineral dominante está relacionada con la petrografía y el clima de la región de donde procede.

Los minerales arcillosos pueden sufrir transformaciones durante la alteración, la sedimentación, la diagénesis y el metamorfismo. Por ejemplo, al agua de mar de suspensiones fluviales, hace evolucionar las arcillas hacia la illita; es el caso de las arcillas del Keuper y de los Flysch. Análogamente las micas pasan a illita y éstas a esmectita.

En las condiciones de sedimentación asociadas a medios básicos lacustres o medios marinos carbonatados, se desarrollan de preferencia arcillas fibrosas de propiedades próximas a las esmectitas.

Lo que hace que con elementos tan simples se generen arcillas muy diversas (más de 500 especies) se debe a la presencia de defectos relacionados con las sustituciones isomorfas. Se designan como tales al cambio de ciertos cationes de la red cristalina, por otros de menor valencia (el silicio y el aluminio por el aluminio y el magnesio).

Las numerosas variedades de arcillas corresponden a los diversos modos de distribución y abundancia de defectos. Una arcilla es tanto más activa cuanto más desorganizada está su estructura cristalina. Los defectos que son déficits de carga debilitan las fuerzas de enlace entre los elementos estructurales, con lo cual éstos tienen tendencia a separarse, dando lugar a partículas más finas o permitiendo la entrada de agua en los espacios intramoleculares.

Las arcillas activas, como las esmectitas, se caracterizan debido a esto, por una elevada superficie específica (800 m<sup>2</sup>/gr). Estas superficies están muy cargadas, lo cual hace que atraigan las moléculas polares de agua y fijen los cationes cuando se ponen en presencia de una solución iónica.

### **iii. Plasticidad**

En función del contenido de humedad, las arcillas presentan diversos estados de consistencia que van desde el líquido, con las partículas moviéndose independientemente en una masa acuosa, al plástico en que las capas de agua molecular de las partículas permanecen unidas por enlaces iónicos y, por último, al sólido en que se establecen enlaces entre las redes moleculares de las propias partículas.

La transición de un estado a otro es muy progresiva, y por tanto difícil de determinar. Sin embargo, se utilizan corrientemente los límites definidos en 1911 por Atterberg:

$W_L$  = límite líquido que separa el estado líquido del plástico.

$W_p$  = Límite plástico que separa el estado plástico del estado sólido.

Estos límites se determinan sobre la fracción de suelo que pasa por el tamiz de 0,40 mm. Para determinar el límite líquido se extiende sobre una cuchara especial, una capa de arcilla en la que se ejecuta una ranura por medio de un acanalador que tiene forma de V. Damos a la cuchara unos golpes de igual intensidad, contando el número necesario para cerrar la ranura en una longitud de 1 cm, midiendo entonces el contenido del agua de la pasta.

Por definición, el límite líquido  $W_L$  es la humedad (expresada en %) para la cual se necesitan 25 golpes en el ensayo antes descrito.

Para determinar el límite plástico, se toma una muestra de suelo, dándole con la mano sobre una placa la forma de pequeños cilindros que van adelgazándose progresivamente hasta unos 3 mm de diámetro a medida que se efectúa la operación. El límite plástico  $W_P$ , es la humedad (expresada en %) del cilindro que se rompe, sin agrietarse, en pequeños trozos de 1 a 2 cm de longitud cuando su diámetro llega a tener 3 mm.

El índice de plasticidad  $I_P$ , es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Expresa el campo de variación en que un suelo se comporta como plástico.

Viene definido por la relación:

$$I_P = W_L - W_P$$

El límite de retracción  $W_S$  marca la transición de un estado de consistencia poco plástico o semisólido al sólido y se determina por desecación progresiva, hasta volumen constante, de una muestra húmeda. El límite de retracción se define como el porcentaje de humedad con el que se satura la muestra cuyo volumen ya no se reduce más por desecación.

#### **iv. Fases del suelo**

Un suelo está constituido por partículas sólidas rodeadas de agua, aire o ambos fluidos. Para manejar este sistema trifásico se introducen una serie de magnitudes que se definen a continuación.

- $Y'$  el peso específico aparente
- $Y_d$  el peso específico del suelo seco
- $Y_w$  el peso específico del agua
- $Y_s$  el peso específico de las partículas sólidas
- $Y_{sum}$  el peso específico del suelo sumergido

$$\text{Porosidad } n = \frac{\text{Volumen de huecos}}{\text{Volumen total}}$$

$$\text{Indice de poros } e = \frac{\text{Volumen de huecos}}{\text{Volumen de solidos}}$$

Haciendo  $V_t = 1$  o  $V_s = 1$  resulta el esquema de la Fig. 5 de donde se deduce

$$e = \frac{n}{1-n} \text{ y } n = \frac{e}{1+e}$$

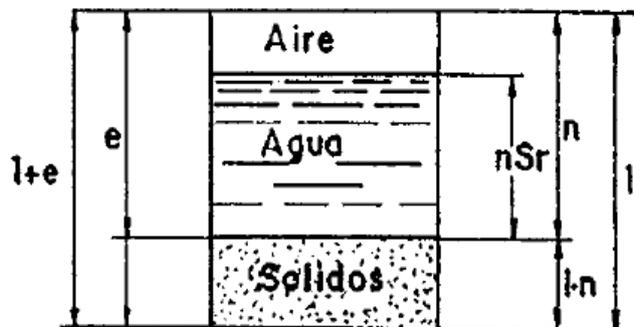


Figura 10: Esquema de una muestra de suelo

El grado de saturación  $S_r$  se define como la relación entre el volumen ocupado por el agua y el volumen de huecos del suelo. Para  $S_r = 0$  el suelo está seco y para  $S_r = 1$  está saturado.

Humedad natural  $W$  es la relación entre el peso de agua que contiene el suelo y el peso de las partículas sólidas. Es fácil demostrar la relación

$$S_r = \frac{w \gamma_s}{e \gamma_w}$$

Otras relaciones útiles son:

Para suelos saturados

$$\gamma_d = \gamma_s(1 - n)$$

$$Y' = \gamma_d + n \gamma_w$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_e}{1 + e}$$

$$Y' = \gamma_d (1 + w)$$

$$Y_{sum} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_s}$$

Para suelos no saturados

$$Y' = \gamma_s(1 - n) + S_r n \gamma_w$$

$$Y' = \gamma_s \frac{1 + w}{1 + e}$$

- v. **Actividad** Cabe esperar que la cantidad de agua absorbida por un suelo y por tanto la que condicionará los cambios de volumen, dependerá de la cantidad de arcilla presente en el mismo. En 1953 Skempton definió la llamada actividad.

$$\text{Actividad de una arcilla} = \frac{\text{Indice de plasticidad}}{\% \text{ en peso menor de } 2\mu}$$

En general se admite que valores de la actividad superiores a  $A = 1$  denotan arcillas susceptibles de cambios de volumen.

**e) Algunos nombres locales para suelos**

Braja M. (2001) En ocasiones nos referimos a los suelos por nombres locales. Los siguientes son algunos nombres con una breve descripción de cada uno:

1. Caliche: palabra española derivada del latín Calix, que significa cal. Se encuentra principalmente en la región desértica del suroeste de Estados Unidos. Es una mezcla de arena, limo y grava aglutinada por depósitos calcáreos. Estos son llevados a la superficie por la migración neta hacia arriba del agua. El agua se evapora por la alta temperatura local. Debido a la poca lluvia, los carbonatados no son lavados de la capa superior del suelo.
2. Gumbo: suelo arcilloso altamente plástico.
3. Barro: suelo arcilloso sumamente plástico encontrado en el suroeste de Estados Unidos.
4. Terra Rossa: depósitos de suelo residual de color rojo, que se derivan de piedras calizas y dolomitas.
5. Fango: suelo orgánico con un contenido de humedad alto.
6. Tierra turbosa: depósito de suelo orgánico.
7. Saprolita: depósito de suelo residual derivado principalmente de rocas insolubles.
8. Marga: mezcla de granos de suelos de varios tamaños, como la arena, el limo y la arcilla.

9. Laterita: se caracteriza por la acumulación de óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ) y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) cerca de la superficie y la lixiviación de sílice.

**f) Observación de los niveles de agua freática**

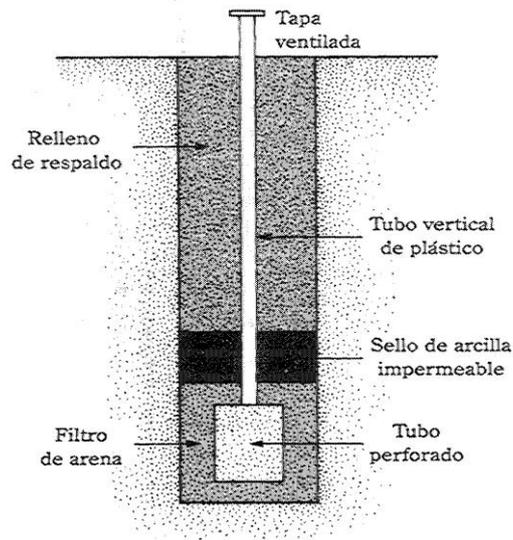
La presencia de agua freática cerca de una cimentación afecta de manera considerable la capacidad portante de la cimentación y su asentamiento, entre otras cosas. El nivel del agua cambia con las estaciones. En muchos casos puede ser necesario establecer los niveles máximos y mínimos posibles del agua durante la vida de un proyecto.

Se debe registrar si se encuentra agua en una perforación durante una exploración de campo.

En suelos con permeabilidad hidráulica alta, el nivel de agua en una perforación se estabilizará en aproximadamente 24 horas después de terminada la perforación, entonces la profundidad del nivel de agua se puede registrar bajando una cadena o una cinta en la perforación.

En estratos altamente impermeables, el nivel del agua en una perforación quizás no se estabilice en varias semanas. En esos casos, si se requieren mediciones precisas del nivel del agua, se puede utilizar un piezómetro, que básicamente consiste en una piedra porosa o en un tubo perforado con una bureta de plástico conectada a él.

En la figura 11 se muestra la localización general de un piezómetro en una perforación, este procedimiento permitirá una verificación periódica hasta que se estabilice el nivel del agua (Braja, 2001).



*Figura 11:* Piezómetro de piedra porosa tipo Casagrande.

Para suelos limosos, Hvorslev (como se citó en Braja, 2001) propuso una técnica para determinar el nivel del agua (véase la figura 12) que implica los siguientes pasos:

1. Quite el agua de la perforación hasta un nivel por debajo del nivel freático estimado.
2. Observe los niveles del agua en la perforación por tiempos.

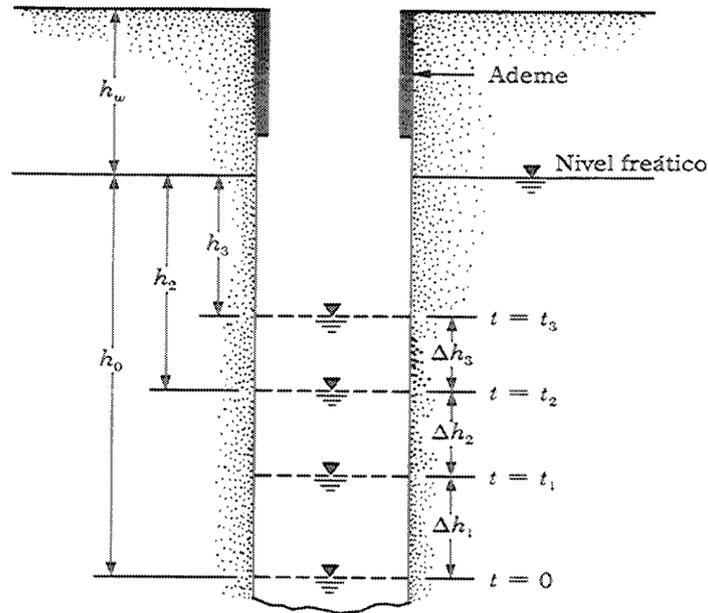


Figura 12: Determinación de los niveles de agua.

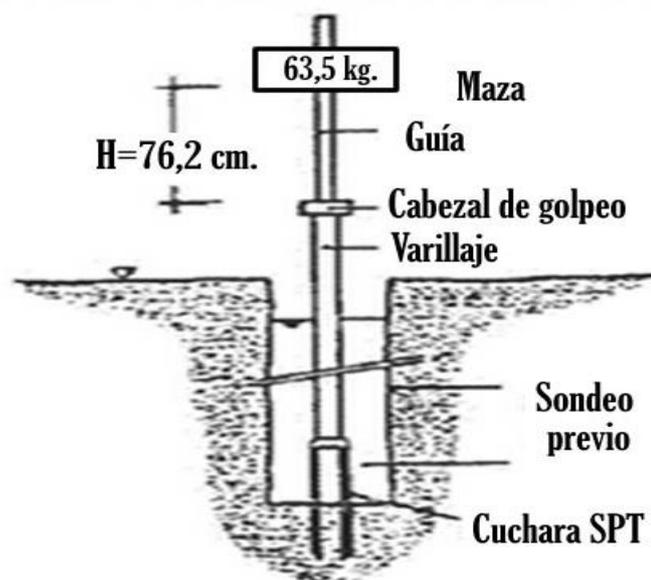
### 1.3.1.2. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar se simboliza con la sigla SPT, procedente de la denominación inglesa Standar Penetration Test, el mismo que tiene características específicas.

Delgado (2013) señala que al convertir el proceso de hincar la toma muestras en el terreno en un ensayo dinámico de penetración corresponde al ensayo de penetración estándar SPT, cuando se realizan muestreos de los suelos granulares con la toma muestras fragmentado se produce cambios graves en su estructura original e impide la adecuada determinación de las propiedades físicas mediante pruebas de laboratorio, debiéndose medir en forma sencilla el grado de compacidad del suelo en el sitio.

El ensayo de penetración es ejecutado “in situ” que se realiza en el fondo de una perforación; consiste en determinar el número N de golpes de un martillo con peso de 63.5 kg (140 lb) y 762 mm (30 pulgadas) de altura de caída, necesarios para hincar en el suelo inalterado un toma-muestras partido normal en una distancia de 305 mm (1.00 pie). En la figura 13 puede apreciarse un corte esquemático de la toma muestras, cuyos diámetros normalizados son: 36.8 mm (1.45 pulgadas) de diámetro interior y 50.8 mm (2.0 pulgadas) de diámetro exterior. El tomamuestras, roscado a la parte inferior de las barras de perforación, se baja suavemente al fondo de la cavidad, una vez esta se haya limpiado perfectamente con el barreno o con el chorro de agua de lavado.

Después de que el tomamuestras toca el fondo, el martillo se debe golpearlo a través de las barras hasta penetrarlo 150 mm (6 pulgadas); en ese momento se inicia propiamente el ensayo y es cuando el técnico debe contar el número N de golpes necesarios para avanzar los siguientes 305 mm (1.0 pie) (Delgado, 2013).



*Figura 13:* Disposición para la toma de muestras y ejecución del ensayo normal de penetración en una perforación.

En relación a la energía del martillo se indica que cuando el SPT se va a correlacionar con los parámetros del suelo necesarios para el análisis y diseño de las fundaciones, se requiere considerar los procedimientos de campo usados para avanzar la

toma de muestras en el terreno, por motivo de que la energía para hincarlo transmitida al toma muestras resulta afectada por el tipo de martillo, el procedimiento para golpear y otros factores. Estudios realizados por Schmertmann, Kovacs y Salomone (como se citó en Delgado 2013) fueron orientados a medir las variables que controlan la energía entregada al tomar muestras.

Se sabe que la relación de energía ER o energía efectiva entregada por el denominado martillo de seguridad es del orden del 60% de la energía teórica de 475 J, valor basado en el producto de los valores normalizados: peso del martillo por la altura de caída. El martillo macizo corto (donut), puede tener una relación de energía del orden del 45%. Entonces, para el mismo suelo el martillo macizo corto requeriría un mayor número de golpes, indicando así una resistencia más alta. En varios países, donde se usan equipos con rendimiento similar al del martillo de seguridad, se ha propuesto como norma internacional una relación de energía del 60%.

Sin embargo, Bowles, como se citó en Delgado (2013) sugiere que una relación de energía del 70% es más compatible con las obtenidas en la práctica en los Estados Unidos de América.

La siguiente fórmula está relacionada con los golpes del martillo:

$$N_n = \frac{ER}{ER_S} N$$

Con esta fórmula se calculan los golpes  $N_n$  referidos a un sistema con relación de energía estándar ER, si se obtienen N golpes por medio de un sistema con relación de energía conocida ER. Por ejemplo, si se encuentran  $N_{45}$  golpes en un sistema cuyo ER = 45% y se quieren referir a una relación de energía  $ER_S = 60\%$ , se obtiene:

$$N_{60} = N_{45} \frac{45}{60} = 0.75N_{45}$$

Lo anterior significa que, si se utiliza un valor  $N_{45}$ , resultan inseguros los resultados obtenidos para un parámetro mediante una correlación empírica desarrollada en condiciones  $ER_{60}$ . En general, es peligroso adoptar valores no ajustados de N, medidos con sistemas de

baja eficiencia, para usarlos en correlaciones empíricas obtenidas con mayores relaciones de energía (Delgado 2013).

En cuanto a las Correlaciones empíricas del SPT Delgado (2013) manifiesta que son de mucha utilidad e interés, los métodos de investigación del subsuelo que incluyen ensayos de penetración, puesto que han permitido obtener correlaciones de validez general o local entre los resultados de campo y los resultados de ensayos de laboratorio, sobre diferentes suelos. Esto hace posible relacionar directamente resultados de ensayos in situ con propiedades físicas del suelo, lo cual es necesario para la relación y el diseño de fundaciones.

Se han desarrollado formulas empíricas para corregir el valor de N registrado en el terreno, de acuerdo con las variaciones o influencias de algunos de los factores de divergencia mencionados.

Los estudios de Gibbs y Holtz (como se citó en Delgado 2013) encontraron que las diferencias del peso de las capas superyacentes al nivel del ensayo, en los suelos no cohesivos, tienen incidencia en el valor de N, en el siguiente sentido: para dos suelos sin cohesión de la misma densidad, el de mayor presión de sobre capa presenta el mayor valor de N. Con base en estos resultados, propusieron modificar los valores registrados del ensayo de penetración cerca de la superficie del terreno, para incluir el efecto de la presión de sobre capa, considerando que el valor de N sin esta corrección tiende a ser demasiado pequeño.

La fórmula propuesta por Gibbs y Holtz para arenas secas al aire o húmeda, es la siguiente:

$$N = N' \frac{35}{P' + 7}$$

Donde:

N = valor corregido del ensayo de penetración.

N' = número de golpes realmente registrado.

P' = presión efectiva de sobre capa, igual a  $\gamma h$ , que no exceda de 28 t/m<sup>2</sup>.

Otra idea fue de Peck (como se citó en Delgado 2013), para fines similares, propuso usar un factor de corrección  $C_N$ , que se multiplica por los valores de N de terreno, para obtener valores corregidos.  $C_N$ , viene dado por la siguiente fórmula:

$$C_N = 0.77 \log_{10} \frac{20}{p'}$$

En donde  $p'$  = presión efectiva de sobre capa en  $\text{k/cm}^2$ . Esta expresión es válida siempre que  $p'$  sea mayor o igual a  $0.25 \text{ kg/cm}^2$ . Fácilmente puede comprobarse que  $C_N$  tiene un valor unitario cuando  $p' = 1.0 \text{ kg/cm}^2$  (95.76 KPa).

Es posible encontrar en la literatura otras correcciones por presión de sobre capa para N.

Bowles (como se citó en Delgado 2013) sugiere que la siguiente no está lejos del promedio de varias de ellas y es más sencilla:

$$C_N = \left(\frac{p''}{p'}\right)^{1/2}$$

$p''$  es una presión de sobre capa de referencia igual a  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  ó 95.76 KPa.

Terzaghi y Peck (como se citó en Delgado 2013) propusieron la siguiente relación entre la densidad relativa D, y el numero N del golpe del SPT, presentadas en la tabla 2, que ha sido acogida en muchos tratados tradicionales de ingeniería de fundaciones y en algunos códigos. Su utilidad actual es la de servir como guía muy preliminar para formarse un concepto sobre la compacidad natural in situ de los depósitos de suelos granulares sin cohesión.

**Tabla 2:** Los límites de los intervalos para la densidad relativa son similares a los de la Tabla 3

$(N_1)_{60}$	$D_r$ %	Compacidad
0 – 3	0 – 15	Muy suelta
3 – 8	15 – 35	Suelta
8 – 25	35 – 65	Mediana
25 – 42	65 – 85	Densa
42 - 58	85 - 100	Muy Densa

Con base en investigaciones, podría decirse reciente, Bowles (como se citó en Delgado 2013) propone la tabla 3 de correlaciones empíricas entre N del SPT y otras propiedades de los suelos granulares. Estos valores deben emplearse con precaución debido a los diversos factores in situ que afectan a N,  $D_r$ , y  $\emptyset$ , tales como edad, cementación natural, humedad angularidad de los granos, y a lo que puedan representar los términos fino, medio y grueso.

**Tabla 3:** Valores empíricos de  $\emptyset$ ,  $D_r$  y  $\gamma$ , relativos a  $N$  del SPT en suelos granulares normalmente consolidados y una profundidad de 6 m.

Descripción	Muy suelta	Suelta	Mediana	Densa	Muy densa
Densidad relativa, $D_r$	0 – 0.15	0.15 – 0.35	0.35 – 0.65	0.65 - 0.85	0.85 - 1.0
$N_{70}$ SPT	Fino 1 – 2	3 - 6	7 – 15	16 – 30	?
	medio 2 – 3	4 – 7	8 – 20	21 – 40	>40
	grueso 3 - 6	5 – 9	10 – 25	26 – 45	>45
$\emptyset$	Fino 26 – 28	28 – 30	30 – 34	33 – 38	
	Medio 27 – 28	30 – 32	32 – 36	36 – 42	<50
	Grueso 28 – 30	30 – 34	33 – 40	40 – 50	
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	11 - 16	14 – 18	17 - 20	17 – 22	20 – 23

Conviene destacar que los resultados de la tabla n° 3 son válidos para la práctica de USA con base en una relación de energía de referencia del 70% propuesta por Bowles (como se citó en Delgado 2013). Es decir que los golpes del SPT son  $N_{70}$ .

Meyerhof (como se citó en Delgado 2013) propuso indirectamente una relación entre  $N$  y  $D_r$  de la forma:

$$\frac{N_{70}}{D_r} = A + Bp'$$

Skempton (como se citó en Delgado 2013) mostró que  $A$  y  $B$  tienden a ser dependientes del sitio en cinco suelos el intervalo para  $A$  estaría entre 15 y cerca de 54; y de 0.304 a 0.204 para  $B$  (sobre una base  $N_{70}$ ). La amplitud de los intervalos hace algo riesgoso tomar un promedio; sin embargo, este promedio sería:

$$\frac{N_{70}}{D_r} = 32 + 0.288 p'$$

Con  $p'$  en KPa. Para un  $p'$  de 95.76 KPa (una profundidad de 6 m y un peso unitario de  $16 \text{ KN/m}^3$ ) la relación  $N_{70}/(D_r)^2$  es del orden de 60, que de acuerdo con Bowles (como se citó en Delgado 2013) da valores de  $N$  de similar magnitud a los de la tabla 3, para arenas normalmente consolidadas.

En relación con Meyerhof (como se citó en Delgado 2013), se puede expresar el ángulo de resistencia al corte,  $\phi$ , en función de la densidad relativa,  $D_r$ , en %, por medio de las siguientes relaciones:

$$\phi = 25 + 0.15 D_r$$

Para suelos granulares que contienen menos de un 5% de finos, y para suelos granulares que contienen menos de un 5% de finos. Pueden usarse los valores más altos para suelos granulares con 5% o menos de arena fina y limo.

$$\phi = 30 + 0.15 D_r$$

También se encuentra en la literatura la siguiente relación burda entre  $\phi$  y  $N$ , válida para arenas marinas y aluviales:

$$\phi = 28^\circ + N/4$$

En ella es una constante de proporcionalidad que debe evaluarse a partir de resultados de ensayos de laboratorio. Las características de las arcillas afectan notablemente el valor de  $C$ . Se ha encontrado que en arcillas de baja plasticidad su valor varía entre 0.1 y 0.2, con un promedio de 0.15. En arcillas muy limosas o arenosas el intervalo de variación es más bajo 0.05 a 0.15, con un valor promedio de 0.10 (Delgado, 2013).

## **1.3.2. Variables Dependientes**

### **1.3.2.1. Potencial de Licuefacción**

#### **1.3.2.1.1. Licuefacción de suelos**

##### **A) Licuefacción**

Como primer concepto vinculado al área de Química, define que Licuefacción o licuación es el cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del estado gaseoso al líquido. El proceso ocurre por la acción de la temperatura y el aumento de la presión, que permite llegar a una sobrepresión elevada. Esto diferencia a la licuación de la condensación, que acontece cuando una sustancia cambio de estado pasando del vapor al líquido, por la disminución de la temperatura (Pérez, 2008).

Otro concepto vinculado al área que estamos trabajado, correspondiente al estudio de Suelos, define que la Licuefacción es un fenómeno que a causa de la saturación de agua y particularmente sedimentos recientes como arena y grava, los suelos pierden su firmeza y fluyen como resultado de esfuerzos horizontales (RSN UCR-ICE, 2014).

##### **B) Descripción del fenómeno**

Para un entendimiento más claro de este fenómeno, Hernández (2007) afirma:

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

Se puede afirmar que es un hecho experimental bien establecido que la aplicación de una carga cíclica a una muestra de arena, seca o saturada en condiciones drenadas, ocasiona un reacomodo de los granos del suelo que da como resultado una contracción o densificación volumétrica. Esta contracción explica el incremento de la presión de poro en suelos saturados en condiciones no drenadas o parcialmente drenadas, lo que reduce el esfuerzo efectivo medio a valores tales que hacen que el suelo tenga fallas

parciales o totales. En un caso límite, el suelo puede fluir con resistencias prácticamente nulas, produciéndose el fenómeno de la licuación.

Los primeros estudios cuantitativos de este fenómeno pertenecieron, originalmente, al análisis estático de taludes naturales en las márgenes del río Mississippi. Estos habían presentado un comportamiento inestable, provocado por la subida gradual del nivel freático y en algunos casos fluctuaciones en el nivel de la marea, modificando las redes de filtración del terreno. A causa de estas variaciones se producían deslizamientos, y el mismo se detenía cuando el ángulo del talud había alcanzado unos escasos grados. Para explicar este fenómeno Casagrande (como se citó en Hernández (2007) propuso el concepto de “Relación de vacío crítica”. Posteriormente, se realizó un estudio extensivo de numerosos deslizamientos a lo largo de la ribera del río Mississippi.

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

Habría que resaltar, que se producirá licuación solo en aquellos suelos donde su resistencia residual es menor que la tensión tangencial estática actuante, con anterioridad a la ocurrencia de un sismo o la aplicación de otro tipo de carga rápida.

Denominada movilidad cíclica al fenómeno de licuación muy limitada, provocado por cargas cíclicas. Ocurre en suelos con compacidad relativa alta, con una resistencia residual mayor que la tensión tangencial estática actuante. Las deformaciones debido a la movilidad cíclica se desarrollan de manera

incremental debido a que actúan simultáneamente las tensiones estáticas y dinámicas.

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

Los "volcanes de arena".

Las grietas en el terreno.

Las pérdidas de capacidad portante.

Los movimientos laterales.

Las oscilaciones horizontales del terreno.

Las fallas de taludes por flujo del terreno.

### **C) Evaluación de Riesgo a la Licuefacción**

Para la evaluación del riesgo de licuefacción, Rodas (2011) afirma que se debe determinar la susceptibilidad del suelo y los efectos que puede producir

#### *a) Suelos susceptibles a la licuefacción*

Para determinar si los suelos son susceptibles a la licuefacción hay que establecer ciertos criterios para evaluarlos, ya que no todos los suelos son susceptibles, por lo que *Kramer y Stewart* (como se citó en Rodas, 2011), establecieron ciertos criterios básicos para evaluarlo, estos se presentan a continuación:

- i. Criterios históricos: 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-licuefacción, puede ser utilizada como prueba de susceptibilidad, en un determinado lugar.
- ii. 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.

- iii. Criterios basados en el estado del suelo: el potencial de licuefacción de un suelo también depende de su estado, como los esfuerzos efectivos a los que está sometido y su densidad en el lugar, ya que la tendencia de un terreno a densificarse, bajo condiciones de carga cíclicas, depende de su densidad y de esfuerzos efectivos. Los suelos sueltos son bastante más susceptibles de licuefacción que los suelos densos y, para una densidad dada, los suelos bajo altas tensiones de confinamiento efectivas, son más susceptibles que los suelos bajo tensiones de confinamiento efectivas bajas.
- iv. Criterios basados en la composición del suelo la composición física de un suelo juega un importante papel en la determinación de su susceptibilidad de licuefacción. Las arenas uniformemente graduadas y limpias, compuestas principalmente de partículas redondeadas son específicamente más susceptibles, mientras que los suelos bien graduados 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.

#### *b) Suelos granulares*

El fenómeno de la licuefacción está asociado a suelos granulares saturados o suelos no cohesivos, esto se debe a efectos de cargas cíclicas de una magnitud alta y una duración larga, ocurre normalmente en suelos granulares sueltos o de baja densidad, saturados, y uniformemente graduados. Las arenas, mientras más alta sea la densidad, menos propensas a la licuefacción, según Brandes (como se citó en Rodas, 2011), para suelos granulares o no cohesivos con una resistencia al sondeo de penetración estándar por profundidad  $(N_1)_{60} > 30$ , son considerados con una densidad lo suficientemente grande para no presentar riesgo a la licuefacción.

c) *Suelos con presencia de finos*

Los suelos con presencia de finos también tienen un comportamiento similar a la licuefacción de las arenas, cuando presentan un grado de saturación del 100%, y son sometidas a cargas cíclicas, los criterios para que estos suelos sean susceptibles a la licuefacción los propuso Wang (como se citó en Rodas, 2011):

Fracción de arcilla (partículas menores de 0.005mm)  $\leq 15\%$ .

Límite líquido, LL  $\leq 35\%$

Contenido de humedad natural  $\geq 0.9$  LL

Índice de liquidez, LI  $\leq 0.75$ .

Si el suelo está dentro de estos parámetros, se deberá realizar pruebas para evaluar el potencial a la licuefacción.

Andrius y Martin, en el año 2000 realizaron una adaptación a estos criterios con una reevaluación, tomando en cuenta un gran número de casos de licuefacción en suelos con presencia de finos, los cuales recomiendan suelos con una fracción de arcilla (partículas menores de 0.002 mm) menor al 10% y un límite líquido menor de 32%, son considerados susceptibles a la licuefacción y los suelos con un índice líquido mayor que el 32%, son considerados poco susceptibles de presentar el fenómeno de licuefacción.

**D) Evaluación de la posibilidad de ocurrencia del proceso de Licuefacción**

José (s.f.) afirma que varios investigadores han recabado datos de sismos y han estudiado sitios en los que se han generado procesos de licuefacción y donde no, en distintas regiones y países del mundo. Con esta información se han generado metodologías de cálculo para evaluar la posibilidad que tiene una zona definida de generar procesos que lleven a la licuefacción. Los métodos de evaluación más conocidos son los que analizan las relaciones de tensiones cíclicas que generan los sismos y los comparan con la relación de tensiones cíclicas que resisten los suelos donde se supone ocurrirá el sismo

de diseño. Del cociente de éstas dos relaciones, se obtiene un coeficiente de seguridad que cuantifica la posibilidad de que ocurran procesos de licuefacción. Debemos destacar que cuando nos referimos a relaciones de tensiones cíclicas estamos hablando de relacionar las tensiones de corte " $\tau$ " con las tensiones verticales efectivas en el mismo punto " $\sigma'v$ ". Para evaluar el proceso y obtener el coeficiente de seguridad, se requieren realizar varios pasos de un proceso de cálculo basado fundamentalmente en los ensayos de SPT que realizamos en el campo. A continuación, damos en detalle, los pasos a seguir para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo ante la avenida de una sollicitación sísmica en un predio donde se construirá una obra civil y obtener los valores necesarios que nos permitan concluir con el cálculo.

### ***Procedimiento 1***

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

### ***Procedimiento 2***

Hacer un estudio detallado de las tensiones verticales totales  $\sigma_v$  y de las tensiones verticales efectivas  $\sigma'v$  para cada nivel, tanto para los perfiles estudiados, en su condición inicial, como para los mismos perfiles luego de terminada la obra.

Debe tener en cuenta la posible fluctuación de los niveles de la napa de agua, para las distintas etapas del año. Además, deberá considerar, la posible variación de la napa de agua luego de concluida la obra.

### Procedimiento 3

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

$$\frac{\tau}{6v'}$$

Analizando una columna de suelo de sección transversal unitaria “A” como la que se muestra en la figura 14, dentro de una estratigrafía dada, podremos calcular la magnitud de la fuerza horizontal que se generará en la parte inferior de la misma cuando sobreviene el sismo de diseño por el movimiento horizontal de las partículas de la columna y suponiendo en esta primera evaluación que la columna se comporta como un sólido rígido tendremos:

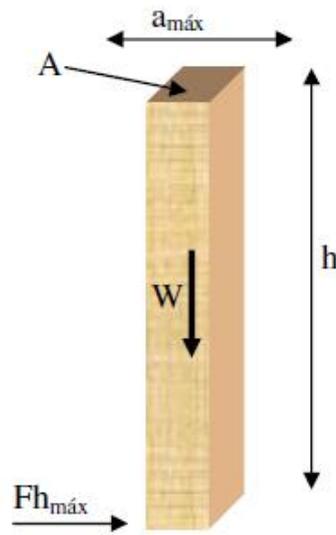


Figura 14: Determinación de los niveles de agua

$$Fh_{\max} = m * a_{\max}$$

Dónde: m= Masa de la columna

$$m = \frac{W}{g} = \frac{\gamma * h * A}{g}$$

Reemplazando en lo anterior

$$Fh_{\max} = \gamma * h * A * \frac{a_{\max}}{g}$$

Si dividimos todo por A tendremos:

$$\tau_{\max} = \gamma * h * \frac{a_{\max}}{g} = 6_v * \frac{a_{\max}}{g}$$

Con el valor de la aceleración máxima obtenemos el valor de la tensión de corte máximo, por lo tanto, como sabemos que la tensión de corte media es el 65 % de la tensión de corte máxima, podemos hacer:

$$\tau = 0.65 * 6_v * \frac{a_{\max}}{g}$$

Por otra parte, la relación

$$\frac{a_{\max}}{g} = a_0$$

Es la aceleración de la ordenada del espectro de diseño “ $a_0$ ” que expresa una pseudo aceleración, concebida como una fracción de la aceleración de la gravedad “ $g$ ”, para el movimiento en la superficie del terreno, le corresponde la ordenada al origen del espectro de diseño.

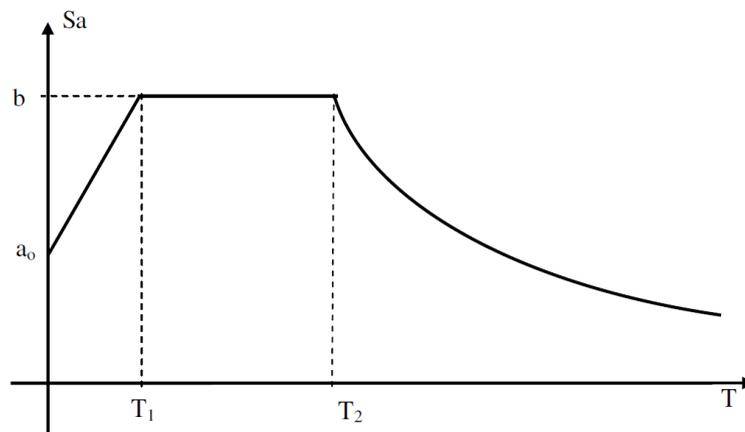


Figura 15: Curva pseudo aceleracion vs Tiempo

#### ***Procedimiento 4: Flexibilidad de la columna de suelos***

Finalmente, lo calculado en este ítem supone que la columna de suelo analizada se comporta como un sólido rígido, esto no es así ya que la columna de suelos, tiene movimientos relativos distintos que disminuyen a medida que aumenta la profundidad, por lo que la ecuación anterior debe ser afectada por un coeficiente de reducción “ $r_d$ ” que vale 1 para el nivel de la superficie y disminuye a medida que aumenta la profundidad.

$$CSR_{M=7.5} = 0.65 * \frac{a_{\max}}{g} * \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

Este *factor de reducción de tensiones* “ $r_d$ ” que se define como un factor de flexibilidad de la columna de suelos desde la superficie a la profundidad que se está evaluando, queda definido como:

La relación entre el pico de tensiones de corte al pie de la columna de suelos ( $\tau_{\max}d$ ) y la tensión de corte de un cuerpo rígido ( $\tau_{\max}r$ )

$$r_d = \frac{(\tau_{\max})d}{(\tau_{\max})r}$$

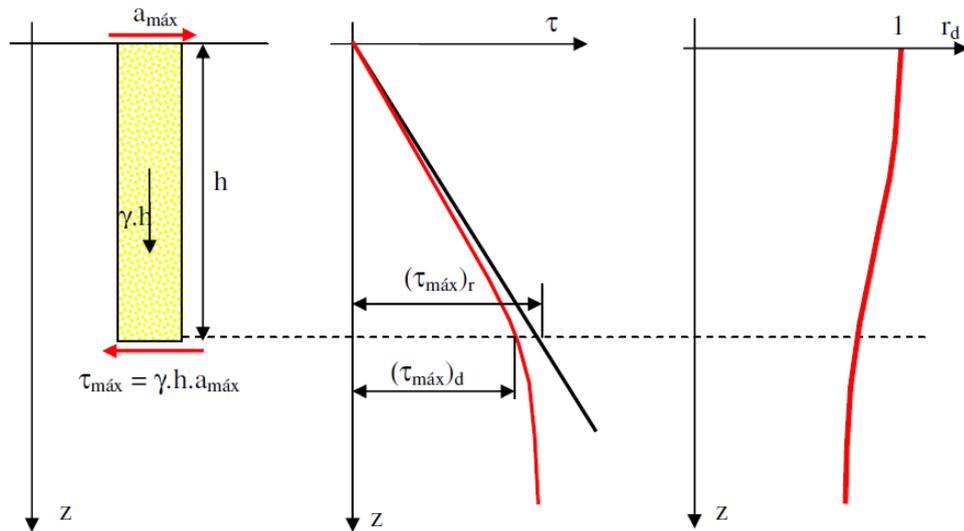


Figura 16: Si la columna analizada estuviera compuesta por un material rígido, el valor de  $r_d$  para cualquier profundidad sería igual a 1

Existen varios caminos para aproximar el valor de  $r_d$  para una profundidad “z”, uno de ellos, que fue propuesto por Idriss y Boulanger (como se citó en Rodas, 2011), se calcula utilizando las siguientes ecuaciones:

Para profundidades con valor  $z \leq 34\text{m}$

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

Donde:

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

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 * \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 * \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

Para profundidades con valor  $z > 34\text{m}$

$$r_d = 0.12 * \exp(0.22 * M)$$

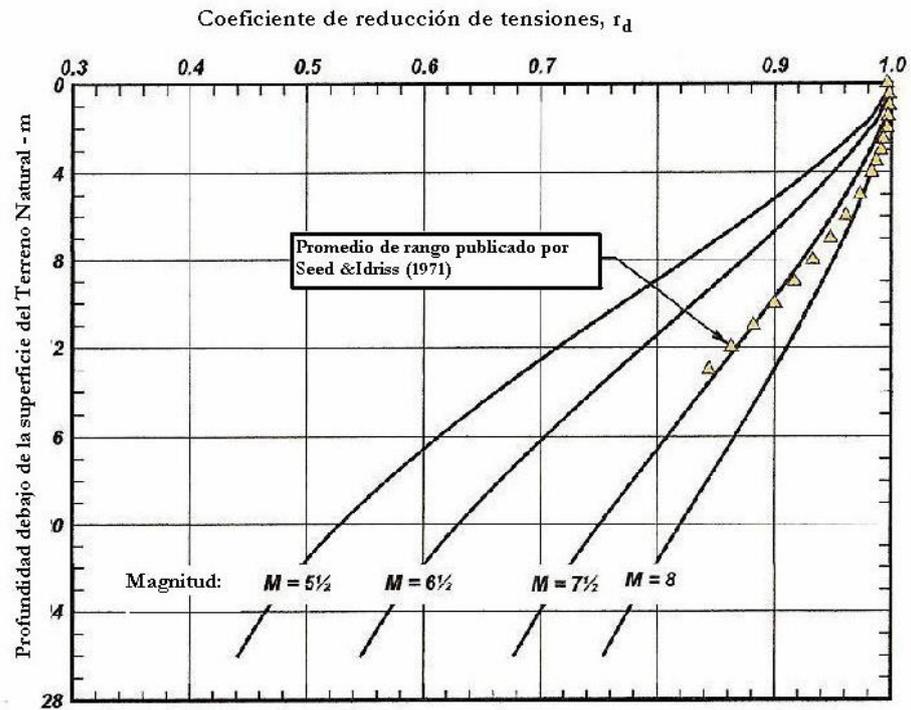


Figura 17: Variación del coeficiente de reducción de tensiones con la profundidad y la magnitud del sismo

Calculo del valor de  $r_d$  propuesto por Liao y Whitman

$$r_d = 1 - 0.00765 * z \quad \text{para } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad \text{para } 9.15 \text{ m} \leq z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.774 - 0.08 * z \quad \text{para } 23 \text{ m} \leq z \leq 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 * z \quad \text{para } z \geq 30 \text{ m}$$

Donde:  $z$  = cota donde se va a evaluar el potencial de licuefacción.



### Procedimiento 5: Influencia de la Magnitud del Sismo

Los valores dados por la ecuación anterior son válidos para un sismo de diseño de magnitud  $M = 7,5$  de la escala Richter. Para otros valores de la magnitud “M” del sismo probable de manifestarse, se debe afectar a la ecuación anterior de un coeficiente o factor de escala denominado *Magnitude Scaling Factor* “MSF” que toma el valor unitario para  $M = 7,5$ .

Este factor de escala queda definido por la siguiente relación:

$$MSF = \frac{CSR_{(M=7.5)}}{CSR_{(M)}}$$

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

$$MSF = 6.9 * \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058$$

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

Con lo cual la ecuación de CSR<sub>M</sub> quedaría de la siguiente forma:

$$CSR_M = 0.65 * \frac{a_{\max}}{g} * \frac{G_v}{G'_v} * \frac{r_d}{MSF}$$

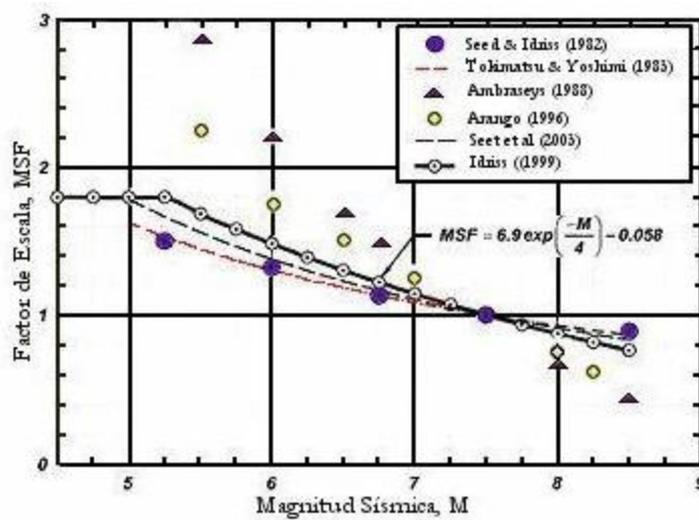


Figura 18: Factor de corrección de escala para distintas magnitudes del sismo

#### Procedimiento 6: Valores a considerar de los ensayos de SPT

Evaluar los valores de los ensayos de penetración SPT a través del Número de golpes teniendo en cuenta una eficiencia del 60% con respecto a la eficiencia nominal del ensayo SPT.

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

Sin embargo, los trabajos que permiten calcular el potencial de Licuefacción y que están basados en el ensayo SPT, están referidos a un equipo standard de ensayo que transmite una energía del 60 % de la nominal teórica, por lo tanto, hay que corregir los ensayos que tenemos hechos con una energía  $E_1$  a esta nueva energía  $E_{60}$  haciendo

$$N_{60} = \frac{N * E_1}{E_{60}}$$

Donde “N” es el N° de golpes logrado para una energía E1 y N60 es el N° de golpes que se requeriría utilizando una energía del 60 %.

A título de ejemplo, supongamos que tenemos un equipo que transmite una energía del 95 % con respecto a la nominal teórica y que queremos transformar un ensayo de SPT que nos dio N = 9 golpes con este equipo, a otro valor que nos hubiera dado el equipo Standard con una energía del 60 %.

El nuevo valor de N1 será:

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

A los efectos de poder evaluar que se considera un equipo Standard, en la tabla 4 que se adjunta, figuran una serie de características que dan varios autores para este equipo.

**Tabla 4:** *Equipo de SPT estandarizado Recomendado por Seed et al en 1985*

<b>ELEMENTOS</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
Saca muestra	Cuchara partida de Terzaghi, de diámetro externo de 51 mm y de diámetro interno de 35 mm
Barras de perforación	Barras tipo A y AW para perforaciones de menos de 15 metros y barras tipo N o NW para perforaciones de mayor profundidad.
Martillo	Martillo standard con un peso de 63,5 kg y una altura de caída de 762 mm
Soga	Dos vueltas de sogas alrededor de la roldada de izaje
Perforación	De 100 a 130 mm de diámetro hecho con el sistema de perforación con lodos bentoníticos para el estabilizado de las paredes de la perforación
Herramientas de perforación	Con deflector de corriente ascendente del lodo de perforación (Tricono o mecha de perforación)
Frecuencia de golpeo	De 30 a 40 golpes por minuto
Medición de la resistencia a la penetración	De 30 a 40 golpes por minuto

Otra forma de corregir el valor de “N” si se utiliza un equipo no standard, para transformarlo en un valor de  $N_{60}$  podrá ser obtenido a través de la siguiente ecuación:

$$N_{60} = N * C_{60}$$

Donde el valor de  $C_{60}$  se obtiene como el producto de varios factores de corrección, que se pueden obtener de la tabla 5 que se adjunta, en ella se

detallan varios factores de corrección para la eficiencia de los equipos considerados no estandarizados dados por distintos autores

**Tabla 5:** Factores de corrección para procedimientos y equipos no standard

Corrección por	Factor de Corrección	Referencia
Martillo no standard DH = Martillo de forma anular ER = Relación de energía	$C_{HT} = 0,75$ para DH con soga y polea $C_{HT} = 1,33$ para DH con disparador automático y ER = 80 %	Seed et al (1985)
Martillo no standard en el peso o en la altura de caída W = Peso H = Altura de caída	$C_{HW} = \frac{H * W}{63.5 * 762}$	Seed et al (1985)
Sacamuestras no standard (saca muestras para usar con tubos en su interior, pero usado sin tubos)	$C_{SS} = 1,10$ para arenas sueltas $C_{SS} = 1,20$ para arenas densas	Seed et al (1983)
Sacamuestras no standard sacamuestras no standard con tubos en su interior	$C_{SS} = 0,90$ para arenas sueltas $C_{SS} = 0,80$ para arenas densas	Skempton (1986)
Barras de perforación cortas	$C_{RL} = 0,75$ para barras de 0 a 3 m de largo	Seed et al (1983)
Diámetro de la perforación no standard	$C_{BD} = 1,05$ para un diámetro de 150 mm $C_{BD} = 1,15$ para un diámetro de 200 mm	Skempton (1986)

Nota: N = Valor del SPT sin corregir

$$C_{60} = C_{HT} C_{HW} C_{SS} C_{RL} C_{BD}$$

$$N_{60} = N * C_{60}$$

### **Procedimiento 7: Influencia de la tapada del suelo**

Teniendo el valor estandarizado de N que llamaremos  $N_{60}$ , tenemos que obtener el valor normalizado del SPT, que llamaremos  $(N_1)_{60}$ . Esta corrección corresponde aplicarla únicamente a los suelos granulares, deriva de los cambios que experimentan los suelos de este tipo con la presión de confinamiento, que en los mantos naturales es una función directa de la tapada o más directamente de la profundidad “z” a la que se ejecuta el ensayo.

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

La fórmula más utilizada para obtener en valor corregido por la tapada en suelos granulares es la Liao – Whitman (como se citó en Rodas, 2011),

$$C_N = \sqrt{\frac{10 \text{ ton/m}^2}{\sigma_v'}}$$

Donde  $\sigma_v'$  se expresa en ton/m<sup>2</sup> y es el valor de la presión efectiva de la tapada al nivel donde se ejecuta en ensayo del SPT

$$C_N = 9.79 * \sqrt{\frac{1}{\sigma_v'}}$$

Con  $\sigma_v'$  en KPa

Otras expresiones que pueden ser utilizadas son:

$$C_N = \frac{1.7}{0.7 + 6_{o'}} \text{ Meyershof – Ishihara (A)}$$

$$C_N = \frac{32.5}{10.2 + 20.3 * 6_{o'}} \text{ Schmertmann (B)}$$

$$C_N = \frac{2}{1 + 6_{o'}} \text{ Skempton (C)}$$

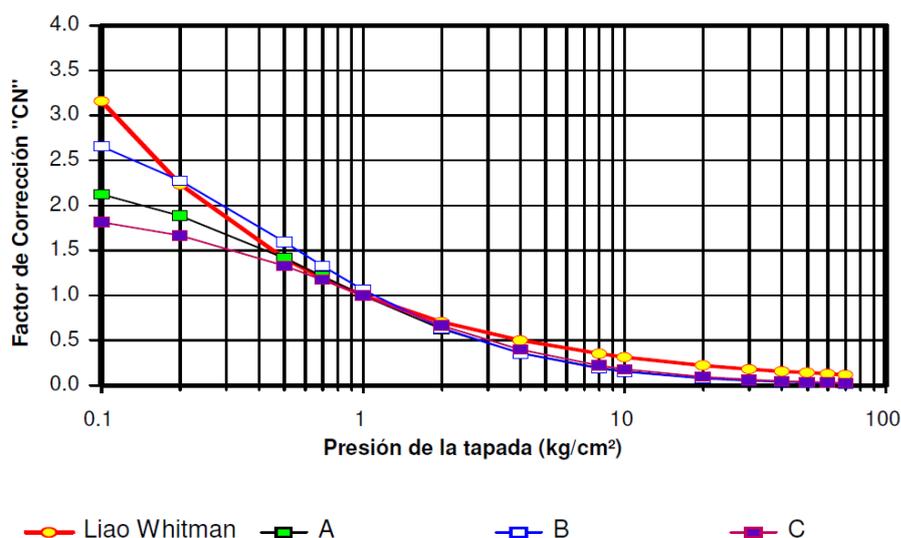


Figura 19: Gráfica para Factores de Corrección  $C_N$  de Liao Whitman

Se debe destacar que estas ecuaciones tienen valor para profundidades mayores a 2,5 m, es decir para presiones verticales superiores a 50 kPa.

### Procedimiento 8: Correcciones por contenido de finos

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

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

Esto se debe a que el grado de drenaje durante la ejecución del ensayo de penetración SPT, disminuye con el incremento del contenido de finos (CF), por lo tanto, el número de golpes medido durante el ensayo subestima la resistencia a la licuefacción en las arenas limosas. Para compensar este efecto se recomienda aumentar el número de golpes del SPT a medida que aumenta el contenido de finos del suelo granular, es decir el valor de  $(N_1)_{60}$  debe ser incrementado en una cantidad  $\Delta(N_1)_{60}$  que dependerá del contenido de finos del suelo

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

El valor de  $\Delta(N_1)_{60}$  puede ser evaluado a partir del contenido de finos de la arena con la siguiente ecuación propuesta por Idriss y Boulanger (como se citó en Rodas, 2011),

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{CF} - \left(\frac{15.7}{CF}\right)^2\right)$$

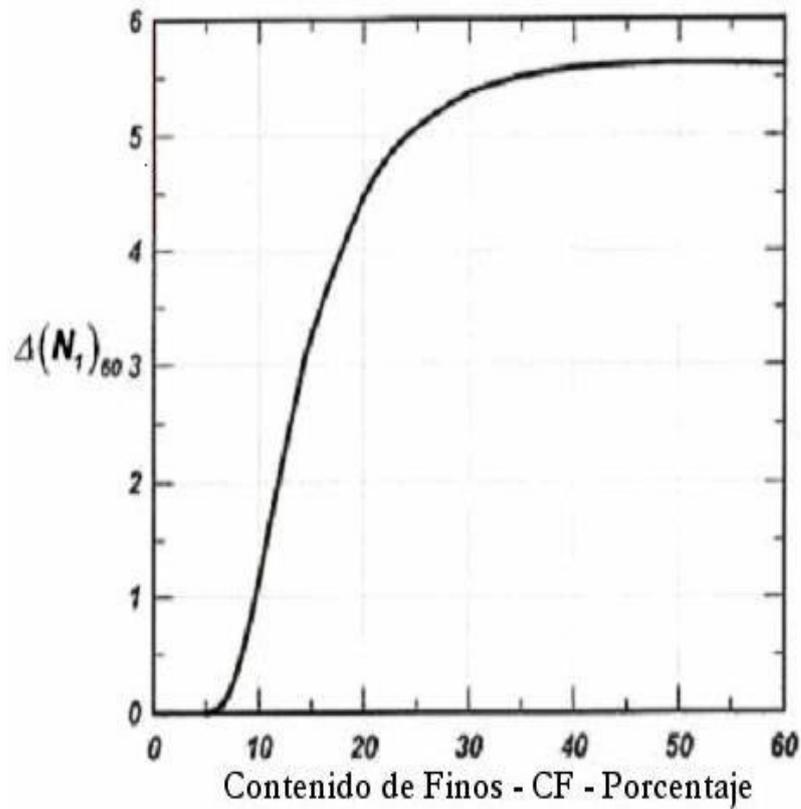
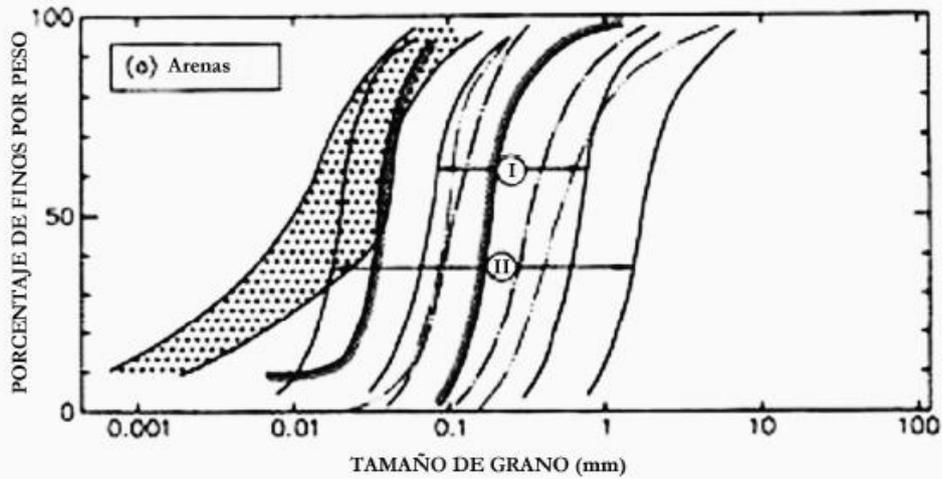


Figura 20: Variación de  $\Delta(N_1)_{60}$  con el contenido de finos

La mayor posibilidad de ocurrencia de licuefacción en suelos granulares (arenas y gravas) de acuerdo a su granulometría, están dadas por las bandas que se detallan en la gráfica de la figura 21.



- I : CONDICIÓN PARA LA MAYORÍA DE LOS SUELOS LICUABLES
- II : CONDICIÓN PARA SUELOS POTENCIALMENTE LICUABLES
- (Dotted pattern) : ARENA ARCILLOSA (ISHIHARA, 1975)
- (Diagonal lines) : ARENAS LICUABLES EN CHIBA-TOHO-OKI - SISMO (1987)
- (Wavy lines) : ARENAS LICUABLES EN NIGATA - SISMO (1964)
- (Vertical lines) : ARENAS LICUABLES EN NIHOMKAI-CHUBU - SISMO (1983)

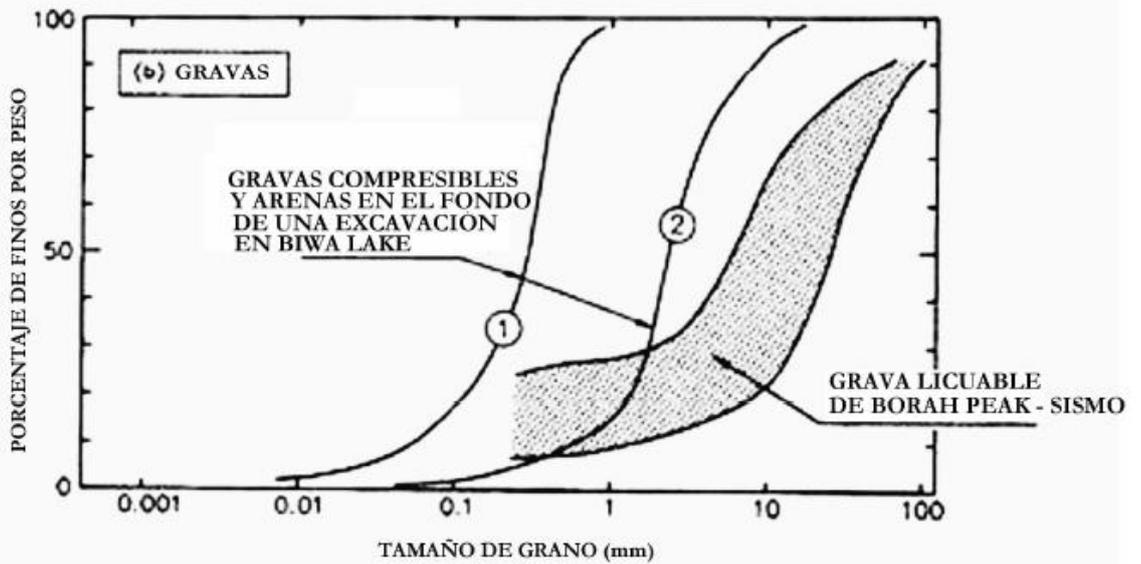


Figura 21: Distribución granulométrica de suelos granulares potencialmente licuables

### **Procedimiento 9: Relación de Resistencia Cíclica**

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

Para ello se evaluaron ejecutando estudios de suelos con equipos de SPT a lo largo de muchos años en distintos sitios del planeta donde se generaron sismos y que se generaron o no problemas de licuefacción. Estos valores son ploteados en gráficos donde en ordenadas se representa la Relación de Resistencia Cíclica “CRR” máxima del suelo y en abscisas el número de golpes corregido del SPT  $(N_1)_{60CF}$ .

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

Las últimas investigaciones realizadas por Idriss y Boulanger (como se citó en Rodas, 2011), permiten obtener la ecuación de la Relación de resistencia cíclica CRR para un sismo de magnitud  $M = 7,5$  y una presión efectiva de  $1 \text{ atm} \approx 1 \text{ kg/cm}^2 \approx 101 \text{ kPa} \approx 10 \text{ tn/m}^2$ .

$$CRR_{M=7.5} = \exp\left[\frac{(N_1)_{60CF}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CF}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CF}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CF}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

La razón de resistencia cíclica CRR expresa la capacidad del suelo para resistir la licuefacción. El método simplificado determina el CRR sobre la base de valores del ensayo SPT. En la Figura que se adjunta se presentan las curvas que relaciona CRR con los valores corregidos del ensayo de SPT, para suelos no cohesivos con un contenido de finos menor que 35%.

Como hemos dicho estas curvas son aplicables para sismos con magnitud  $M = 7.5$ . Para considerar la resistencia del suelo para un sismo de otra magnitud  $M \neq 7,5$ , debe aplicarse un factor de ajuste, el cual se estima mediante los

resultados medidos y recomendados por Seed et al (como se citó en Rodas, 2011), que se muestran en la figura 25.

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

$$K_M = \frac{10}{M^{1.15}} + \frac{0.10}{M}$$

Los valores de  $CRR_{7,5}$  proporcionados por la curva de la gráfica y por la ecuación, son válidos hasta profundidades que generen una presión efectiva menor o igual a  $\sigma_v' = 1$  atm. Para profundidades que generen una tensión mayor de  $\sigma_v' = 1$  atm debe aplicarse un factor de corrección por sobrecarga efectiva.

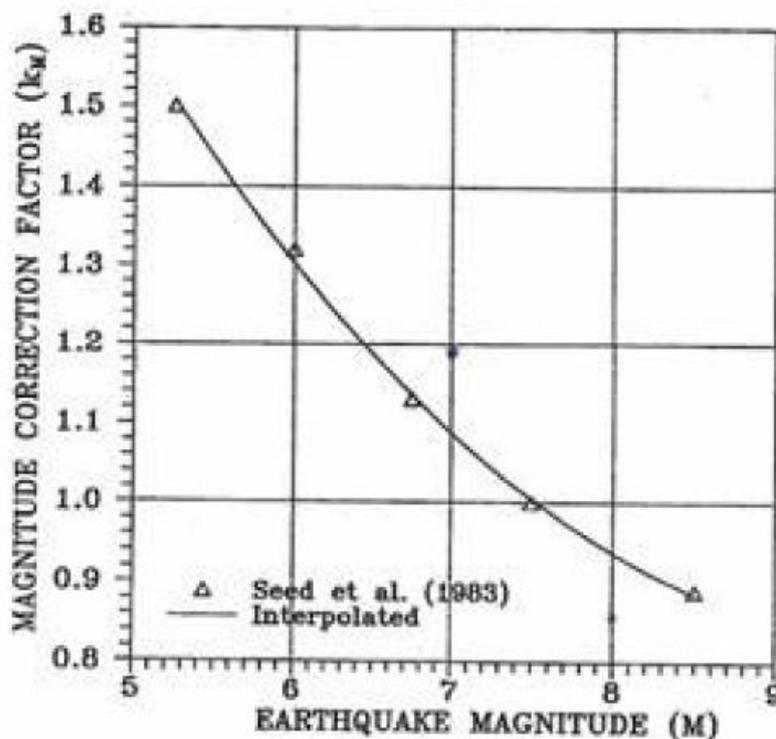


Figura 22: Curva para estimar la magnitud del factor de corrección  $K_M$

Este factor que será llamado  $K_{\sigma}$  puede ser estimado mediante la siguiente ecuación:

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} * \ln\left(\frac{\sigma_v'}{Pa}\right) \leq 1$$

$$\text{Donde: } C_{\sigma} = \frac{1}{18.9 - 2.55 * \sqrt{(N_1)_{60}}} \leq 0.3$$

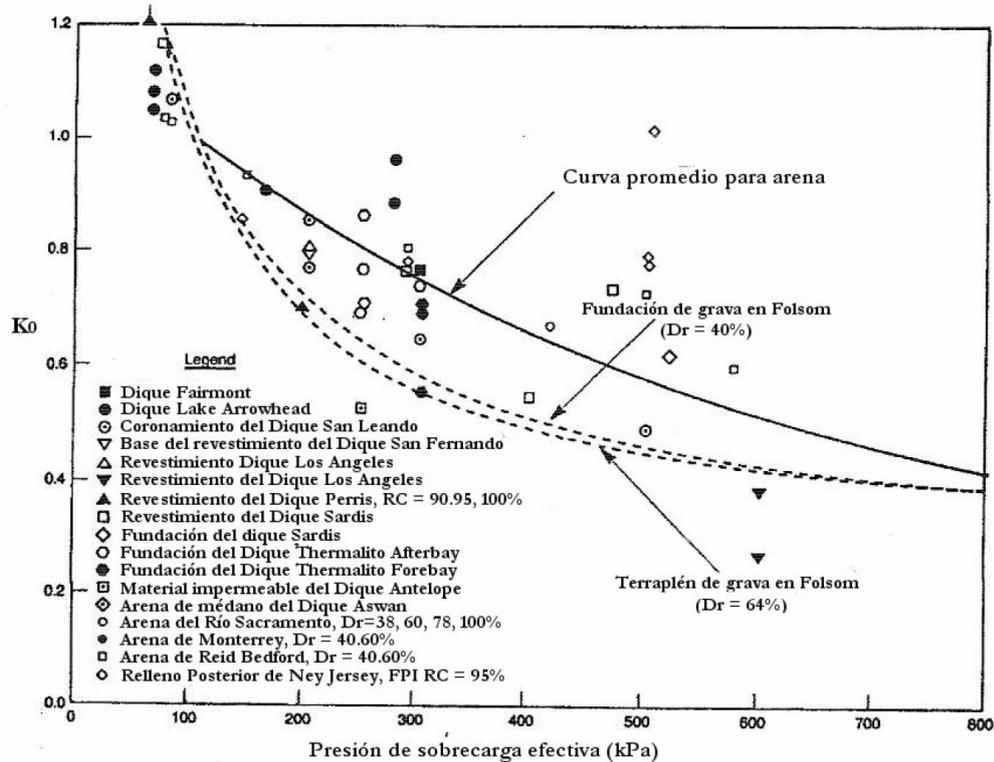


Figura 23: Curva para estimar el coeficiente de corrección  $K_{\sigma}$

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

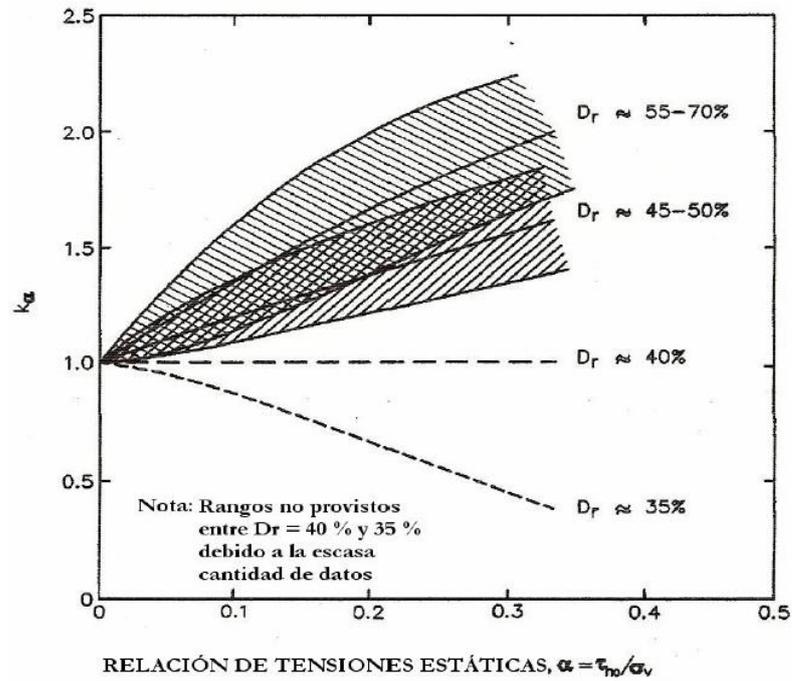


Figura 24: Estimación del coeficiente de corrección  $K_\alpha$

Por lo tanto, el valor CRR, para cualquier sismo particular y para cualquier profundidad se determina mediante la expresión:

$$CRR_M = CRR_{7.5} * K_M * K_\sigma * K_\alpha$$

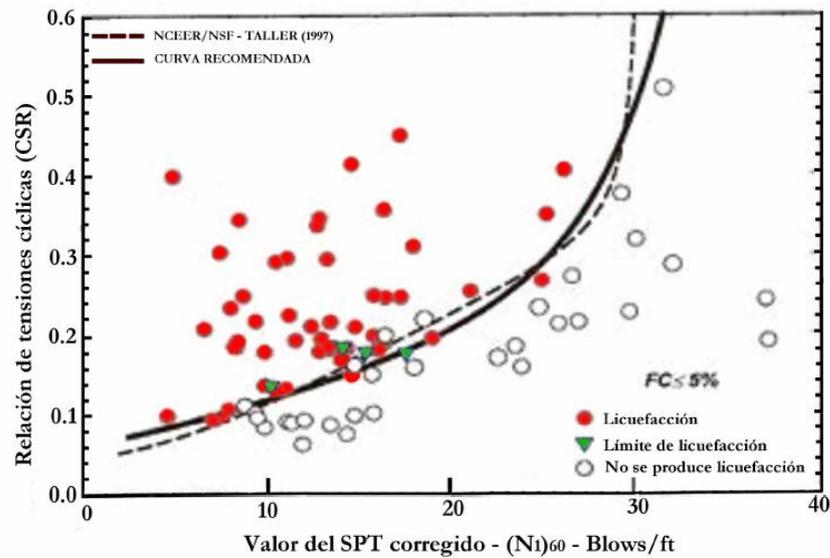


Figura 25: Casos históricos de arenas limpias que han experimentado licuefacción en función del valor del SPT corregido

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

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

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

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

$$F_s = \frac{CRR_M}{CSR_M}$$

### **E) Métodos simplificados para la evaluación del potencial de licuación de suelos**

Este método ha sido propuesto para ser usado en la Norma Técnica de Edificación: Suelos y Cimentaciones (Alva 2002).

La utilización de las metodologías simplificadas se da mediante correlaciones empíricas entre el potencial a sufrir licuación de un suelo y algunas características físicas y/o mecánicas del mismo, tales como: la resistencia a la penetración, tipo de suelo, etc., además de conocer la magnitud y aceleración máxima superficial del sismo de diseño.

Los ensayos de penetración más comúnmente usados para establecer estas correlaciones son: el ensayo de penetración estándar (SPT) y el ensayo de penetración con el cono holandés (CPT), de los cuales los parámetros fundamentales son: el esfuerzo efectivo vertical, el valor de la resistencia a la penetración (N ó qc), el contenido de finos de la arena y el diámetro promedio de las partículas.

*a) Métodos basados en el Ensayo de Penetración Estándar*

Los valores de resistencia a la penetración estándar, define como el número de golpes necesarios para que el muestreador de caña partida penetre 12" en el terreno debido al impacto de la caída libre de un martillo de 140 lb desde una altura de 30".

Las dificultades ocurridas para la realización de este ensayo, algunos parámetros de los suelos pueden probablemente ser medidos con mayor exactitud sobre un amplio rango de profundidades y en condiciones ambientales más difíciles.

i. Método simplificado de Seed e Idriss

Seed e Idriss (como se citó en Alva 2002), estudiaron el fenómeno de licuación ocurrido en el terremoto de Niigata en 1964. Basados en los resultados de laboratorio referido a arenas limpias sometidas a ensayos triaxiales cíclicos, llegan a proponer un método simple para estimar la resistencia a la licuación de las arenas.

Este método usaba la densidad relativa, derivada del SPT, como el parámetro principal del suelo en la determinación de la resistencia a la licuación.

Posteriormente, en 1983, este procedimiento fue revisado y basados en datos de campo en lugares donde se sabía que había producido licuación durante terremotos en Estados Unidos, Japón, China, Guatemala, Argentina y otros países, establecen nuevos criterios para evaluar la licuación en arenas limpias y arenas limosas.

Finalmente, en 1986, Seed y De Alba complementaron este método, presentando un nuevo criterio donde se establecía la importancia del contenido de finos en la resistencia a la licuación de las arenas.

Seed e Idriss propusieron que la relación de esfuerzo cíclico para un suelo a una profundidad determinada durante un terremoto puede ser evaluada mediante:

$$\frac{\tau_d}{\sigma_0} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_0}{\bar{\sigma}_0} r_d$$

Donde:  $\tau_d$  = esfuerzo de corte promedio inducido por el terremoto

$a_{max}$  = aceleración máxima en la superficie del terreno

$g$  = aceleración de la gravedad

$\sigma_0$  = esfuerzo total vertical a la profundidad considerada

$\bar{\sigma}_0$  = esfuerzo efectivo vertical a la profundidad considerada

$r_d$  = factor de reducción del esfuerzo que decrece de 1 en la superficie a 0.9 a 10 m. de profundidad

La resistencia a la penetración del suelo usada en las correlaciones es la resistencia a la penetración normalizada  $N_1$ , bajo esfuerzo efectivo vertical de 1 kg/cm<sup>2</sup>. El valor de  $N_1$  puede ser determinado por medio de la fórmula:

$$N_1 = C_n N$$

Donde:  $C_n$  = factor de corrección que puede ser evaluado del gráfico de la figura 26

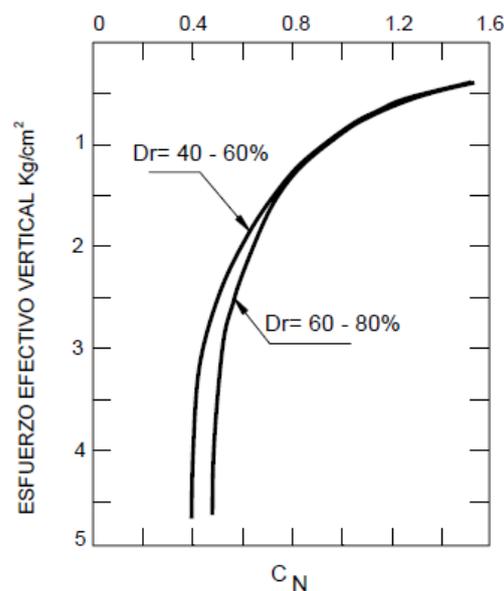


Figura 26: Gráfico de Valores CN Basados en los Estudios de Marcuson y Bieganousky (como se citó en Alva 2002).

Liao y Whitman (como se citó en Alva 2002) propusieron la siguiente relación para evaluar  $C_n$

$$C_n = \sqrt{\frac{1}{\bar{\sigma}_0}}$$

Donde:  $\bar{\sigma}_0$  en  $kg/cm^2$   $\wedge < 2$

A partir de un estudio extensivo para desarrollar las correlaciones del método simplificado, la figura 27 muestra la relación entre  $\tau_d/\bar{\sigma}_0$ , y el valor de  $N_1$ , en esta figura las correlaciones están dadas para arenas con diversos contenidos de finos y para un sismo de 7 ½ de magnitud.

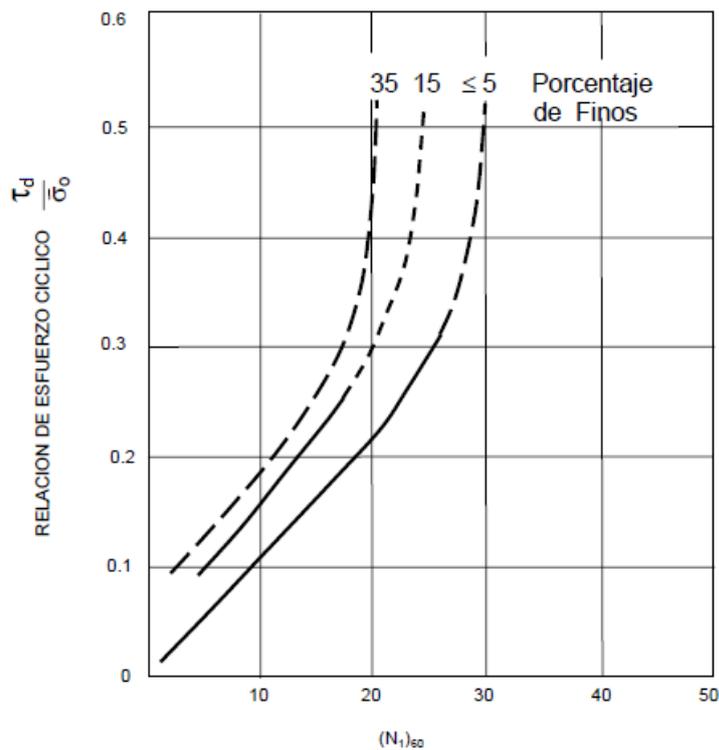


Figura 27: Gráfico de la Relación de Esfuerzo para Causar Licuación, vs Valores  $N_1$ , para Arenas Limosas para Terremotos de  $M=7 - \frac{1}{2}$

La relación mostrada puede ser fácilmente extendida a terremotos de diferentes magnitudes, multiplicando la relación de esfuerzos cíclicos

calculados por los factores de corrección  $C_n$ , el cual fue deducida a partir de estudios estadísticos basados en el número de ciclos representativos que inducen terremotos de diferente magnitud, tomando como base de comparación una magnitud de  $7 \frac{1}{2}$ , según se muestra en la Tabla 6 (Seed et al, como se citó en Alva 2002).

**Tabla 6:** *Número de ciclos representativos de terremotos de diferentes magnitudes*

Magnitud	Número de Ciclos Representativos en 0.65 máx.
$8 \frac{1}{2}$	26
$7 \frac{1}{2}$	15
$6 \frac{3}{4}$	10
6	5 - 6
$5 \frac{1}{4}$	2 - 3

ii. Método simplificado de Tokimatsu y Yoshimi

Basados en resultados de numerosos ensayos de laboratorio sobre licuación de arenas saturadas, Tokimatsu y Yoshimi (como se citó en Alva 2002), demostraron que los efectos de movimientos sísmicos que causan licuación pueden ser representados por dos parámetros: la aceleración horizontal del terreno y el número de ciclos de movimientos significativos. Dicha conclusión es incorporada en la siguiente ecuación para la relación del esfuerzo de corte dinámico para una profundidad determinada:

$$\frac{\tau_d}{\sigma_0} = \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma_0} r_d r_n$$

Donde:  $\tau_d$  = amplitud de los ciclos de esfuerzo de corte uniforme, equivalente a un registro tiempo-historia de esfuerzo de corte sísmico

$a_{max}$  = aceleración máxima en la superficie del terreno

$g$  = aceleración de la gravedad

$\sigma_0$  = esfuerzo total vertical

$\bar{\sigma}_0$  = esfuerzo efectivo vertical

$r_d$  y  $r_n$  = son factores de corrección en términos de la profundidad y la magnitud del terremoto

$r_d = 1 - 0.015 z$  (según Iwasaki et al, (como se citó en Alva 2002)

$r_n = 0.1 (M-1)$

Donde:

$z$  = profundidad en metros

$M$  = magnitud del terremoto

El factor  $r_n$  se introduce para facilitar la comparación del comportamiento de campo durante terremotos de diferentes magnitudes, en base al número de ciclos uniformes equivalentes que producen los sismos, como se indica en la Tabla 7.

**Tabla 7:** *Número de ciclos representativos de terremotos de diferentes magnitudes*

Magnitud	Número de Ciclos Representativos en 0.65 máx.
8 ½	26
7 ½	15
6 ¾	10
6	5 - 6
5 ¼	2 - 3

Los valores de la resistencia a la penetración, o valores de  $N$  corregidos para una profundidad dada, se obtienen como sigue:

$$N_a = N_1 + \Delta N_f$$

$$N_1 = C_n N$$

$$C_n = \sqrt{\frac{1}{\bar{\sigma}_0}}, \bar{\sigma}_0 \text{ en } kg/cm^2$$

Donde:

$N_a$  = valor corregido de la penetración estándar

$N_1$  = resistencia a la penetración estándar normalizada para un esfuerzo efectivo vertical de 1 Kg/cm<sup>2</sup>

$\Delta N_f$  = valor de N adicional que se incrementa proporcionalmente con el contenido de finos de la arena, Fig. 28.

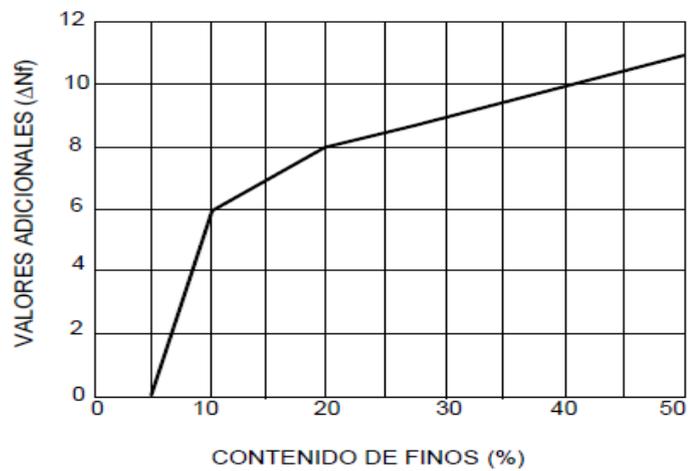


Figura 28: Relación entre valores N Adicionales y Contenido de Finos

La relación de esfuerzo de corte ( $\tau_d/\bar{\sigma}_v$ ) está dada por la figura 29. Se evalúa la relación de resistencia a la licuación en función de los valores de N corregidos y para tres niveles de deformación por corte 2%, 5% y 10%.

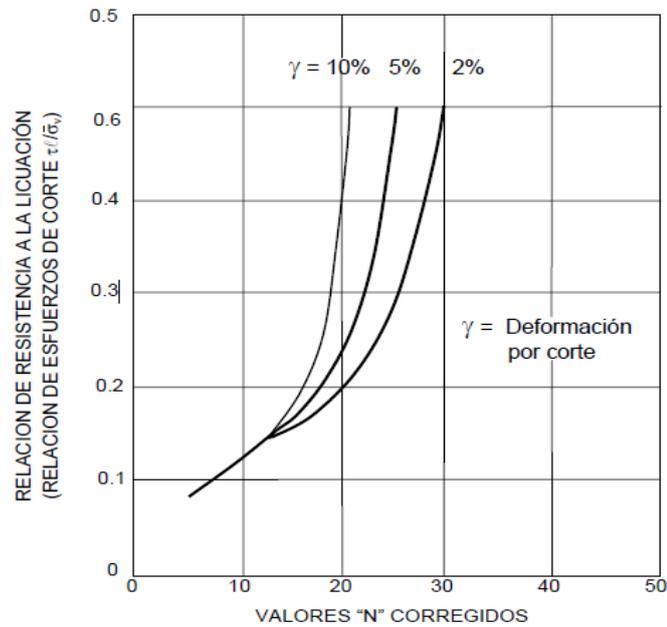


Figura 29: Gráfico de la Relación de la Resistencia a la Licuación vs Valores N Corregidos

iii. Método simplificado de Iwasaki y Tatsuoka

En base al trabajo realizado por Seed e Idriss (como se citó en Alva 2002), la carga dinámica inducida en el elemento de suelo por un movimiento sísmico puede ser estimada mediante:

$$\frac{\tau_d}{\sigma_v} = \frac{\tau_{max}}{\bar{\sigma}_v} = \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\bar{\sigma}_v} r_d$$

Donde:  $\tau_{max}$  = esfuerzo de corte máximo

$a_{max}$  = aceleración máxima en la superficie del terreno

$g$  = aceleración de la gravedad

$\sigma_v$  = esfuerzo total vertical

$\bar{\sigma}_v$  = esfuerzo efectivo vertical

$r_d$  = factor de reducción del esfuerzo de corte dinámico para tomar en cuenta la deformación elástica del terreno

Basados en un gran número de análisis de respuesta sísmica del terreno, llegaron a proponer la siguiente relación para  $r_d$ .

Donde:

$$r_d = 1 - 0.015 z$$

$z$  = profundidad en metros

Administrando numerosos ensayos triaxiales cíclicos sobre muestras de arena no disturbada, llegaron a concluir que la resistencia cíclica no drenada o relación de esfuerzos cíclicos que causará licuación en un elemento de suelo sometido a cargas dinámicas durante un terremoto puede ser evaluada mediante los siguientes parámetros:

➤ para  $0.02 \leq D_{50} \leq 0.6$  mm.

$$\frac{\tau_1}{\bar{\sigma}_v} = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\bar{\sigma}_v + 0.7}} + 0.225 \log(0.35/D_{50})$$

➤ para  $0.6 \leq D_{50} \leq 2.0$  mm.

$$\frac{\tau_1}{\bar{\sigma}_v} = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\bar{\sigma}_v + 0.7}} - 0.05$$

Donde:  $\tau_1$  = esfuerzo de corte cíclico que causará licuación

$N$  = número de golpes del SPT

$g$  = aceleración de la gravedad

$\bar{\sigma}_v$  = esfuerzo efectivo vertical

$D_{50}$  = diámetro promedio de las partículas en mm

***b) Evaluación de la resistencia a la licuación (CRR)***

(Alva 2002) todos los métodos simplificados ya descritos anteriormente, basados en las experiencias tanto de campo como de laboratorio de sus respectivos autores, llegan a proponer diversas expresiones que ayudan a evaluar, tanto la relación de esfuerzos que se requiere para causar licuación en un suelo dado, cuyas características son conocidas ( $\tau_1/\sigma_v$ ), como la relación de esfuerzos que induce un movimiento sísmico cuyas características también son conocidas ( $\tau_d/\sigma_v$ ).

Se logra definir el factor de seguridad contra la ocurrencia del fenómeno de licuación (FL), mediante la expresión:

$$FL = \frac{\left(\tau_1/\sigma_v\right)}{\left(\tau_d/\sigma_v\right)}$$

Por lo tanto:

Si  $FL > 1$  no se producirá licuación

Si  $FL \leq 1$  se producirá licuación

Youd e Idriss (2001), Las pruebas para evaluar la resistencia a la licuación más usuales son la prueba de penetración estándar (SPT), prueba de penetración de cono (CPT), mediciones de las velocidades de la onda cortante ( $V_s$ ) y la prueba de penetración Becker (BPT). Lográndose obtener resultados consistentes, independientes del tipo de prueba realizada. Ahora las pruebas SPT y CPT frecuentemente son preferidas por lo que se dispone de una base de datos extensa. Otras pruebas pueden utilizarse en los sitios con depósitos de grava y donde el acceso de equipos pesados es limitado. En la Tabla 8 se indican las ventajas y desventajas de cada prueba.

**Tabla 8:** Comparación de las ventajas y desventajas de varias pruebas de campo para verificar la resistencia por licuación

CARACTERÍSTICAS	TIPO			
	SPT	C	V	B
LAS MEDICIONES ANTERIORES EN LOS SITIOS CON LICUACIÓN	ABUNDANTE	ABUNDANTE	LIMITADO	ESCASO
EL TIPO DE COMPORTAMIENTO ESFUERZO-DEFORMACION QUE INFLUYE EN LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA	PARCIALMENTE DRENADO, GRANDES DEFORMACIONES	DRENADO, GRANDES DEFORMACIONES	DEFORMACIONES PEQUEÑAS	PARCIALMENTE DRENADO, GRANDES DEFORMACIONES
EL CONTROL DE CALIDAD Y HABILIDAD DE REPETIR LA PRUEBA CON RESULTADOS SIMILARES	POBRE A BUENO	MUY BUENO	BUENO	POBRE
DETECCIÓN DE CAMBIOS DE LOS DEPOSITOS DE SUELO	BUENO PARA LAS PRUEBAS CERCANAS	MUY BUENO	JUSTO	JUSTO
TIPOS DE SUELO DONDE SE RECOMIENDA LA PRUEBA	SUELOS SIN GRAVAS	SUELOS SIN GRAVAS	TODOS	GRAVAS PRIMORDIALMENTE
MUESTREO DE SUELO	SI	NO	NO	NO
LA PROPIEDAD INDICE QUE MIDE LA PRUEBA	INDICE	INDICE	INGENIERIA	INDICE

**c) Prueba de SPT**

Youd e Idriss (2001), La apreciación para la evaluación de la resistencia por licuación basada en SPT es confiable, ya que se lleva aplicando a largo de varios decenios.

El número de golpes normalizado  $(N_1)_{60}$  representa al esfuerzo vertical con valor de 100KPa y la energía del martillo con una eficiencia del 60%.

El criterio básico para el método simplificado de penetración se denomina como el "SPT de la curva base de arena limpia", desarrollándose las curvas para suelos granulares con el contenido de finos no mayores de 5%, 15% y

35%, las curvas con menos de 5% de finos representa el criterio básico de penetración de arenas limpias.

Observamos la representación entre el CRR calculado y el (N1)60 durante los temblores pasados con las magnitudes aproximadas de 7.5, estos criterios involucran la gráfica de la relación de CSR con (N1)60 que se indica en la figura 30.

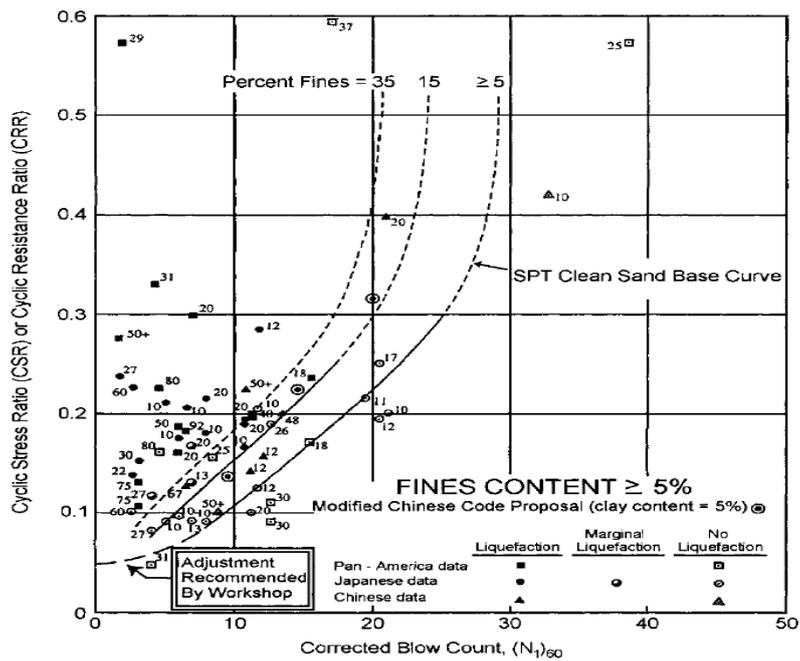


Figura 30: Curva base para arenas limpias para las magnitudes de sismos de 7.5, con los datos de casos históricos de licuación

**d) SPT de la curva base de arena limpia**

F. Rauch (como se citó en Youd e Idriss, 2001), recomienda la curva aproximada con la siguiente ecuación:

$$CRR_{75} = \frac{1}{34 - N_{160}} + \frac{N_{160}}{135} + \frac{50}{(10 - N_{160} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

Donde:  $N_{160}$  = El número de golpes de la prueba SPT a la energía del martillo de 60%.

$CRR_{75}$  = Relación de resistencia cíclica para un sismo de magnitud de 7.5.

Esta ecuación es válida para los  $N_{160} < 30$ .

Para  $N_{160} \geq 30$ , los suelos granulares limpios tienen el grado de compacidad demasiado alto para sufrir la licuación.

***e) La influencia del contenido de finos***

Seed (como se citó en Youd e Idriss, 2001), observa el incremento en la resistencia a la licuación (CRR) en función al incremento de las partículas finas.

Basados en los datos empíricos disponibles se desarrolló curvas de CRR para varios contenidos de partículas finas, por lo tanto, las correcciones basadas en la cantidad de finos deben usarse con precaución y criterio debido a que la plasticidad de suelo, todavía, no se había investigado.

Idriss y Seed (como se citó en Youd e Idriss, 2001) desarrollo ecuaciones para referirse a la curva base de arena limpia reduciendo el  $N_{160}$  a un valor equivalente de arena limpia  $(N_1)_{60CS}$ .

$FC = \text{contenido de finos}$

Para  $FC \leq 5\%$

$$\alpha = 0$$

Para  $5\% < FC < 35\%$

$$\alpha = e^{(1.76 - (\frac{190}{FC^2}))}$$

Para  $FC \geq 35\%$

$$\alpha = 5.0$$

Para  $5\% < FC < 35\%$

$$\beta = \left(0.99 + \left(\frac{FC^2}{1000}\right)\right)$$

Para  $FC \geq 35\%$

$$\beta = 1.2$$

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot N_{160}$$

*f) Otras correcciones*

Otros factores que influyen en los resultados de la SPT se indican en la tabla 9,

**Tabla 9:** Correcciones a SPT

FACTOR	VARIABLE DE EQUIPO	TERMINO	CORRECCIÓN
Presión vertical normal efectiva	N/A	$C_N$	$(P_a/\sigma_{evo})^{0.5}$
Presión vertical normal efectiva	N/A	$C_N$	$CN \leq 1.7$
Relación de energía	martillo tipo dona	$C_E$	0.5 – 1.0
Relación de energía	martillo de seguridad	$C_E$	0.7 – 1.2
Relación de energía	martillo automático tipo dona	$C_E$	0.8 – 1.3
Diámetro de la perforación	65 – 115 mm	$C_B$	1
Diámetro de la perforación	150 mm	$C_B$	1.05
Diámetro de la perforación	200 mm	$C_B$	1.15
Longitud de la barra	< 3 m	$C_R$	0.75
Longitud de la barra	3 – 4 m	$C_R$	0.80
Longitud de la barra	4 – 6 m	$C_R$	0.85

FACTOR	VARIABLE DE EQUIPO	TERMINO	CORRECCIÓN
Longitud de la barra	6 – 10 m	$C_R$	0.95
Longitud de la barra	10 – 30 m	$C_R$	1.0
Muestreo	muestreador estándar	$C_S$	1.0
Muestreo	muestreador sin ademe	$C_S$	1.1 – 1.3

Incorporándose ecuaciones de correcciones sobre el número de golpes SPT:

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S$$

Los factores de corrección son los siguientes:

$N_m$  = resistencia a penetración estándar medida en el campo

$C_N$  = factor de normalización del esfuerzo efectivo vertical de referencia de 100 kPa,

Donde:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma_{evo}}\right)^{0.5}$$

$\sigma_{evo}$  = esfuerzo normal vertical efectivo, referido a la superficie de suelo

Para  $C_N < 1.7$  (Max=2.0, valor dado National Center for Earthquake Engineering Research, NCEER, Pero Youd, Idriss 1997 lo reduce a 1.7)

$C_E$  = factor de reducción de energía de martillo (ER), que cae sobre el muestreador de la SPT. El usual ER es de 60%, resultando ( $C_E = ER/60$ )

$C_B$  = factor de corrección por el diámetro de la perforación

$C_R$  = factor de corrección por la longitud de la barra

$C_s$  = factor de corrección para los muestreadores con y sin ademe

### **1.3.3. Impacto Ambiental**

Se debe controlar y hacer estudios sobre el estudio de la napa freática, verificando que provenga únicamente de una fuente natural y no de drenajes clandestinos de los moradores, o de alguna entidad industrial de los alrededores, la cual podría contaminar el agua subterránea o incrementar el nivel de la napa freática. Además de cuidar que los canales aledaños a la zona en estudio se encuentren revestidos y los terrenos agrícolas cuenten con su respectivo drenaje.

### **1.3.4. Seguridad y Salud Ocupacional**

Para los trabajos realizados en campo se requerirá de equipo de protección personal para trabajos de ingeniería como lo dispone el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma G050, la cual indica detalladamente del equipamiento que debe contar el operario para los ensayos respectivos (casco de seguridad, ropa de trabajo, calzado de seguridad, protección de oídos, gafas de seguridad y guantes de seguridad) tanto en campo como en laboratorio, además de contar con una señalización en el área de trabajo en campo durante la realización de los ensayos.

Además de esto se debe contar con los riesgos que lleva operar equipos mecánicos como el equipo empleado para la realización del ensayo SPT, el cual cuenta con un riesgo a la integridad del personal de trabajo, por lo que se deben hacer coordinaciones antes y durante la realización del ensayo.

### **1.3.5. Gestión de Riesgos y Prevención de Desastres**

La investigación presenta que la zona de estudio puede estar expuesta principalmente al incremento de la napa freática por la llegada de las lluvias provenientes por el fenómeno del Niño el cual trae lluvias torrenciales en la zona costera, o del incremento de lluvias en la serranía, la cual crea el incremento del caudal de los canales de regadío de las zonas aledañas a la zona de estudio.

La existencia de zonas agrícolas en los alrededores de la zona de estudio, puede crear también el incremento de la napa en un nivel moderado debido a la inundación de los cajones de cultivo durante la campaña de arroz.

El problema más crítico de riesgo que se presentaría sería una sollicitación sísmica, la cual puede que genere la aparición del fenómeno de Licuefacción, debido al suelo característico de la zona de estudio.

### **1.3.6. Estimación de costos**

La estimación de costos consiste en desarrollar una estimación de los recursos monetarios necesarios para completar las actividades del proyecto, se trata de realizar una estimación de predicción basada en la información disponible en un momento dado. Incluye la identificación y consideración de diversas alternativas de cómputo de costos para iniciar y completar el proyecto.

Para lograr un costo óptimo para el proyecto, deben tomarse en cuenta las concesiones entre costos y riesgos, tales como fabricar en lugar de comprar, comprar en lugar de alquilar, y el intercambio de recursos. Por lo general, la estimación de costos se expresa en unidades monetarias (dólar, euro, yen, etc.), aunque en algunos casos pueden emplearse otras unidades de medida, como las horas o los días de trabajo del personal para facilitar las comparaciones, eliminando el efecto de las fluctuaciones de las divisas. (Capítulo 7 PMBOK Gestión de los costos del proyecto s.f., parr. 1 y 2)

### **1.3.7. Normativa**

Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma G050 “SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION”

Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma CE020  
“ESTABILIZACION DE SUELOS Y TALUDES”

Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E050 – “SUELOS Y  
CIMENTACIONES”

Norma Técnica Peruana - Método de Ensayo de Penetración Estándar - NTP  
339.133 (ASTM D586).

Norma Técnica Peruana - Practicas Normalizadas para la preservación y  
transportes de muestras de suelo - NTP 339.151 (ASTM D4220).

Norma Técnica Peruana - Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - NTP  
339.134 (ASTM D2487).

Norma Técnica Peruana - Descripción e Identificación de Suelos  
(procedimiento visual - manual) - NTP 339.150 (ASTM D2488).

Norma Técnica Peruana - Contenido de humedad - NTP 339.127 (ASTM  
D2216).

Norma Técnica Peruana - Análisis Granulométrico - NTP 339.128 (ASTM  
D422).

Norma Técnica Peruana - Límite Líquido y Límite Plástico - NTP 339.129  
(ASTM D4318).

Norma Técnica Peruana - Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y  
Agua Subterránea - NTP 339.152 (BS1377).

Norma de Instituto Geográfico Nacional – Especificaciones Técnicas para  
levantamientos geodésicos verticales – Resolución Jefatural N° 057-2016-  
IGN/UCCN

Constitución Política del Perú – Art 67° -Política Nacional del Ambiente.

Ley N.º 28611 - Ley General del Ambiente.

### **1.3.8. Estado del arte**

Para este ítem se logró recopilar dos tipos de metodologías que se están  
usando para el tratamiento del problema de la licuefacción:

#### **a. CONSTRUCCIÓN DE BLOQUE DE SUELO REFORZADO MEDIANTE USO DE MICROPILOTES**

El método para construir un bloque de suelo reforzado mediante micropilotes  
fue seleccionado considerando las restricciones del área de trabajo debido a

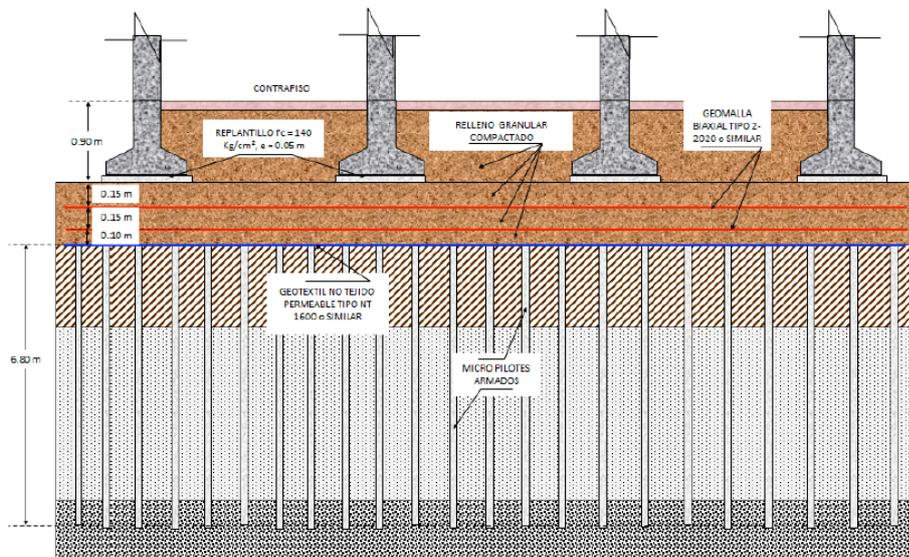
la cercanía de estructuras colindantes y el entorno urbano con edificios potencialmente inestables por los efectos del sismo.

El método consiste en generar un bloque de suelo reforzado mediante la instalación de micropilotes inyectados con lechada de cemento, Tipo MS, de seis pulgadas de diámetro, con espaciamiento a cada dos metros en ambas direcciones, y siete metros de longitud efectiva. Los pilotes son reforzados con 3Ø 5/8" y estribos de 3/8" en espiral, la armadura es colocada previamente a la inyección. La lechada de cemento tiene una resistencia de 320 Kg/cm<sup>2</sup> y es inyectada a través de una tubería metálica de una pulgada de diámetro perforada a cada 15 cm.

Sobre el nivel de construcción del micropilote se construye una capa de suelo reforzado, compuesto por dos capas de geomalla biaxial en una capa de material granular de cuarenta centímetros de espesor.

Sobre la capa de suelo reforzado se construye la cimentación compuesta por zapatas en dos direcciones, de hormigón armado, con una altura de vigas de cimentación de 90 cm. La estructura del edificio corresponde a pórticos de hormigón armado compuestos por columnas y vigas soportantes de hormigón armado. La cimentación es de tipo superficial, apoyada en un bloque de suelo reforzado por micropilotes y una capa superficial reforzada con geomalla biaxial.

El esquema del refuerzo de suelo de cimentación se muestra en la figura 31 siguiente:

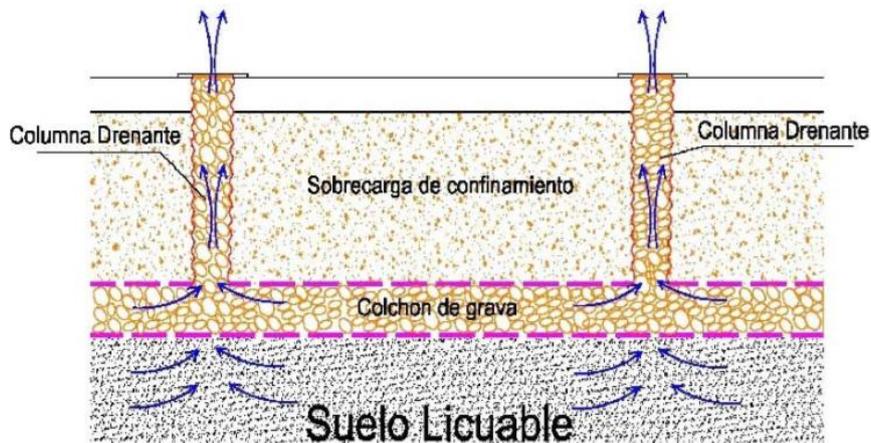


*Figura 31: Esquema constructivo del tratamiento de cimentación para construir un bloque de suelo reforzado*

#### b. USO DE COLUMNAS DE GRAVA

La mitigación de los efectos de la licuación por medio de columnas de grava que resulta un sistema práctico y fácil de ejecutar que se practicó para la recimentación de tanques que almacenan productos de peso importante. A este tratamiento combinado con el efecto de densificación parcial inducido durante su ejecución y la acción drenante de las columnas de grava, se les puede adicionar la reducción del cortante tangencial cíclico por el efecto de inclusión flexible que la columna de grava introduce en el terreno tratado. Para ello, el sistema recomendado para disipar rápidamente las presiones intersticiales originadas por el fenómeno de licuación, aplicado a tanques, depósitos metálicos pesados, y otras estructuras especiales fue la instalación de columnas de grava cortas, dado al desarrollo superficial de la licuación, y combinado con un colchón o tapete de grava instalado a la profundidad conveniente. Este sistema implica la excavación hasta el nivel del suelo licuable en cada caso y la colocación de un colchón de grava conectado al exterior por medio de columnas llenas de grava. La disposición de estos elementos drenantes se dispuso estratégicamente de acuerdo a los lugares donde era necesaria la rápida salida del agua para disipar las presiones intersticiales acumuladas en los estratos licuables. En

el caso de los rellenos se efectuó un refuerzo del suelo por medio del diseño conveniente por medio de capas de geomallas adecuadamente dispuestas (Figura 32).



*Figura 32: Sistema para disipación de las presiones para disminuir el efecto de la licuación de arenas saturadas*

### 1.3.9. Definición de términos

$\Delta N$ : el número de golpes obtenido en cada intervalo de 6 pulg. (150 mm) de la penetración del muestreador.

Arcilla: suelo que pasa la malla estándar N°200 y puede exhibir plasticidad (propiedades plásticas) dentro de un cierto rango de contenido de humedad y que tiene una considerable resistencia cuando este seco. Con propósitos de clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción de grano fino de un suelo, con un índice de plástico igual o mayor que 4, y su ubicación dentro de un gráfico de índice plástico versus límite líquido cae en cero sobre la línea A.

ARCILLA Orgánica: una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica como para influenciar las propiedades del suelo. Con propósitos de clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que podría ser clasificado como una arcilla, excepto que el valor de su límite líquido después del secado al horno es menor que el 75% del valor de su límite líquido antes del secado.

ARENA: partículas de roca que pasan la malla N°4 (4.75 mm) y son retenidas en la malla estándar N°200 con las siguientes subdivisiones:

GRUESA- pasan la malla N°4 (4.75mm) y es retenida en la malla N°10 (2mm)

MEDIA- pasan la malla N°10 (2 mm) y es retenida en la malla N°40

FINA- pasan la malla N°40 y es retenida en la malla N°200

BARRA GUIA: la parte del ensamblaje de caída de peso utilizada para guiar la caída del martillo.

BLOQUES: partículas de roca que no pasan la malla con abertura cuadrada de 12pulg. (300mm)

BOLONES: partículas de roca que pasan por una malla cuadrada de 12 pulg. (300 mm) de abertura y son retenidas en una malla estándar de 3 pulg. (75mm)

COEFICIENTE DE CURVATURA,  $C_c$ : es la relación  $(D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ , donde  $D_{60}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{10}$  son los diámetros de las partículas correspondientes al 60, 30 y 10% de suelo mas fino que el tamaño especificado en la curva de distribución acumulativa del tamaño de partículas respectivamente.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD,  $C_u$ : es la relación  $D_{60} / D_{10}$ , donde  $D_{60}$  y  $D_{10}$  son los diámetros de las partículas correspondientes al 60 y 10% de suelo más fino que el tamaño especificado en la curva de distribución acumulativa del tamaño de partículas respectivamente.

ENSAMBLAJE DE CAIDA DE PESO: un equipo consistente de martillo, barra, guía, yunque y cualquier sistema de caída de martillo.

GRAVA: partículas de roca que pasan la malla de 3 pulg. (75 mm) y son retenidas en la malla N°4 (4.75mm), y a su vez tiene las siguientes subdivisiones:

GRUESA- pasa la malla de 3 pulg. (75 mm) y es retenida en la malla de  $\frac{3}{4}$  pulg. (19mm)

FINA- pasa la malla de  $\frac{3}{4}$  pulg. (19 mm) y es retenida en la malla N°4 (4.75mm)

LIMO ORGANICO: un limo con suficiente contenido de materia orgánica como para influenciar las propiedades del suelo. Con propósitos de clasificación un limo orgánico es un suelo que podría ser clasificado como un limo, excepto que el valor de su límite líquido después de secado al horno es menor que el 75% del valor de su límite líquido antes del secado.

MALACATE: el tambor que rota un torno en el sistema de aplicación de carga alrededor del cual el operador enrolla una soga para levantar y dejar de caer el martillo por el sucesivo ajustar y aflojar las vueltas de la soga alrededor del tambor.

MARTILLO: la porción del ensamblaje de caída de peso que consiste en un peso de 140 +- 2lb (63.5 +-1Kg) el cual sucesivamente se levanta y se deja caer para proporcionar la energía que efectúa el muestreador y la penetración.

NUMERO DE VUELTAS DE SOGA: el ángulo de contacto total entre la soga y el malacate, al principio del aflojamiento del operador para dejar de caer el martillo, dividido por 360°.

SISTEMA DE CAIDA DE MARTILLO: la porción del ensamblaje de caída de peso mediante el cual el operador efectúa la caída del martillo para producir el golpe.

VALOR N: el número de golpes representativo de la resistencia a la penetración del suelo. El valor de N, representado en golpes/pie es igual a la suma del número de golpes requerido para hincar el muestreador en el intervalo de profundidad de 6 a 18 pulgadas (150 a 450 mm)

VARILLAS DE MUESTREO: las varillas que conecten el ensamblaje de caída de peso al muestreador. Generalmente se utilizan varillas de perforación para este propósito.

SPT: abreviación del Ensayo de Penetración Estándar, un término que los ingenieros utilizan frecuentemente para este método.

VARILLAS DE PERFORACION: las varillas para transmitir la fuerza hacia abajo y torque a la broca durante la perforación de un sondaje.

YUNQUE: la porción del ensamblaje de caída de peso que el martillo golpea y a través del cual la energía del martillo pasa a las barras de perforación.

#### **1.4. Formulación del Problema**

¿Cuáles son los efectos de la aplicación del ensayo de SPT en la determinación del potencial de licuefacción del suelo en la zona las Dunas de la ciudad de Lambayeque?

#### **1.5. Justificación e importancia del estudio**

La investigación a realizar se justifica por el hecho de haber identificado una zona terrestre como es la de las Dunas de la ciudad de Lambayeque donde se desconoce el potencial de licuefacción de los suelos.

Asimismo, para poder alertar a la población de la zona las Dunas en relación a la construcción de sus viviendas y situaciones preventivas para actuar en el futuro frente a fenómenos naturales que tiene relación con suelos.

La investigación tiene el aporte teórico generando nuevos conocimientos de acuerdo a los resultados de la investigación, ajustándose a las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones.

El aporte social beneficiaría a los pobladores de la zona de las Dunas alertando a través de una información científica relacionada con la licuefacción de los suelos y la construcción de viviendas y respondiendo a las expectativas sociales de la comunidad las Dunas permitiendo la atención a una necesidad.

El aporte tecnológico es imprescindible la existencia de equipos relacionados con los ensayos SPT, ensayos granulométricos, Límites de Atterberg, contenido de humedad y contenido de sales en la universidad señor de Sipán siendo factible su utilización a través de préstamo responsable considerando algunos gastos mínimos.

En lo que respecta al aporte metodológico la aplicación de los ensayos se realizará a través de procedimientos específicos de tal forma que pueda ser utilizados por otros investigadores interesados por a licuefacción de suelos en zonas semejantes.

En el aporte ambiental es imprescindible este ensayo debido a que se puede prever desastres ya sea el colapso de las viviendas las cuales generaran un enorme contaminante al medio ambiente y ayudando a la población a construir sus viviendas en zonas seguras y de manera ordenada dejando áreas verdes para ser una ciudad saludable.

En el aporte práctico el proyecto de investigación permitirá la aplicación de la investigación en una realidad concreta como es la zona de las Dunas, llevándose a cabo en forma práctica en el mismo lugar de los hechos como es la zona las Dunas de Lambayeque llegando a resolver el problema planteado relacionado con la determinación del potencial de licuefacción de suelos.

### **1.6. Hipótesis.**

La aplicación del ensayo SPT produce efectos óptimos en la determinación del potencial de licuefacción del suelo en la zona Las Dunas de la ciudad de Lambayeque.

### **1.7. Objetivos**

#### **Objetivo General**

Demostrar los efectos que produce la aplicación del ensayo SPT en la determinación del potencial de licuefacción de suelos en la zona las Dunas de la ciudad de Lambayeque.

#### **Objetivo Específicos**

- ✓ Realizar el levantamiento topográfico del terreno obteniendo cotas reales del terreno.
- ✓ Determinar las características hidrométricas del perfil estratigráfico.
- ✓ Identificar las características geotécnicas del perfil estratigráfico de la zona en estudio con el ensayo SPT.
- ✓ Diseñar un mapeo de las capacidades portantes de la zona en estudio utilizando los datos del ensayo SPT.
- ✓ Determinar el potencial de licuefacción de los suelos en la zona las Dunas de la ciudad de Lambayeque.
- ✓ Estimar los costos para la implementación del proyecto.

## **CAPÍTULO II**

### **MÉTODO**

## CAPÍTULO II: MÉTODO

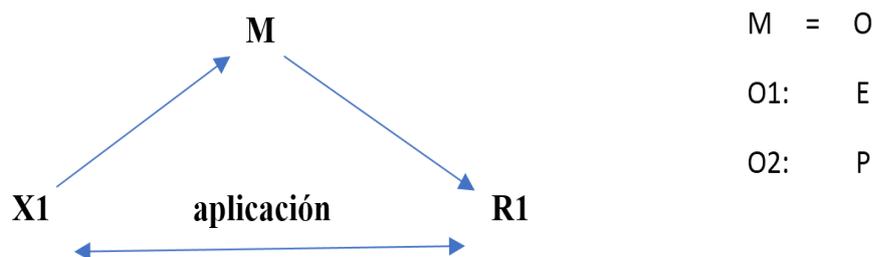
### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

#### 2.1.1. Tipo de Investigación

La investigación que se realizó es de tipo aplicada, toda vez que se llegará aplicar el ensayo de SPT para determinar el potencial de licuefacción de suelos en la zona las Dunas – Lambayeque, concordante con (Hernández et al.2010).

#### 2.1.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación responde a un trabajo experimental del tipo cuasi-experimental, en el cual se observa, analiza y compara los resultados obtenidos para determinar un resultado para esta investigación.



*Figura 33: Esquema del diseño de investigación*

De donde:

M : Es la muestra de estudio conformada por la zona de Las Dunas

X1 : Ensayos SPT (Penetración Estándar) y Límites de Atterberg aplicados al suelo de la zona Las Dunas

R1 : Resultado expresado como Potencial de licuefacción

## **2.2.Población y muestra**

### **2.2.1.Población**

La población que se tomó en cuenta para el desarrollo de tesis está dada por la zona de las Dunas de la ciudad de Lambayeque, ubicada en el lado Suroeste de la ciudad, a unos 1.5 km de distancia al centro de la ciudad (Plaza Principal), ésta es una zona urbana-marginal cuyas construcciones son tanto de material rústico como de material noble, dichas construcciones no obedecen a un plano director de infraestructura(Catastro de la ciudad), debido a que sus calles en promedio son sumamente estrechas (aproximado 3m).

### **2.2.2. Muestra**

Se tomó como referencia el suelo de dicha zona a la vez que se va a realizaron observaciones in situ y ensayos de los cuales son mínimo de 3 ensayos por hectárea como lo indica el Reglamento Nacional de Edificaciones E050 en su artículo 2.3.2, que indica que deben realizarse 3 investigaciones por cada hectárea.

También se tomó en cuenta el Mapa de Peligros de la ciudad de Lambayeque (Suelos Licuables) del estudio que realizo INDECI (2003). (Anexo 02)

La zona de estudio abarca un área de 9.42 hectáreas (Anexo 1), correspondiendo a la Norma se deberían tomar un total de 28 muestras por el ensayo de SPT, y tomando en cuenta la información recabada del Mapa de Peligros por suelos licuables y las limitaciones existentes por la mala zonificación y alguna pavimentación existente, se seleccionan 10 puntos de exploración. (Anexo 03).

## **2.3.Variables, Operacionalización**

### **2.3.1. Variables**

#### **Variable 1: Suelo**

El suelo es una capa delgada sobre la corteza terrestre que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas presentan características diferentes si la alteración es física o química. Y así, cuando el efecto alterativo de las rocas se lleva a cabo por un medio físico se produce un suelo con la misma composición de ellas (Villalaz,2004 p.18).

### **Variable 2: Ensayo SPT**

El ensayo SPT se define como:

SPT: Es un ensayo que mide la resistencia a la penetración de un toma muestras de características determinadas colocado en el fondo del taladro y golpeado con una maza definida (López y Lomoschitz 2013 p. 433).

Gonzales, Ferrer, Ortuño y Oteo (2004) describen al SPT como un ensayo que nos permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible como los asientos en los suelos granulares.

### **Variable 3: Potencial de licuefacción**

Potencial: Es lo que tiene la posibilidad de llegar a ser (DeConceptos.com s.f., parr 1)

Licuefacción de Suelos: La Licuefacción de Suelos es un fenómeno en el cual los terrenos a causa de saturación de agua y particularmente en sedimentos recientes como arena y grava, pierden su firmeza y fluyen como resultado de los esfuerzos provocados en ellos por temblores (RSN UCR –ICE 2014, parr 1).

### 2.3.2. Operacionalización

**Tabla 10:** Operacionalización

VARIABLE	DIMENSIONES		INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE: SUELO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		Porcentaje que pasa la malla N° 200	% (porcentaje)	Observación, Análisis documental	Guía de Observación y de análisis documental.	Formato y Ensayo en el laboratorio de mecánica de suelos.
	LIMITES DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO	Número de golpes para hacer ranura en dispositivo a diferentes grados de humedad	# de golpes	Observación, Análisis documental	Guía de Observación y de análisis documental.	Formato y Ensayo en el laboratorio de mecánica de suelos.
		LÍMITE PLÁSTICO	Formación de cilindros de 3 mm de diámetro	% (porcentaje)	Observación, Análisis documental	Guía de Observación y de análisis documental.	Formato y Ensayo en el laboratorio de mecánica de suelos.
	CONTENIDO DE HUMEDAD		humedad natural del suelo al extraer in situ	% (porcentaje)	Observación, Análisis documental	Guía de Observación y de análisis documental.	Formato y Ensayo en el laboratorio de mecánica de suelos.

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
	CONTENIDO DE SALES	sales solubles contenidas en el suelo	ppm	Observación, Análisis documental	Guía de Observación y de análisis documental.	Formato y Ensayo en el laboratorio de mecánica de suelos.
VARIABLE INDEPENDIENTE: ENSAYOS SPT	SPT	capacidad portante del terreno	kg/cm <sup>2</sup>	Análisis Documental	Guía de Análisis documental	Bibliografía de libros y manuales
		Ángulo de fricción	$\theta$	Análisis Documental	Guía de Análisis documental	Bibliografía de libros y manuales
		nivel freático	m	Observación	Guía de Observación y de análisis documental.	Ensayo de SPT in situ
VARIABLE DEPENDIENTE: POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN	LICUACION DEL SUELO	LICUABLE	FL<1	Análisis Documental	Guía de Análisis documental	Bibliografía de libros y manuales
		NO LICUABLE	FL>1	Análisis Documental	Guía de Análisis documental	Bibliografía de libros y manuales

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **2.4.1. Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos que fueron aplicadas en la presente investigación son las siguientes:

Análisis documental, se realizó utilizando una guía de observación de documentos. La observación, se aplicó a nivel de una ficha de registro durante la aplicación de los ensayos de campo y de laboratorio.

### **2.4.2. Instrumento de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos que fueron aplicados en la presente investigación son las siguientes:

Guía de observación, se utilizó con ayuda de formatos para la anotación de cambios de estratos de suelo durante la aplicación del ensayo en campo SPT, así como también para los ensayos de laboratorio aplicados. A continuación, se muestran los formatos usados durante el trabajo de investigación:

- a) Formato para ensayo SPT (Ver Anexo 4)
- b) Formato de Contenido de humedad (Ver Anexo 5)
- c) Formato de Granulometría (Ver Anexo 6)
- d) Formato de Limite Liquido y Plástico (Ver Anexo)

Guía de análisis documental, que se utilizó como guía de documentos para la correcta aplicación de los ensayos, así como también el uso de las normativas las que establecen datos y especificaciones para la investigación

La validez y la confiabilidad de los instrumentos de investigación se lograrán con el juicio de expertos la guía de observación y la ficha de registro.

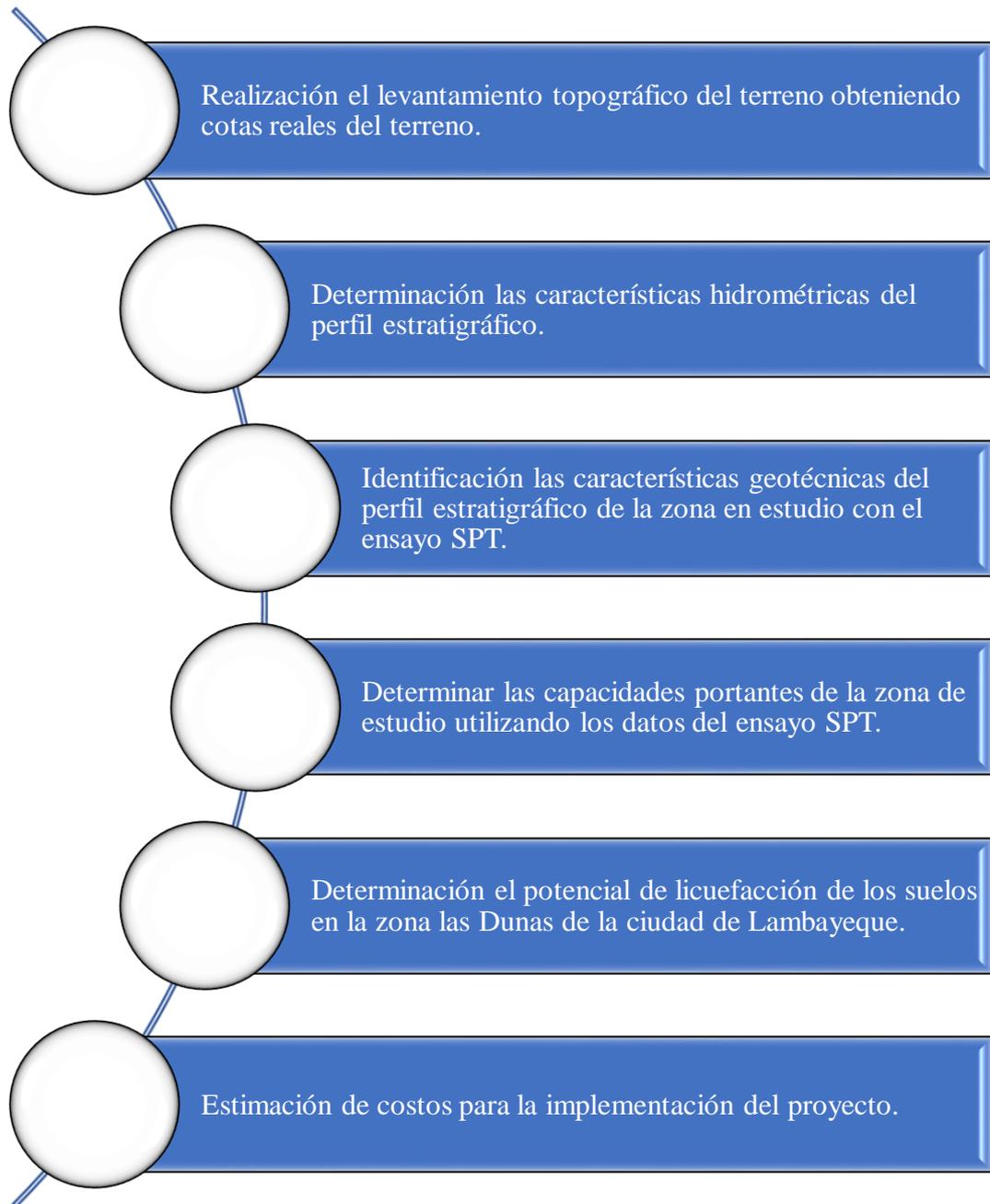
A continuación, se muestra la tabla con una lista de normativas que se aplicaron para el proyecto de investigación:

**Tabla 11: Normativa usada**

<b>NORMATIVA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>APLICACIÓN</b>
RNE - G050	REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES - NORMA DE SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	Especifica el equipo de protección personal que cada operador debe contar para hacer los trabajos de campo con la seguridad requerida para la elaboración de los ensayos
RNE - CE020	REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES - NORMA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TALUDES	Especifica en ella tipo de suelos que podemos encontrar en campo, así como también la forma de poder estabilizar los diferentes tipos de suelos según sus características.
RNE - E050	REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES - NORMA DE SUELOS Y CIMENTACIONES	Especifica el uso y aplicación de los diferentes ensayos que fueron aplicados durante el trabajo, además nos indica los parámetros requeridos para cada ensayo para su respectiva clasificación
NTP 339.133	NORMA TÉCNICA PERUANA - MÉTODO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR SPT	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.
NTP 339.151	NORMA TÉCNICA PERUANA - PRÁCTICAS NORMALIZADAS PARA LA PRESERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.
NTP 339.134	NORMA TÉCNICA PERUANA - CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.
NTP 339.150	NORMA TÉCNICA PERUANA - DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL - MANUAL)	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.
NTP 339.127	NORMA TÉCNICA PERUANA - CONTENIDO DE HUMEDAD	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.
NTP 339.128	NORMA TÉCNICA PERUANA - ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.
NTP 339.129	NORMA TÉCNICA PERUANA - LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.
NTP 339.152	NORMA TÉCNICA PERUANA - CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.
N° 057-2016-IGN/UCCN (INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL)	NORMA DE INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS VERTICALES	Especifica los procedimientos necesarios para realizar el ensayo.

## 2.5. Procedimiento de análisis de datos

### 2.5.1. Diagrama de flujo de procesos



*Figura 34: Diagrama de flujo*

## 2.5.2. Descripción de procesos

### A. Realización el levantamiento topográfico del terreno obteniendo cotas reales del terreno.

Brindó la obtención de los niveles y cotas de terreno para diseño y generación de los planos para el proyecto, los cuales deberán ser diseñados mediante la base de planos topográficos veraces y fidedignos del área de Estudio. Asimismo, identificamos y verificamos algunas estaciones y puntos de apoyo del proyecto suficiente para desarrollar trabajos de verificación y ubicación en coordenadas UTM de las estructuras existentes, como son: veredas existentes, cajas, buzones, etc., y usarlas como referencia para los trabajos proyectados.

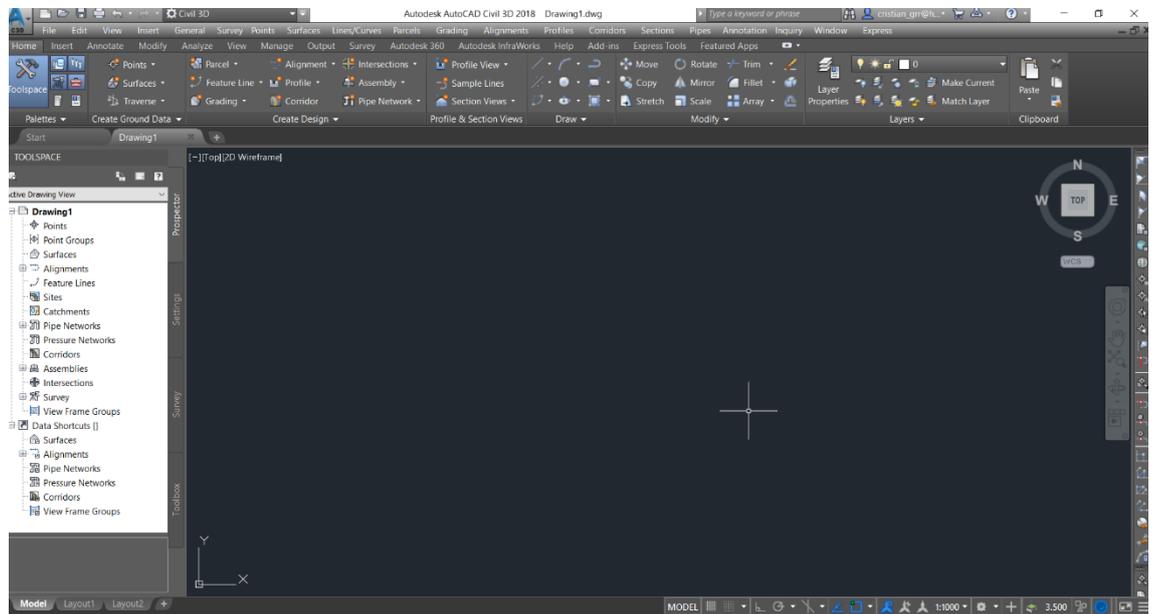
Previo a la ejecución de los trabajos topográficos, se realizó un reconocimiento general de toda la zona a ser intervenida y se ubicaron los puntos del control y puntos auxiliares del proyecto ya que las habilitaciones urbanas del presente Estudio forman parte de dicho esquema.

Los trabajos de Topografía, fueron realizados en base de una poligonal principal abierta a partir de los controles plano-altimétricos previamente establecidos.

El estudio topográfico se realizó tomando los puntos necesarios de tal manera de obtener la forma del terreno y además detalles de ubicación de elementos en pie forzados

Para la generación de planos, una vez concluidos los cálculos de las poligonales y teniendo los puntos de relleno topográfico, esto es, definidas sus respectivas coordenadas Norte y Este y su elevación, se procedió de manera automatizada, mediante el empleo de programas especiales de topografía (AutoCAD Civil). Para la elaboración de los planos, se procedió primeramente a crear una Malla Irregular de Triangulación (TIM: Triangulated, Irregular Net Work); seguidamente se realizó la interpolación de las curvas de nivel, generándose la elaboración de los planos con sus respectivas curvas topográficas.

Se utilizó el programa AutoCAD Civil 2018 para el análisis y proceso para generar las curvas de nivel del terreno en estudio.



*Figura 35: Programa AutoCAD Civil 3D para crear Curvas de Nivel*

Los datos del levantamiento realizados fueron exportados en un block de notas, el cual se ingresó al programa para poder generar el plano de la zona a estudiar y sus elevaciones.

PUNTOS: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

```

1, 619679, 9258471, 21, PER
2, 619679, 9258462, 21, CAS1
3, 619682, 9258429, 21, CAS1
4, 619683, 9258392, 21, CAS1
5, 619641, 9258390, 21, CAS1
6, 619639, 9258423, 23, CAS1
7, 619639, 9258460, 23, CAS1
8, 619630, 9258461, 23, HUAC
9, 619570, 9258454, 24, HUAC
10, 619632, 9258423, 23, HUAC
11, 619619, 9258434, 23, HUAC
12, 619603, 9258432, 23, HUAC
13, 619603, 9258432, 24, HUAC
14, 619584, 9258430, 24, HUAC
15, 619633, 9258390, 23, HUAC
16, 619621, 9258394, 23, HUAC
17, 619606, 9258393, 24, HUAC
18, 619588, 9258389, 24, HUAC
19, 619634, 9258374, 23, HUAC
20, 619623, 9258364, 23, HUAC
21, 619607, 9258362, 24, HUAC
22, 619588, 9258359, 24, HUAC
23, 619574.72, 9258369.15, 24, HUAC
24, 619578, 9258345, 24, HUAC
25, 619630, 9258347, 22, HUAC
26, 619608, 9258344, 23, HUAC
27, 619580, 9258339, 24, HUAC
28, 619582, 9258333, 24, MZ-1
29, 619606, 9258335, 23, MZ-1

```

*Figura 36: Puntos del levantamiento extraídos de la Estación Total*

Fueron importados los datos al programa

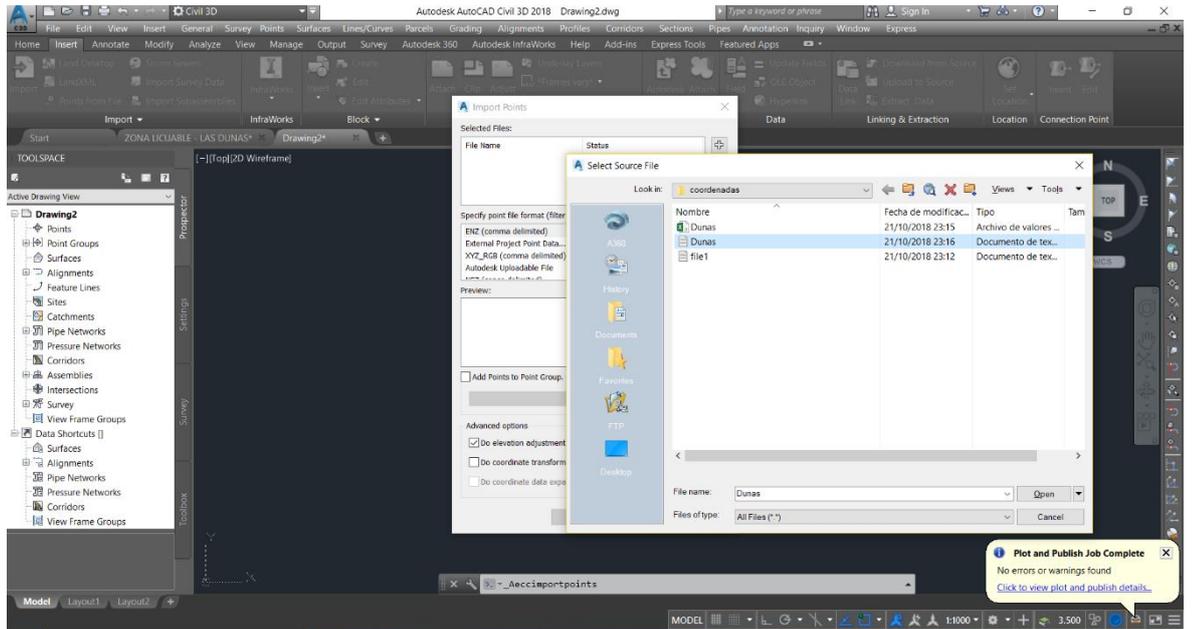


Figura 37: Importado de datos al AutoCAD Civil 3D

Se seleccionó adecuadamente las coordenadas para su creación correcta en el plano

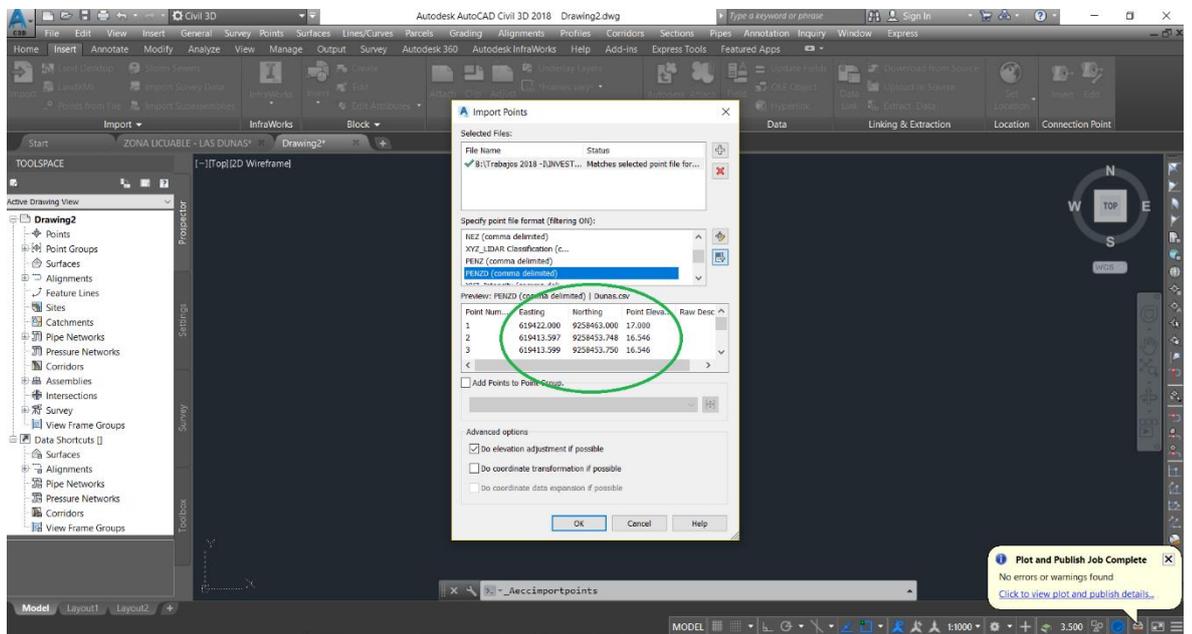
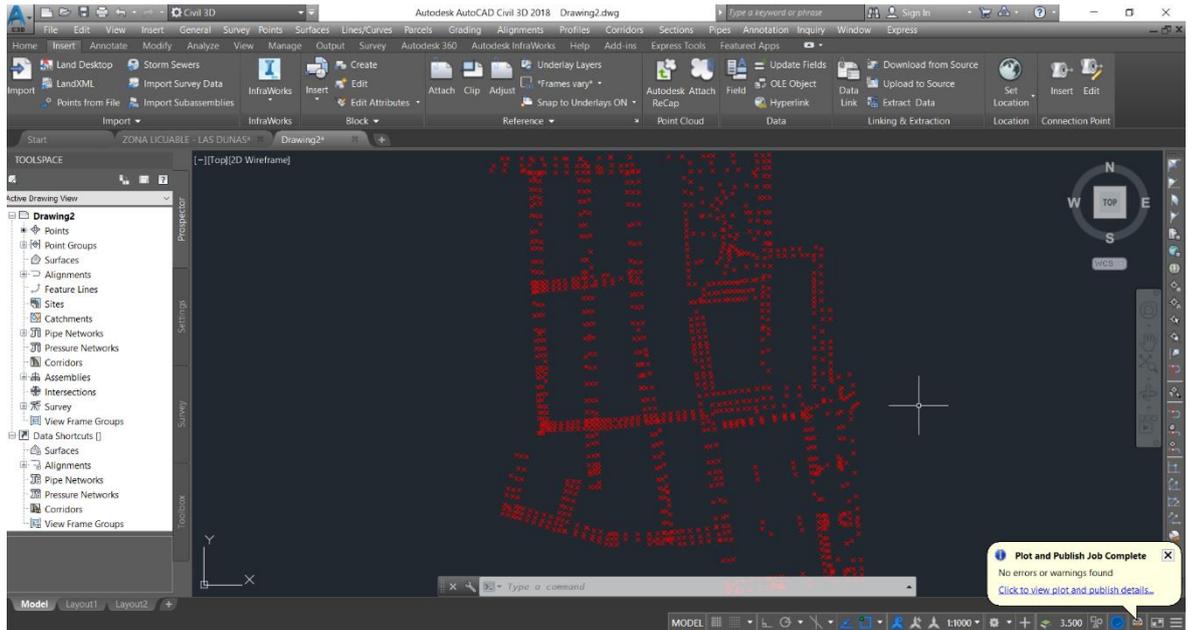
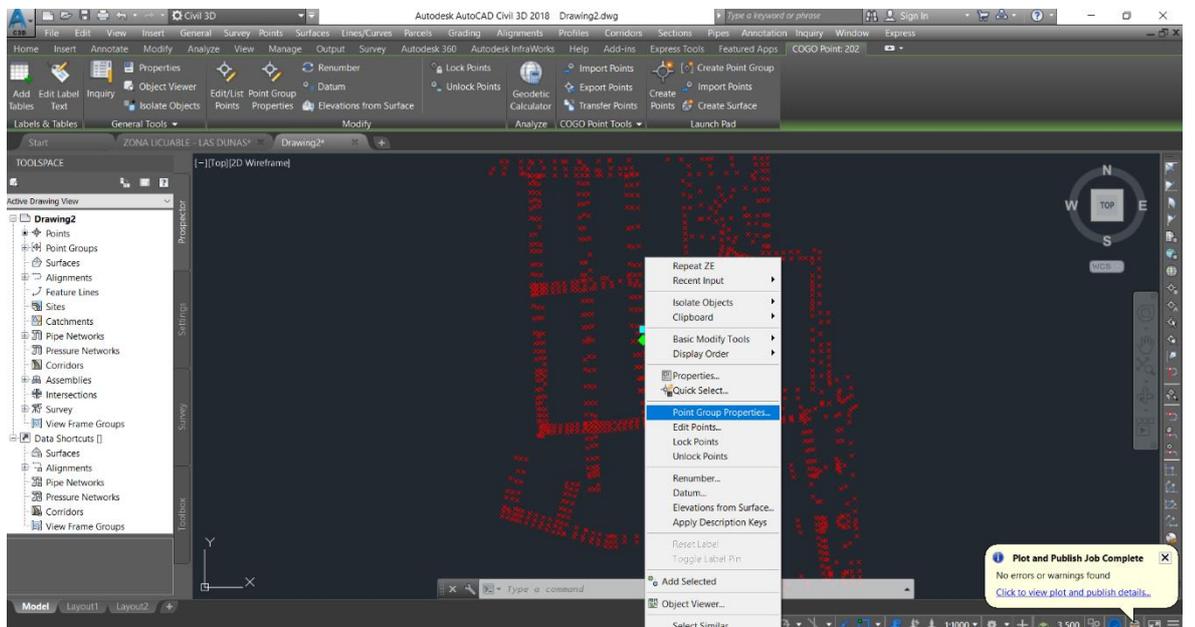


Figura 38: Selección de orden de coordenadas en AutoCAD Civil 3D



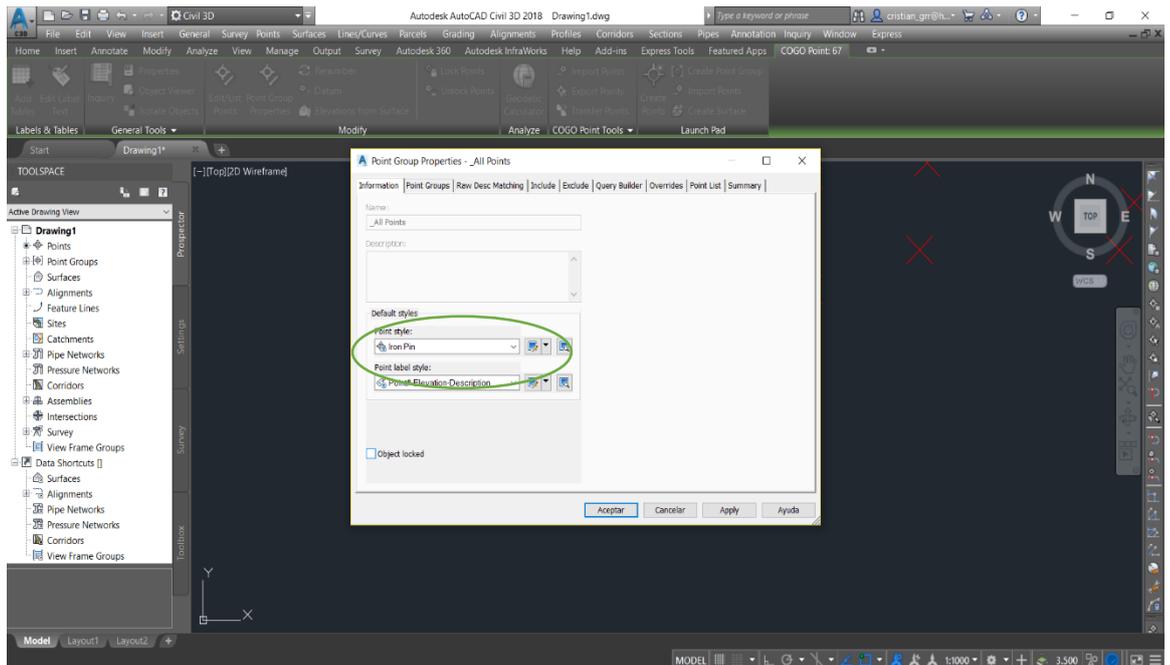
*Figura 39: Puntos importados en AutoCAD Civil 3D*

Fueron obtenidos los puntos del levantamiento realizado en programa exportados, se procedió a darle formato para que se puedan apreciar mejor y a la vez darle la escala adecuada para su apreciación.

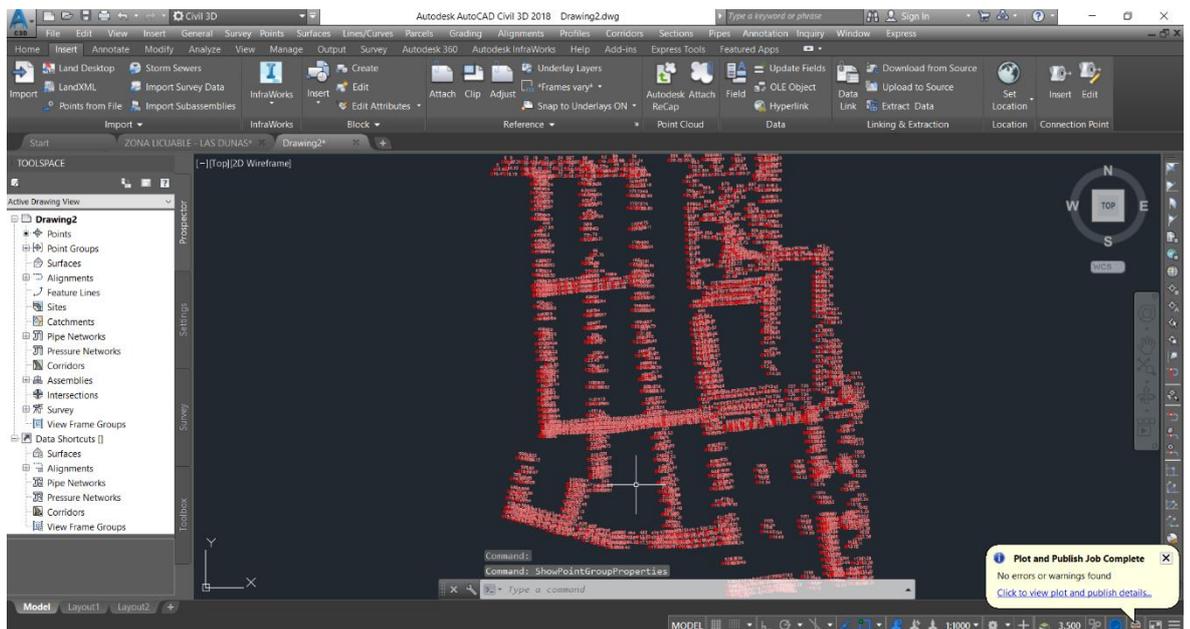


*Figura 40: Brindando formato y escala a los puntos del levantamiento*

Fueron seleccionadas las propiedades más adecuadas para poder mostrar los puntos del levantamiento



*Figura 41: Brindando propiedades al dibujo*



*Figura 42: Puntos con sus respectivas etiquetas de ubicación*

Se seleccionó la escala adecuada para su mejor apreciación, debido que se apreciaban sobre montado los puntos

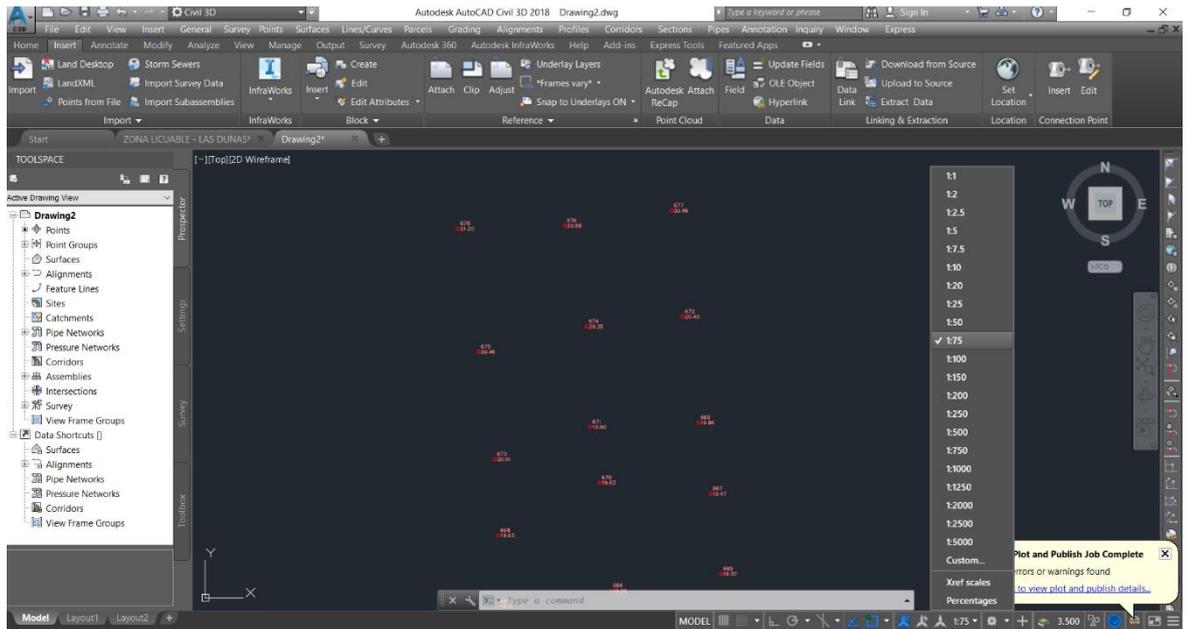


Figura 43: Escalado del dibujo

Luego se generaron las curvas de nivel, creando una superficie en el programa

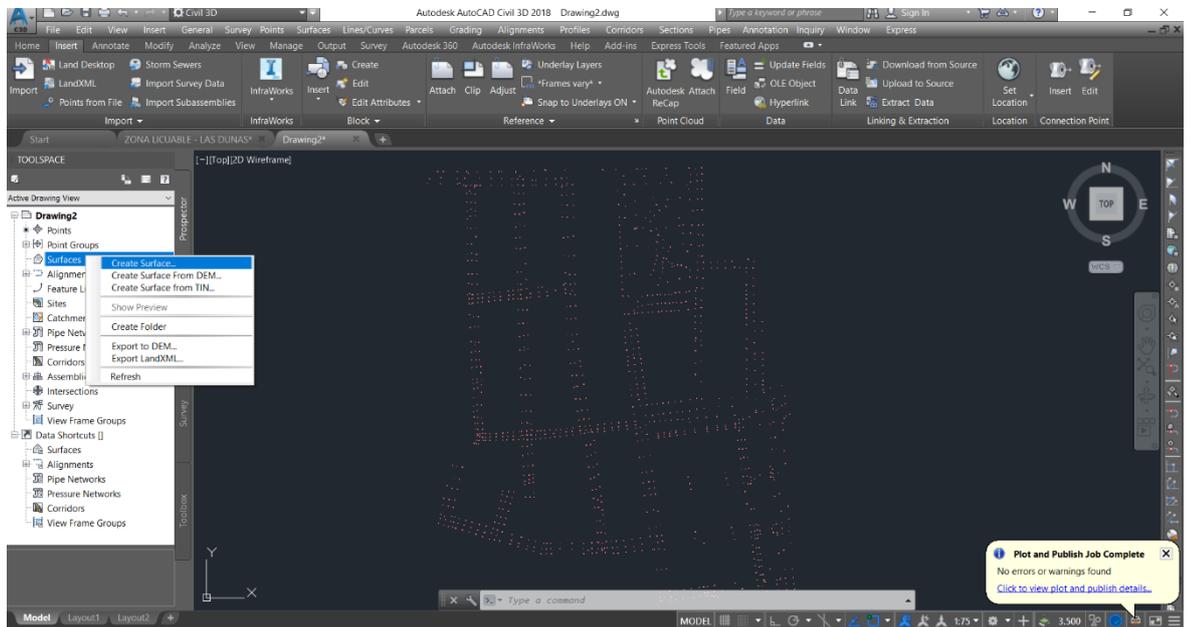


Figura 44: Proceso de creación de Curvas de Nivel

Se eligieron los intervalos entre curvas de nivel en el programa.

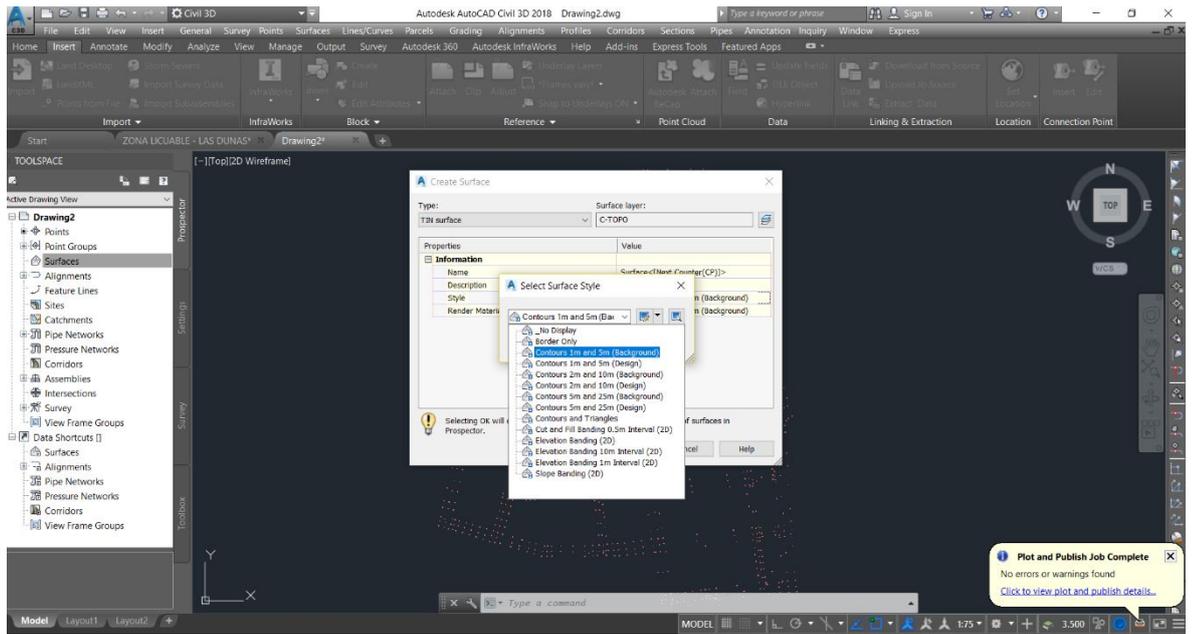


Figura 45: Editado de las Curvas de Nivel

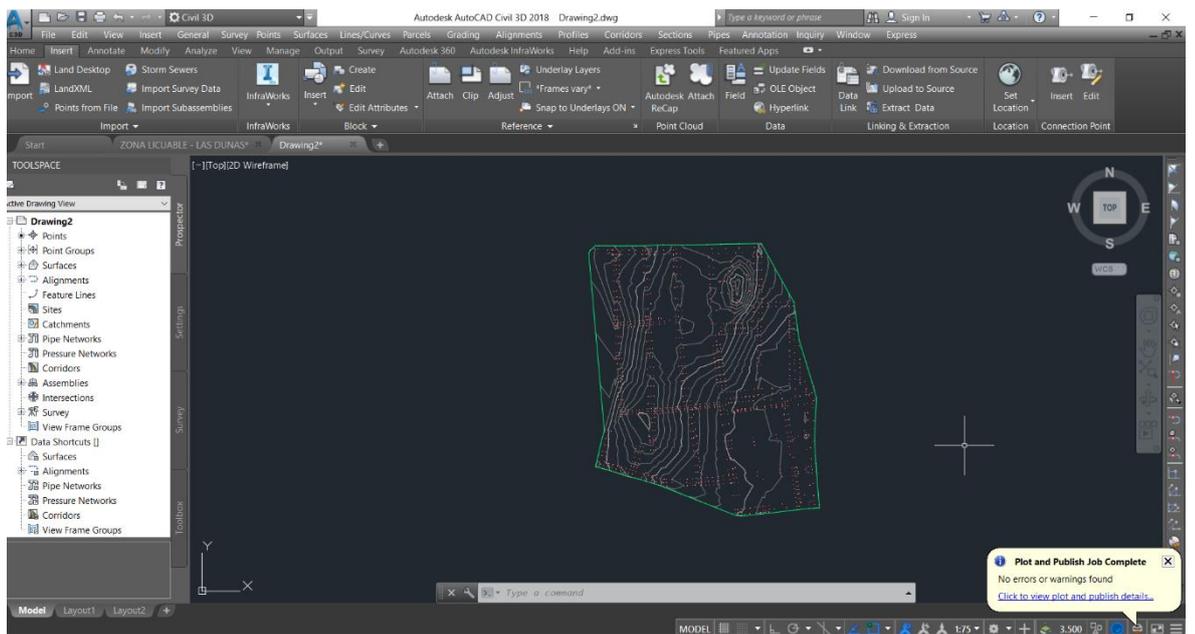


Figura 46: Curvas de Nivel

Para una mejor apreciación de las curvas de nivel, se bajó el número en los intervalos de 0.5 – 2 m

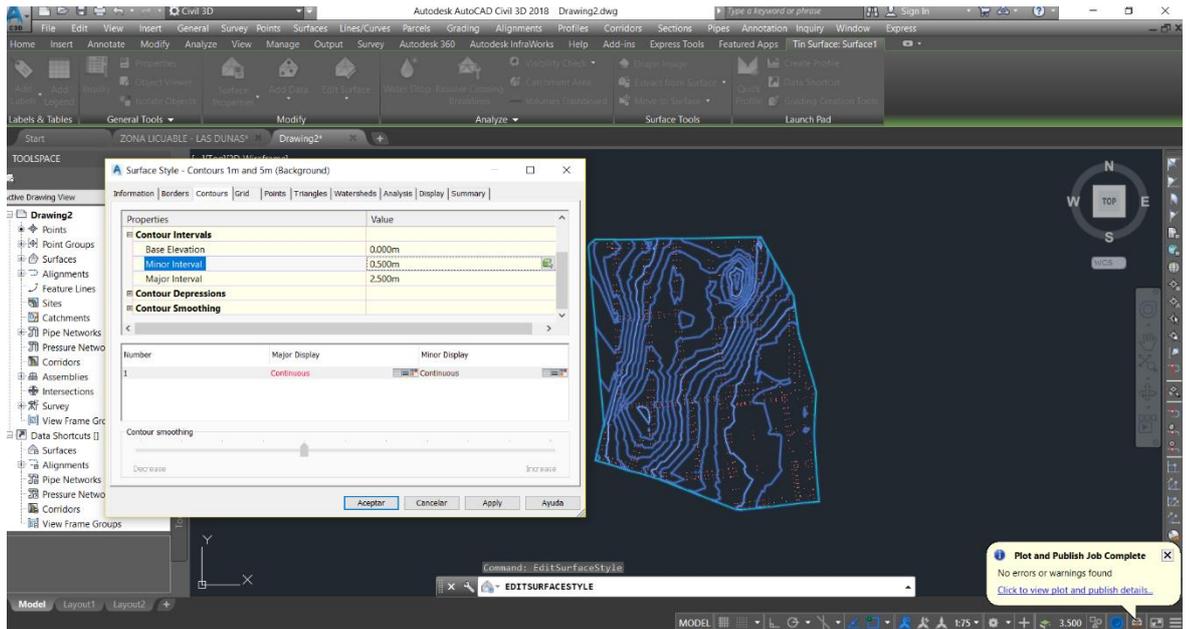


Figura 47: Selección de separación entre curvas de nivel

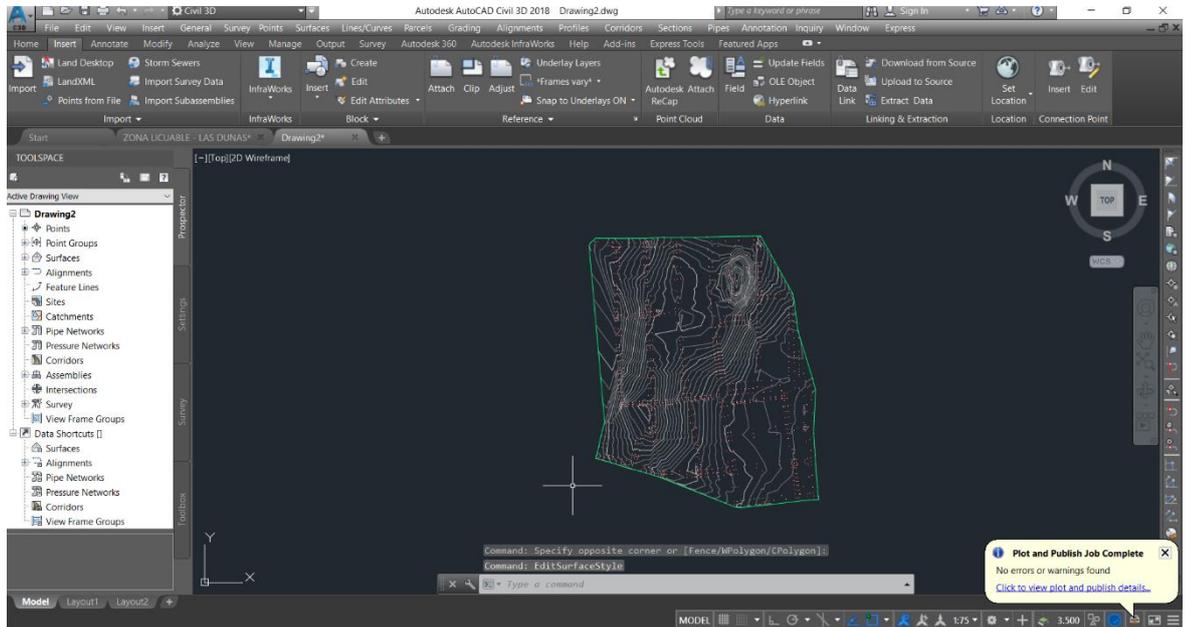
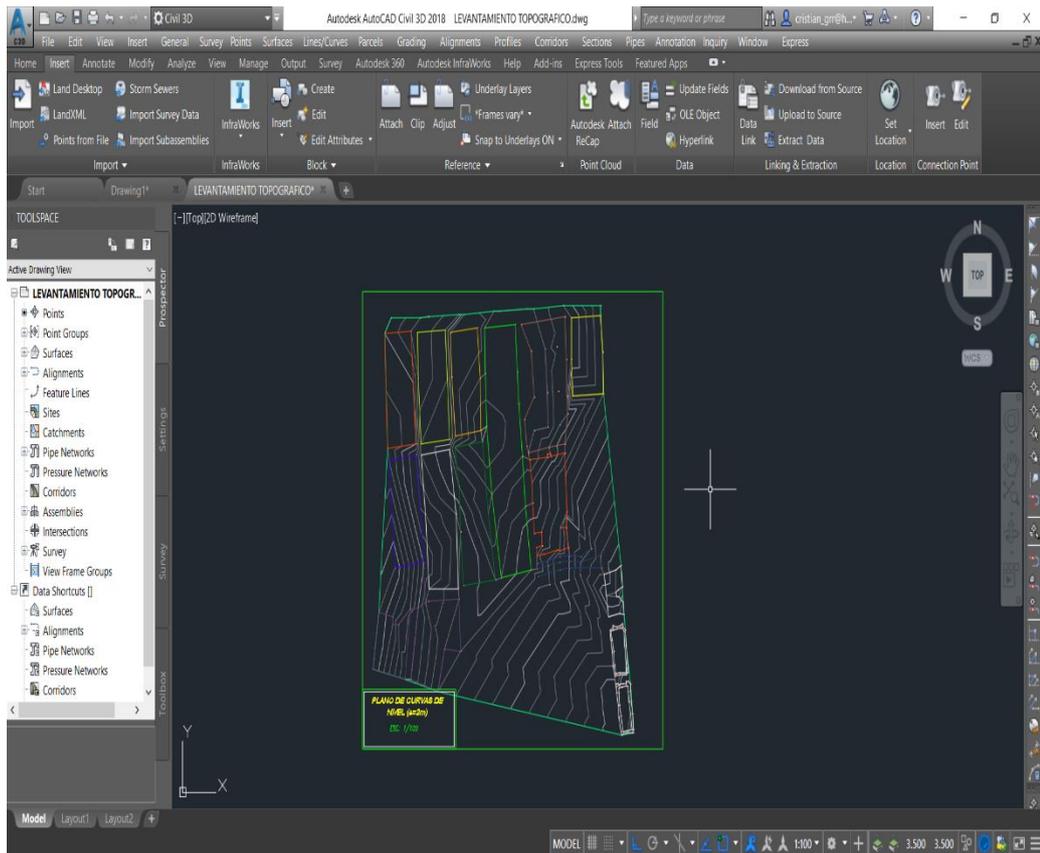


Figura 48: Vista previa de las curvas de nivel

Se unieron los puntos para apreciar mejor el detalle de la zona de estudio con el comando polilínea

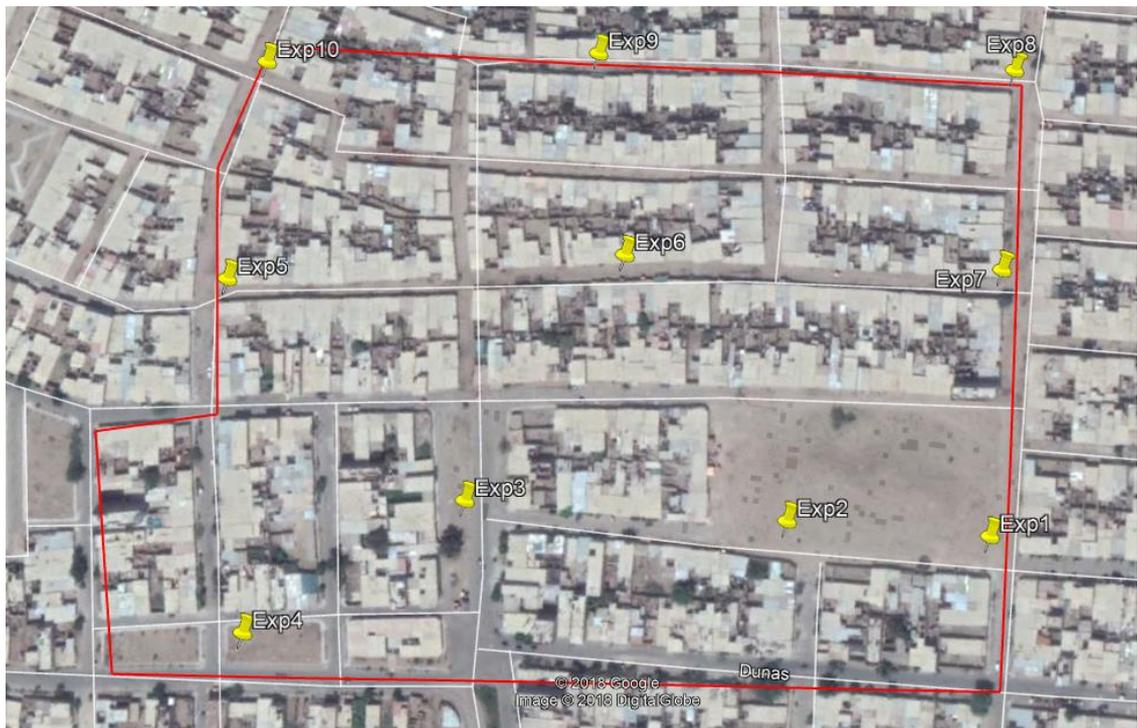


*Figura 49: Uso del comando polilínea para ubicación de manzanas*

## B. Determinación las características hidrométricas del perfil estratigráfico.

### B.1. Reconocimiento y exploración del lugar a realizar el estudio de licuefacción

En esta fase se obtuvo información preliminar de las características del suelo, por medio de un examen minucioso de observación in situ y en los alrededores de la zona de Las Dunas de la ciudad de Lambayeque, la cual está ubicada en el lado Suroeste de la ciudad, a unos 1.5 km de distancia al centro de la ciudad (Plaza Principal), ésta zona urbana-marginal está constituida por construcciones tanto de material rústico como de material noble, determinando que la zona se identifica como dunas o depósitos de arenas y al ser todo el terreno un suelo arenoso con napa freática elevada siendo esto verificado por medio de la exploración del terreno con posteadora obtuvimos la profundidad, el espesor, la composición de cada estrato del suelo y la profundidad del agua subterránea. Se realizaron 10 puntos exploratorios, de los cuales se obtuvo una primera visión del perfil estratigráfico a interpretación propia.



*Figura 50: Ubicación de puntos de exploración*

A la zona de estudio se llevó el equipo “posteadora”, para realizar el sondeo de exploración; en la figura, se muestra las partes de la posteadora, como también de otros elementos de campo indispensables para la realización de la investigación.



*Figura 51: Herramientas utilizadas durante la exploración*

La operación de la posteadora se realizó haciendo girar en sentido horario para así generar una excavación vertical en el terreno.



*Figura 52: Proceso de exploración con posteadora*

El proceso de la posteadora extrajo porciones del terreno contenidos en la parte inferior del equipo, conocido como cuchara, este proceso fue repetitivo.



*Figura 53: Extracción de muestras con posteadora*

Este proceso permitió hacer un reconocimiento visual preliminar de las capas contenidas en esa zona, identificándolas y registrándolas.



*Figura 54: Reconocimiento visual del suelo extraído*



*Figura 55: Suelo extraído para el análisis visual*



*Figura 56: Medición de la profundidad del pozo de exploración*

## B.2. Realización del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Después del reconocimiento de la zona en estudio, se ubicó los puntos a donde se realizó el ensayo de Penetración Estándar (SPT), en la figura siguiente se muestra los puntos donde se realizó el ensayo.



*Figura 57: Ubicación de los puntos a realizar el ensayo SPT*

Para la aplicación del ensayo, se procedió a solicitar el equipo SPT, al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Señor de Sipán, quien está a cargo del técnico Wilson Olaya Aguilar, a continuación, se muestra una imagen del formato de salida por préstamo del equipo.


**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**

ACTA DE SALIDAD DE BIENES  
 AREA : LABORATORIO DE SUELOS  
 PERSONA RESPONSABLE: WILSON OLAYA AGUILAR  
 FECHA DE SALIDA: 11/08/2018

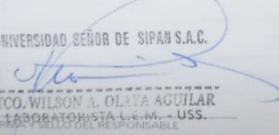
DNI: 41437114  
 FECHA DE ENTRADA: 13-08-2018

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL BIEN	MODELO	SERIE	DESTINO
1	01	Equipo SPT			Lambayeque

Curso: Desarrollo de Tesis

NOTA: Los bienes que salen de la universidad están declarados bajo responsabilidad de la persona que solicita. Ante un robo, pérdida o desperfecto será responsabilidad del solicitante.

CONTROL DE PUERTA	
FECHA - HORA/SALIDA	FECHA - HORA/INGRESO


**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.**  
  
**TCO. WILSON A. OLAYA AGUILAR**  
 LABORATORISTA L.C.M. - USS.  
 FIRMA Y SELLO DEL RESPONSABLE

  
**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**  
 OFICINA DE CONTROL PATRIMONIAL  
 V° B° CONTROL PATRIMONIAL  
 CHILLA

*Figura 58: Hoja del permiso de salida del equipo SPT*

El equipo fue transportado a la zona de estudio donde para su montaje, se hizo inicialmente una medición previa de la ubicación de los pies del trípode que lo compone.



*Figura 59: Medición para ensamblaje del equipo SPT*

Después que se determinó la posición necesaria, se procedió a hacer una pequeña excavación para el reposo en ellos de las bases del trípode.



*Figura 60: Excavación para trípode*

Para la unión de los tubos del trípode, se colocó el perno de anclaje en la parte superior del trípode.



*Figura 61: Inserción del perno de anclaje*

Seguidamente fue colocada la polea de 2 Toneladas en la parte superior del trípode, la cual consta de una soga para permitir la ejecución del trabajo.



*Figura 62: Ubicación de la polea*

Cuando se tuvo las partes necesarias colocadas en el trípode, se procedió a levantar el mismo para que quede ensamblado para realizar el ensayo.



*Figura 63: Ensamblaje del trípode*

Seguido a esto se realizó el ensamblaje de los tubos y la pesa para la realización del ensayo propiamente dicho. El ensayo consistió en contar el número de golpes conseguidos para hacer penetrar 3 segmentos de 15 cm cada uno, la cuchara del SPT y registrando los golpes necesarios para lograrlo. Esto se realizó a diferentes niveles.



*Figura 64: Ensayo SPT*

Cada vez que se realizó el ensayo de penetración, se extrajo la cuchara del equipo para el análisis de la muestra que ella contuvo.



*Figura 65: Tomamuestras del SPT*

De cada estrato que se obtuvo durante el ensayo, se tomó una muestra representativa de cada uno, para que fuera analizada en laboratorio, guardándolas en bolsas herméticas.



*Figura 66: Muestras obtenidas y guardadas en bolsas herméticas.*

A partir de este ensayo, se puede calcular la Resistencia a la Penetración y asimismo la presión admisible.

Resistencia a la penetración:

$$R_p = N * 4$$

Presión admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{N}{10}$$

En nuestra practica el valor de la resistencia a la compresión simple  $q_u$  es:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sum N}{10} \frac{Kg}{cm^2}$$

Además, se procedió a calcular las tensiones totales y efectivas

Tensión total:

$$\sigma = \gamma * Z$$

Donde:

$\sigma$ = Tension total vertical (Ton/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  = Peso Específico del Estrato (Ton/m<sup>3</sup>)

Z= Profundidad de análisis (m)

Tensión intersticial:

$$\mu = \gamma_w * (Z - NF)$$

Donde:

$\mu$ = Tensión intersticial (Ton/m<sup>2</sup>)

$\gamma_w$  = Peso Específico del agua (Ton/m<sup>3</sup>)

Z= Profundidad de análisis (m)

NF= Profundidad del nivel freático (m)

Tensión Efectiva:

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

Donde:

$\sigma'$  = Tensión efectiva (Ton/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tensión vertical total (Ton/m<sup>2</sup>)

$\mu$  = Tensión intersticial (Ton/m<sup>2</sup>)

Se calculo además la Relación de Tensiones Cíclicas (CSR)

Seed e Idriss (Seed & Idriss 1971 y 1982) propusieron la siguiente expresión:

$$CSR_{7.5} = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 * \frac{a_{max}}{g} * \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} * r_d$$

Donde:

$\tau_{av}$  = tensión de corte promedio

$a_{max}$  = aceleración máxima horizontal en el terreno generado por el sismo.

$g$  = aceleración de la gravedad

$\sigma_{v0}$ ,  $\sigma'_{v0}$  = tensiones totales y efectivas

$r_d$  = coeficiente de reducción de tensiones.

\*\*Respecto a estar en una zona de alta sismicidad y según el RNE E-030 pertenece a la zona 4, la cual se le asigna un valor  $Z=0.45$ , este se expresa como un valor de aceleración de la gravedad, como  $a_{max} = 0.45 * g$ .

### **B.3. Realización del Ensayo de Granulometría y contenido de humedad.**

Este ensayo se realizó con las muestras obtenidas durante el ensayo del SPT.

Las muestras inalteradas fueron divididas en porciones para la realización de los ensayos respectivos.

Para el contenido de humedad, la muestra inalterada para este ensayo, se tomó una porción de ella, fue llevada al horno para su respectivo secado durante un tiempo de 24 horas, se tomó el registro de su peso antes y después de su ingreso al horno, para el cálculo de su humedad.

Para el ensayo de granulometría, fue realizado en el laboratorio de la Universidad Señor de Sipán, donde la muestra inalterada fue lavada con agua potable usando la malla N°200 para la eliminación de finos. Luego de esto las muestras lavadas se llevaron al horno para el secado de las mismas.



*Figura 67: Lavado de muestras*

Las muestras secas, fueron cuarteadas para la realización del ensayo de granulometría, y fueron tamizadas por un conjunto de mallas que están ya normadas (ASTM) para este tipo de muestras.



*Figura 68: Cuarteo de muestras.*



*Figura 69: Tamizado de muestras*

#### **B.4. Realización del Ensayo de Límite Líquido y Límite Plástico**

Para el ensayo de Límite Líquido, se tomó 150 gr de muestra seca que pasó por la malla N.º 40, se tomó 3 muestras por cada estrato para promediar los valores obtenidos.

Cada muestra fue saturada con agua destilada a diferentes niveles para lograr cerrar el canal formado en la Copa de Casagrande en un promedio de 25 golpes de la manivela, registrando sus pesos antes y después de ser ingresados al horno por 24 horas después que fue hecho el ensayo.

Para el ensayo de Límite Plástico, se formaron cilindros de 3mm de diámetro con las muestras saturadas, hasta lograr formarlos, evitando que se fracturen.



*Figura 70: Saturación de las muestras para Limite Líquido*



*Figura 71: Muestras saturadas por estrato*



*Figura 72: Canal en copa de Casagrande*



*Figura 73: Formación de cilindros para ensayo de Límite Plástico*

**C. Identificación las características geotécnicas del perfil estratigráfico de la zona en estudio con el ensayo SPT**

Por medio de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg que se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la universidad Señor de Sipán, se pudo identificar definitivamente el tipo de suelo de las muestras extraídas de los estratos de cada punto de investigación donde se realizó el ensayo de SPT, generando así un perfil estratigráfico detallando en cada estrato la clasificación SUCS del suelo de cada punto analizado. Para este fin fue usando el formato para perfil estratigráfico contenido en el capítulo de anexos en el anexo N° 4.

**D. Diseño del mapeo de las capacidades portantes de la zona en estudio utilizando los datos del ensayo SPT**

Para hallar las capacidades portantes de los puntos estudiados, se procedió en primer lugar a analizar el número de golpes realizados en los ensayos, a los que se les aplicó una corrección por el número de golpes, que son factores que afectan a este valor por las distintas versiones de equipos con los que se realiza este ensayo, estos factores son obtenidos por medio de tablas que están contenidas en la información teórica; además a ello se aplica también otra corrección por contenido de finos, que vienen a ser dos valores que varían según el contenido de fino que contenga dicha muestra analizada.

Consecuente a esto se hizo uso de la tabla de correlaciones entre la densidad relativa del terreno y la resistencia a la penetración o al número de golpes, para determinar las capacidades portantes de cada punto estudiado.

**E. Determinación el potencial de licuefacción de los suelos en la zona las Dunas de la ciudad de Lambayeque**

El potencial de licuefacción de los suelos, depende de un valor llamado factor de seguridad a la licuefacción (FS), que se calcula como el cociente de la relación de la resistencia cíclica (CRR) y la relación de tensión cíclica (CSR)

En el cual si el factor de seguridad, resulta ser menor que 1.30 nos indicaría que ese suelo es propenso a sufrir a este fenómeno. Un suelo seguro es considerado para valores mayores a 1.30.

## **2.6. Criterios éticos**

Fuente de información se realizó con procesamiento: identificación de las ideas principales y redacción con las palabras de los investigadores sin desvirtuar el conocimiento.

Los ensayos se aplicaron contando primero con experiencias previas relacionadas a fin de poder tener mayor aproximación en los datos y resultados.

Los ensayos se realizaron en lugares especialmente determinados como se señalan en las técnicas e instrumentos de investigación.

## **2.7. Criterios de Rigor Científico**

Este ítem nos da alusión al rigor científico y metodológico con el que fue diseñada y desarrollada la siguiente investigación, así como a la confiabilidad que pueda tener la veracidad de los resultados obtenidos, lo cual nos lleva a la idea de la Calidad de la Investigación que se desarrolló.

**CAPITULO III**  
**RESULTADOS**

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. RESULTADOS EN TABLAS Y FIGURAS

#### 3.1.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

La siguiente tabla a continuación muestra una parte de los puntos obtenidos del levantamiento topográfico, específicamente los primeros 150 puntos de un total de 1182 puntos tomados del levantamiento que se realizó en la zona de estudio.

*Tabla 12: Tabla de puntos del levantamiento*

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	619422.007	9258463	17.06	EST
2	619413.597	9258453.75	16.546	REF
3	619413.598	9258453.75	16.546	REF
4	619383.501	9258453.53	15.471	ESQ
5	619385.699	9258457.82	15.665	EJE
6	619393.246	9258464.6	16.269	ESQ
7	619395.338	9258453.26	16.193	LP
8	619396.342	9258458.96	16.095	EJE
9	619398.506	9258464.53	16.312	EJE
10	619411.749	9258452.95	16.606	LP
11	619411.317	9258458.29	16.509	EJE
12	619411.338	9258464.57	16.419	LP
13	619417.651	9258452.17	16.726	ESQ
14	619419.395	9258451.16	16.802	ESQ
15	619418.641	9258458.53	16.81	EJE
16	619420.004	9258464.62	16.941	LP
17	619427.759	9258450.02	16.931	ESQ
18	619429.355	9258451.64	16.952	ESQ
19	619432.634	9258451.58	17.064	LP
20	619432.534	9258458.67	17.093	EJE
21	619430.141	9258464.23	17.098	ESQ
22	619442.888	9258458.17	17.519	EJE
23	619442.729	9258451.53	17.498	LP
24	619442.519	9258464.47	17.484	ESQ
25	619452.702	9258457.92	18.08	EJE
26	619452.994	9258451.58	18.108	LP
27	619452.964	9258464.44	18.172	LP
28	619462.583	9258457.68	18.647	EJE
29	619462.553	9258451.79	18.772	ESQ
30	619468.107	9258451.84	18.246	EJE
31	619467.796	9258457.77	18.169	EJE

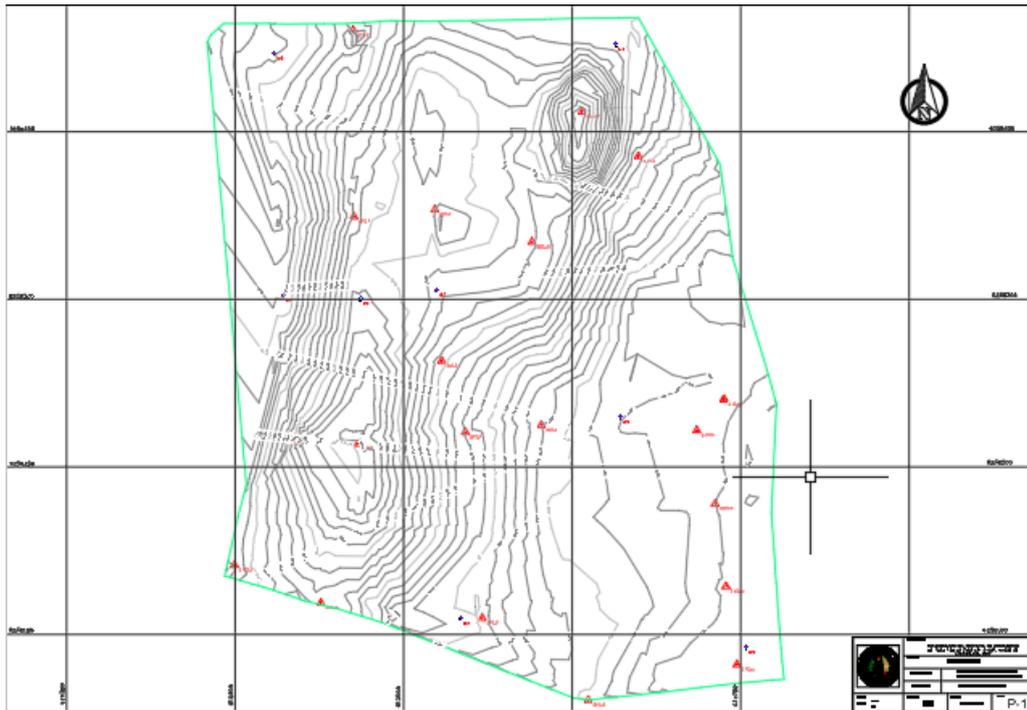
PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
32	619472.918	9258451.63	18.595	ESQ
33	619472.62	9258457.35	18.42	ESQ
34	619472.58	9258457.37	19.114	EJE
35	619472.916	9258451.65	19.285	ESQ
36	619481.929	9258451.92	20.144	LP
37	619481.285	9258456.54	19.674	EJE
38	619484.92	9258451.92	20.147	LP
39	619484.553	9258456.15	19.994	EJE
40	619494.492	9258458.22	20.472	EJE
41	619493.929	9258452.14	20.893	LP
42	619503.153	9258458.01	20.923	EJE
43	619503.271	9258452.74	21.254	LP
44	619508.94	9258452.24	21.526	ESQ
45	619508.464	9258458.19	21.203	EJE
46	619513.531	9258458.93	21.341	EJE
47	619513.711	9258453.57	21.623	EJE
48	619518.819	9258452.65	21.682	ESQ
49	619470.036	9258460.44	19.16	EST.2
50	619450.307	9258464.49	18.205	LP
51	619465.604	9258464.03	18.874	LP
52	619465.623	9258464.54	18.967	LP
53	619483.036	9258465.13	19.793	ESQ
54	619493.036	9258466.23	20.443	ESQ
55	619493.923	9258465.48	20.386	ESQ
56	619511.252	9258465.86	21.241	LP
57	619473.07	9258444.26	19.363	LP
58	619464.43	9258444.64	19.1	LP
59	619468.95	9258443.79	19.24	EJE
60	619473.408	9258434.37	19.536	LP
61	619469.232	9258433.79	19.544	EJE
62	619464.576	9258434.16	19.714	LP
63	619473.525	9258426.3	19.927	LP
64	619469.224	9258424.77	19.989	EJE
65	619465.142	9258424.61	19.798	LP
66	619469.599	9258415.24	20.341	EJE
67	619465.693	9258412.52	20.057	LP
68	619473.845	9258414.04	20.593	LP
69	619469.794	9258402.83	20.823	EJE
70	619466.003	9258402.45	20.944	LP
71	619470.372	9258392.29	21.173	EJE
72	619466.552	9258392.47	21.161	LP
73	619471.132	9258370.69	21.361	EJE
74	619474.569	9258393.26	21.213	LP

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
75	619467.487	9258370.41	21.436	LP
76	619471.212	9258370.62	21.363	EJE
77	619467.915	9258358.87	21.597	LP
78	619470.983	9258358.94	21.59	EJE
79	619471.042	9258354.1	21.625	EJE
80	619468.43	9258353.9	21.373	EJE
81	619468.348	9258353.89	21.373	ESQ
82	619471.157	9258345.34	21.694	EJE
83	619468.13	9258344.98	21.573	ESQ
84	619470.483	9258349.34	21.55	EST.3
85	619475.166	9258378.14	21.747	LP
86	619475.662	9258363.4	22.057	LP
87	619476.02	9258354.84	22.163	ESQ
88	619476.292	9258346.38	22.196	ESQ
89	619468.529	9258334.95	22.16	LP
90	619472.533	9258335.01	22.227	EJE
91	619476.542	9258335.04	22.443	LP
92	619468.975	9258322.04	22.422	LP
93	619472.765	9258322.49	22.518	EJE
94	619477.003	9258322.55	22.574	LP
95	619469.472	9258310.2	22.877	LP
96	619473.365	9258310.74	22.805	EJE
97	619477.371	9258311.42	22.897	LP
98	619469.941	9258297.21	23.171	LP
99	619473.592	9258297.14	23.117	EJE
100	619473.714	9258300.04	23.083	SPT
101	619477.578	9258298.38	23.112	LP
102	619470.36	9258280.24	23.49	LP
103	619474.39	9258283.21	23.414	EJE
104	619478.955	9258283.09	23.455	LP
105	619470.568	9258271.34	23.696	LP
106	619474.275	9258270.01	23.932	EJE
107	619479.146	9258270.6	23.815	LP
108	619475.233	9258255.3	24.356	EJE
109	619471.127	9258255.35	24.141	LP
110	619479.72	9258255.16	24.816	LP
111	619475.77	9258239.95	24.789	EJE
112	619471.473	9258239.62	24.793	LP
113	619480.266	9258240.02	24.808	LP
114	619476.634	9258229.16	24.923	EJE
115	619471.58	9258228.94	24.936	LP
116	619480.235	9258227.89	24.894	LP
117	619476.316	9258221.2	24.573	EJE

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
118	619471.724	9258221.14	24.498	LP
119	619480.178	9258222.73	24.186	LP
120	619480.176	9258222.77	24.185	ESQ
121	619471.715	9258221.09	24.089	ESQ
122	619476.348	9258217.57	24.407	EJE
123	619471.987	9258217.42	24.32	EJE
124	619480.514	9258217.65	23.98	EJE
125	619422.516	9258340.31	16.017	ESQ
126	619422.466	9258345.29	15.867	EJE
127	619420.872	9258348.9	15.896	ESQ
128	619425.464	9258340.82	16.036	EJE
129	619425.445	9258345.37	16.085	EJE
130	619425.352	9258349.33	15.928	EJE
131	619430.811	9258349.8	16.385	ESQ
132	619431.113	9258345.87	16.532	EJE
133	619430.811	9258341.84	16.214	ESQ
134	619434.774	9258342.32	16.931	ESQ
135	619434.574	9258346.18	16.741	EJE
136	619434.717	9258350.11	16.898	LP
137	619440.792	9258342.85	17.832	LP
138	619440.683	9258346.66	17.417	EJE
139	619441.148	9258350.75	17.44	LP
140	619446.207	9258343.42	18.445	LP
141	619446.079	9258347.25	18.067	EJE
142	619445.312	9258351.19	18.016	LP
143	619451.746	9258344.01	19.193	LP
144	619451.686	9258347.69	18.921	EJE
145	619451.062	9258351.75	18.797	LP
146	619459.228	9258344.79	20.287	LP
147	619459.445	9258348.67	20.125	EJE
148	619458.784	9258352.56	20.11	LP
149	619463.37	9258345.13	20.779	LP
150	619463.325	9258349.09	20.618	EJE

Los datos de la tabla fue obtenida de la Estación total, la cual muestra 4 columnas que brinda las coordenadas, la cota y el ítem de cada punto analizado para el levantamiento hecho.

De estos puntos fueron procesados en AutoCAD Civil 3D, del cual se obtuvo el siguiente plano de curvas de nivel.



*Figura 74: Plano general de curvas de nivel*

### **3.1.2. CARACTERÍSTICAS HIDROMÉTRICAS DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO**

Para el siguiente ítem se tomó en cuenta los resultados obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos, de los ensayos de granulometría, de contenido de humedad y de los límites de Atterberg realizados para cada muestra de los diferentes puntos explorados.

Los resultados de los ensayos de granulometría, contenido de humedad y de límites líquido y plástico se muestran en el capítulo de anexos desde los anexos 7 al anexo 36.

De todos los ensayos realizados se realizó la siguiente tabla de consolidados.

Tabla 13: Consolidado de ensayos de SPT-1

SPT - 01	GRANULOMETRIA			CONTENIDO DE HUMEDAD	LL	LP	IP	CLASIFICACION SUCS	COTA 16.95
	% QUE PASA LA MALLA N°4	% QUE RETIENE LA MALLA N°200	% QUE PASA LA MALLA N°200						
M1(0.00 - 0.90)	100.00%	95.14%	4.86%	1.20	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M2(0.90 - 1.50)	100.00%	95.43%	4.57%	1.99	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M3(1.50 - 1.90)	100.00%	97.39%	2.61%	1.36	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M4(1.90 - 2.90)	100.00%	96.46%	3.54%	5.14	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M5(2.90 - 3.70)	100.00%	95.51%	4.49%	1.36	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M6(3.70 - 5.00)	100.00%	95.24%	4.76%	1.75	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	

Esta tabla nos muestra el resultado de la clasificación de los estratos correspondientes al SPT – 1, determinando que este punto posee en sus estratos una arena mal graduada (SP).

Tabla 14: Consolidado de ensayos de SPT- 2

SPT - 02	GRANULOMETRIA			CONTENIDO DE HUMEDAD	LL (%)	LP (%)	IP	CLASIFICACION SUCS	COTA 20.25
	% QUE PASA LA MALLA N°4	% QUE RETIENE LA MALLA N°200	% QUE PASA LA MALLA N°200						
M1(0.30 - 1.00)	100.00%	95.40%	4.60%	1.34	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M2(1.00 - 1.60)	100.00%	95.22%	4.78%	7.16	N.P	N.P	N.P	<b>SP - SM</b>	
M3(1.60 - 2.50)	99.91%	51.20%	48.71%	5.92	34.18	17.42	16.76	<b>SP - SM</b>	
M4(2.50 - 2.70)	100.00%	89.03%	10.97%	4.33	19.62	17.71	1.91	<b>SP - SM</b>	
M5(2.70 - 3.90)	99.64%	96.41%	3.23%	1.14	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M6(3.90 - 5.00)	100.00%	95.54%	4.46%	2.39	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	

Esta tabla nos muestra el resultado de la clasificación de los estratos correspondientes al SPT – 2, determinando que este punto posee en sus estratos una arena mal graduada (SP) y estratos mixtos con arena limosa.

Tabla 15: Consolidado de ensayos de SPT- 3

SPT - 03	GRANULOMETRIA			CONTENIDO DE HUMEDAD	LL	LP	IP	CLASIFICACION SUCS	COTA 17.77
	% QUE PASA LA MALLA N°4	% QUE RETIENE LA MALLA N°200	% QUE PASA LA MALLA N°200						
M1(0.00 - 0.90)	100.00%	96.40%	3.60%	2.22	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M2(0.90 - 1.50)	100.00%	95.65%	4.35%	2.55	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M3(1.50 - 1.90)	99.80%	95.80%	4.00%	2.92	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M4(1.90 - 2.90)	100.00%	69.09%	30.91%	2.79	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M5(2.90 - 3.70)	100.00%	94.28%	5.72%	3.71	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M6(3.70 - 5.00)	100.00%	91.71%	8.29%	5.26	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	

Esta tabla nos muestra el resultado de la clasificación de los estratos correspondientes al SPT – 3, determinando que este punto posee en sus estratos una arena mal graduada (SP).

Tabla 16: Consolidado de ensayos de SPT- 4

SPT - 04	GRANULOMETRIA			CONTENIDO DE HUMEDAD	LL	LP	IP	CLASIFICACION SUCS	COTA 14.04
	% QUE PASA LA MALLA N°4	% QUE RETIENE LA MALLA N°200	% QUE PASA LA MALLA N°200						
M1(0.30 - 1.50)	100.00%	97.40%	2.60%	3.44	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M2(1.50 - 1.95)	100.00%	96.22%	3.78%	5.57	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M3(1.95 - 2.25)	100.00%	90.02%	9.98%	9.75	32.17	20.9	11.27	<b>SP - SC</b>	
M4(2.25 - 3.00)	100.00%	54.94%	45.06%	12.51	50.22	21.00	29.22	<b>SC</b>	
M5(3.00 - 3.90)	100.00%	62.33%	37.67%	13.39	32.95	20.37	12.58	<b>SC</b>	
M6(3.90 - 5.00)	100.00%	54.75%	45.25%	17.26	24.64	20.37	4.27	<b>SC - SM</b>	

Esta tabla nos muestra el resultado de la clasificación de los estratos correspondientes al SPT – 4, determinando que este punto posee en sus estratos una arena mal graduada (SP) y estratos mixtos con arena limosa y arena arcillosa.

Tabla 17: Consolidado de ensayos de SPT- 5

SPT - 05	GRANULOMETRIA			CONTENIDO DE HUMEDAD	LL	LP	IP	CLASIFICACION SUCS
	% QUE PASA LA MALLA N°4	% QUE RETIENE LA MALLA N°200	% QUE PASA LA MALLA N°200					
M1(0.50 - 1.50)	100.00%	96.53%	3.47%	11.66	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>
M2(1.50 - 2.40)	100.00%	95.34%	4.66%	21.61	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>
M3(2.40 - 3.40)	100.00%	72.74%	27.26%	23.14	28.43	20.42	8.01	<b>SC</b>
M4(3.40 - 5.00)	100.00%	43.26%	56.74%	20.12	32.72	15.94	16.78	<b>SC</b>

COTA  
13.05

Esta tabla nos muestra el resultado de la clasificación de los estratos correspondientes al SPT – 5, determinando que este punto posee en sus estratos una arena mal graduada (SP) y arena arcillosa.

Tabla 18: Consolidado de ensayos de SPT- 6

SPT - 06	GRANULOMETRIA			CONTENIDO DE HUMEDAD	LL	LP	IP	CLASIFICACION SUCS	COTA 21.88
	% QUE PASA LA MALLA N°4	% QUE RETIENE LA MALLA N°200	% QUE PASA LA MALLA N°200						
M1(0.35 - 1.80)	100.00%	95.22%	4.78%	2.21	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M2(1.80 - 2.35)	100.00%	95.95%	4.05%	2.48	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M3(2.35 - 3.35)	100.00%	95.69%	4.31%	2.57	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M4(3.35 - 4.35)	99.94%	95.43%	4.51%	1.99	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	
M5(4.35 - 5.35)	100.00%	96.11%	3.89%	1.92	N.P	N.P	N.P	<b>SP</b>	

Esta tabla nos muestra el resultado de la clasificación de los estratos correspondientes al SPT – 6, determinando que este punto posee en sus estratos una arena mal graduada (SP).

### Curvas granulométricas de los puntos explorados

Se usó este procedimiento para determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo, o los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices (Nº 4 al Nº 200), para clasificar el suelo mediante el uso de la curva granulométrica. Para el desarrollo de este ensayo se siguió lo indicado en la norma NTP 339.128.

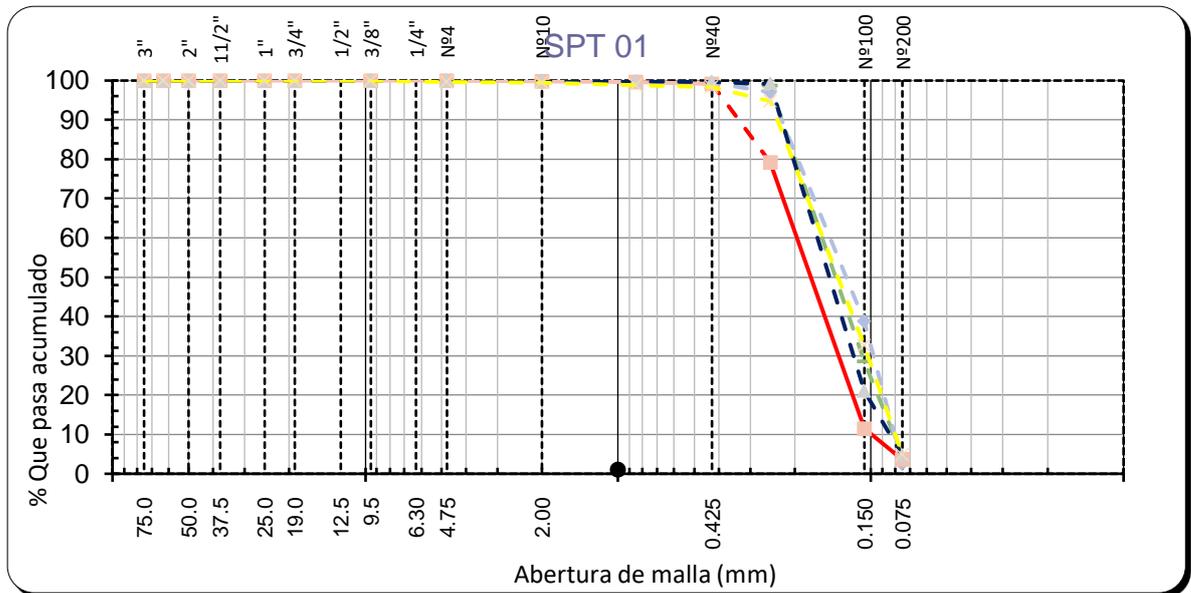


Figura 75: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 1

En el punto explorado Nº 1 se observa de la gráfica que el suelo que compone la muestra en su mayoría está compuesto por arenas mal graduadas.

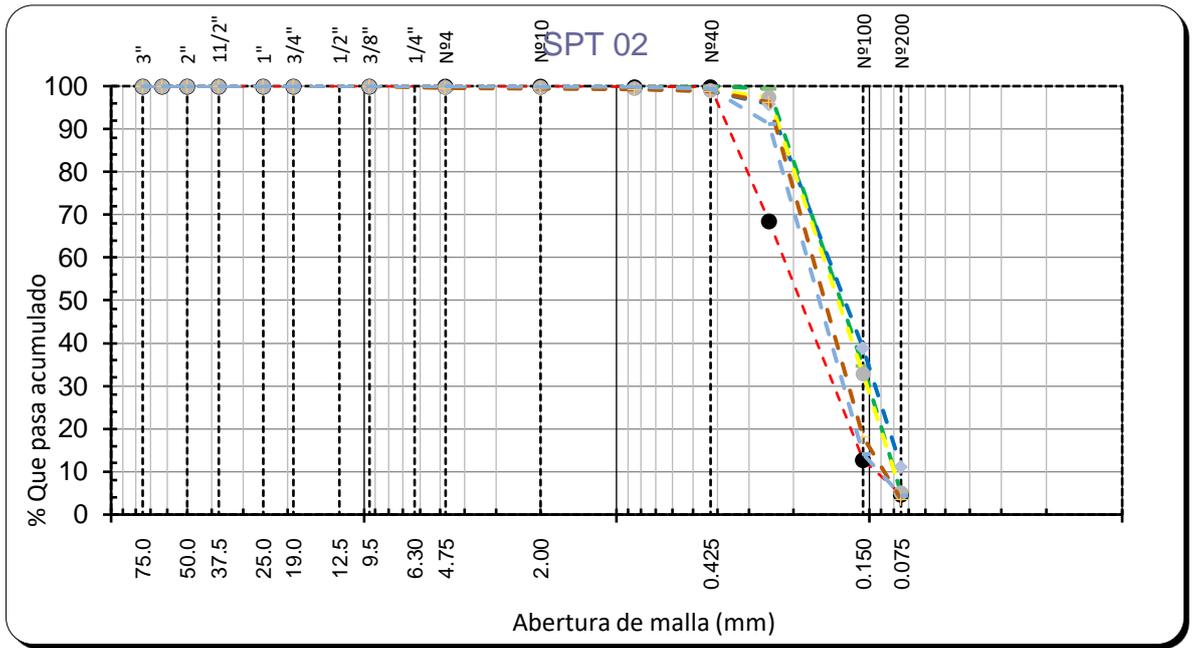


Figura 76: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 2

En el punto explorado N° 2 se observa de la gráfica que el suelo que compone la muestra en su mayoría está compuesto por arenas mal graduadas.

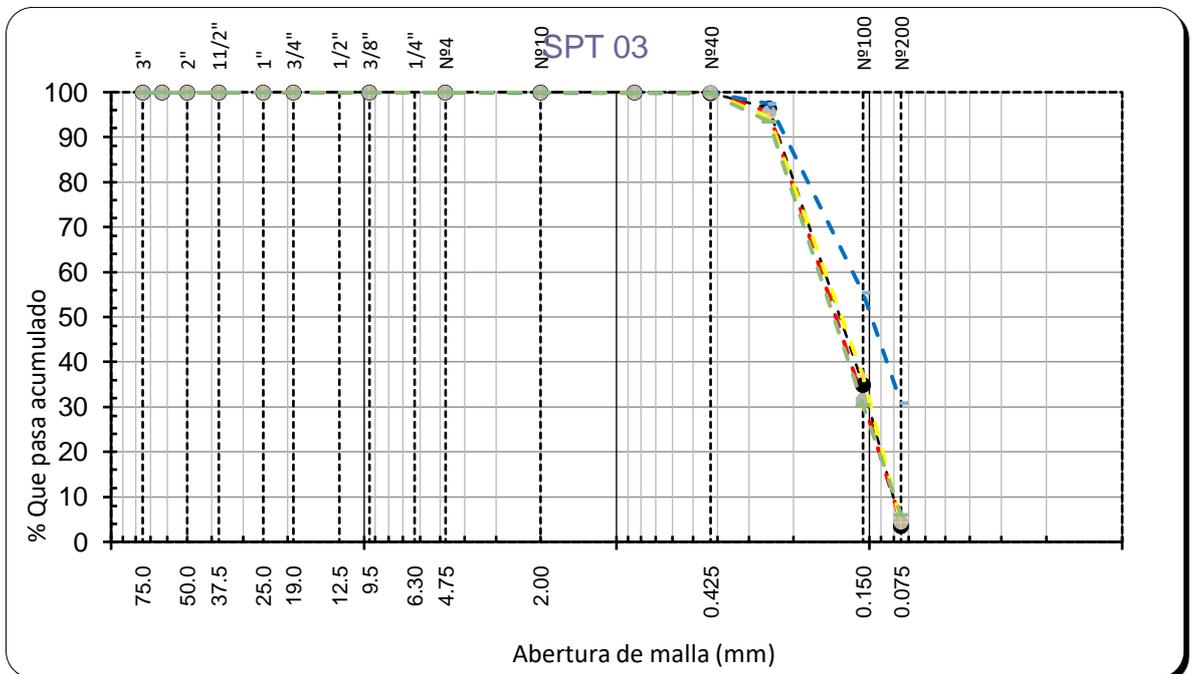


Figura 77: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 3

En el punto explorado N° 3 se observa de la gráfica que el suelo que compone la muestra en su mayoría está compuesto por arenas pobremente graduadas.

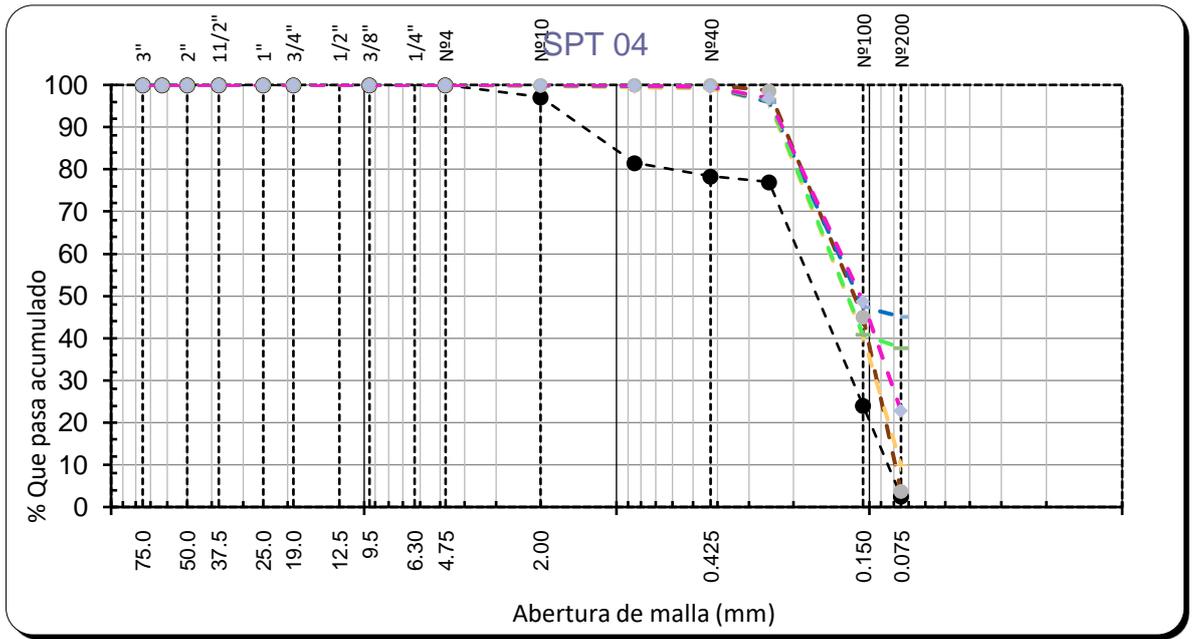


Figura 78: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 4

En el punto explorado N° 4 se observa de la gráfica que el suelo que compone la muestra en su mayoría está compuesto por arenas mal graduadas

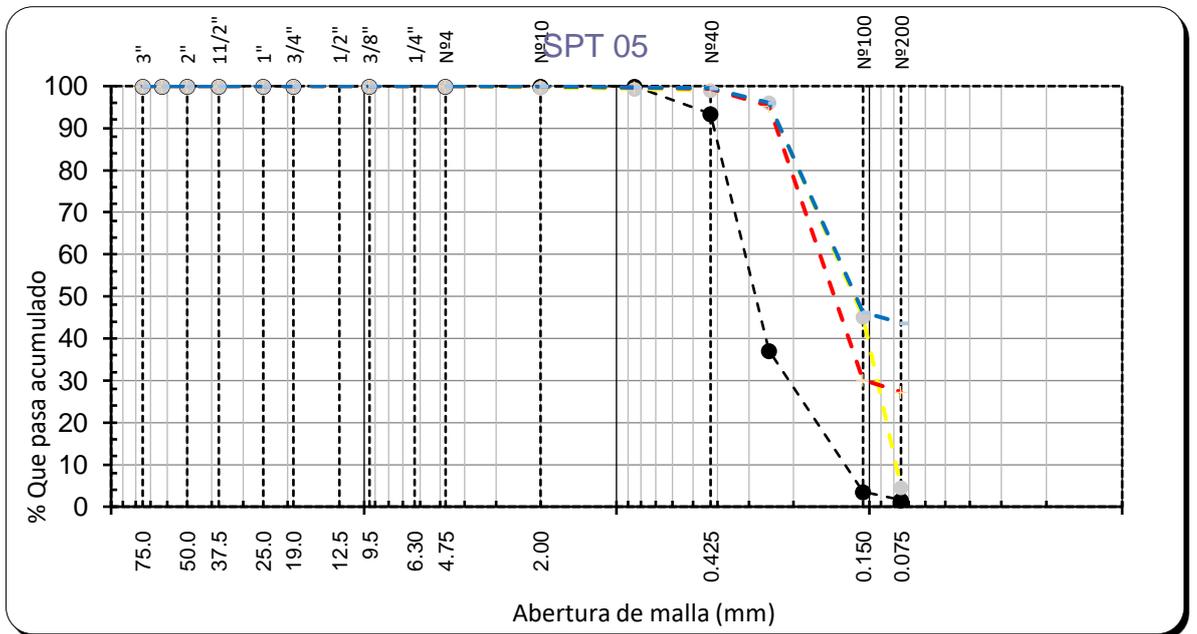


Figura 79: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 5

En el punto explorado N° 5 se observa de la gráfica que el suelo que compone la muestra en su mayoría está compuesto por arenas pobremente graduadas.

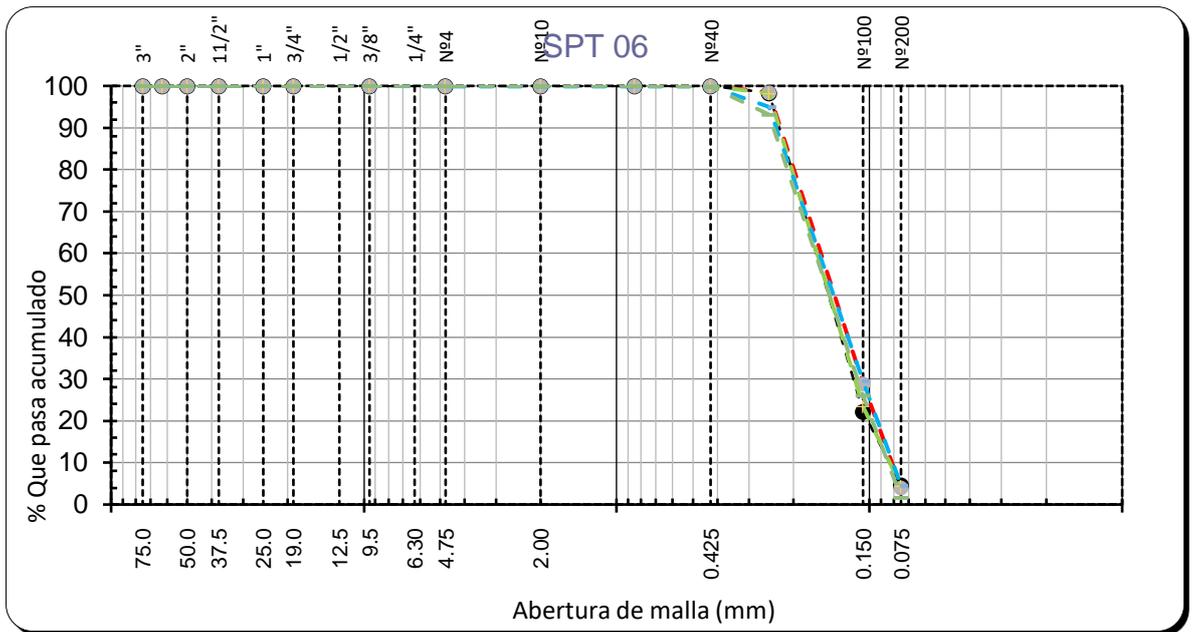


Figura 80: Consolidado de curvas granulométricas del SPT 6

En el punto explorado N° 6 se observa de la gráfica que el suelo que compone la muestra en su mayoría está compuesto por arenas y algunos finos.

### Gráficos de barras del contenido de Humedad

Se usó este procedimiento para determinar el contenido de humedad secando el suelo húmedo en un horno controlado a 110°C.

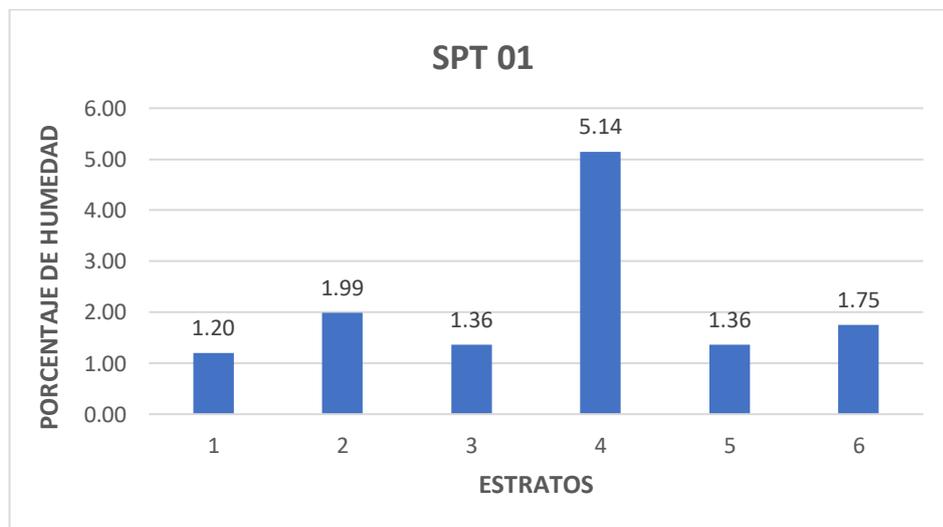


Figura 81: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 1

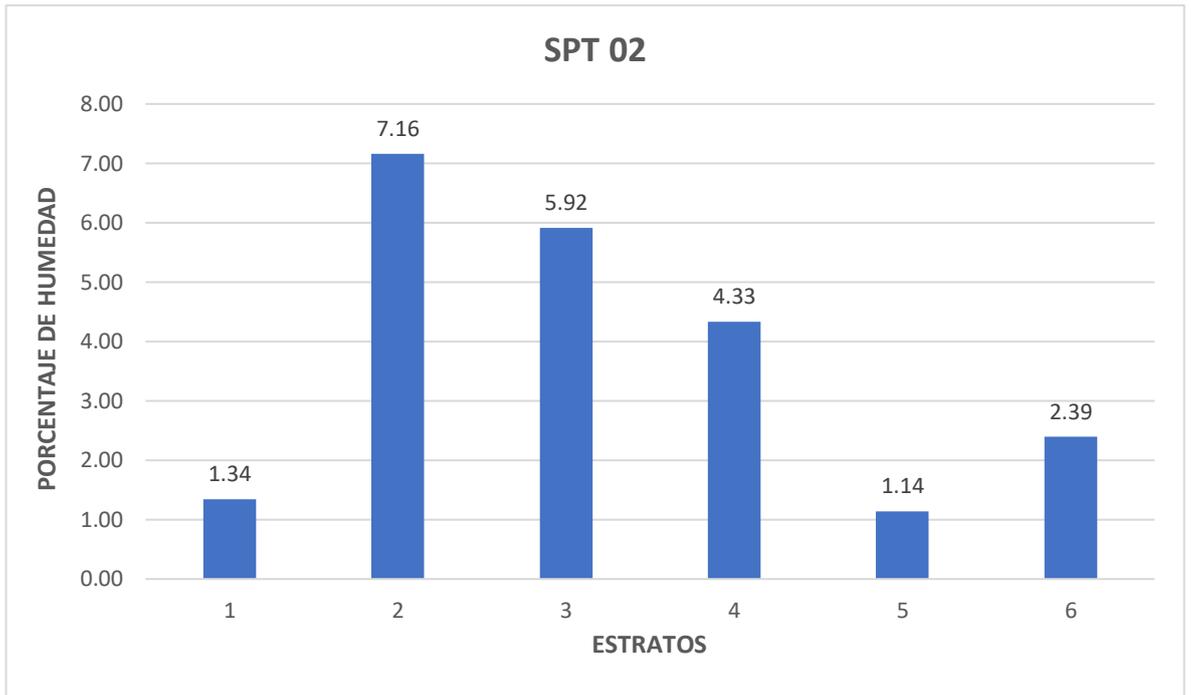


Figura 82: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 2

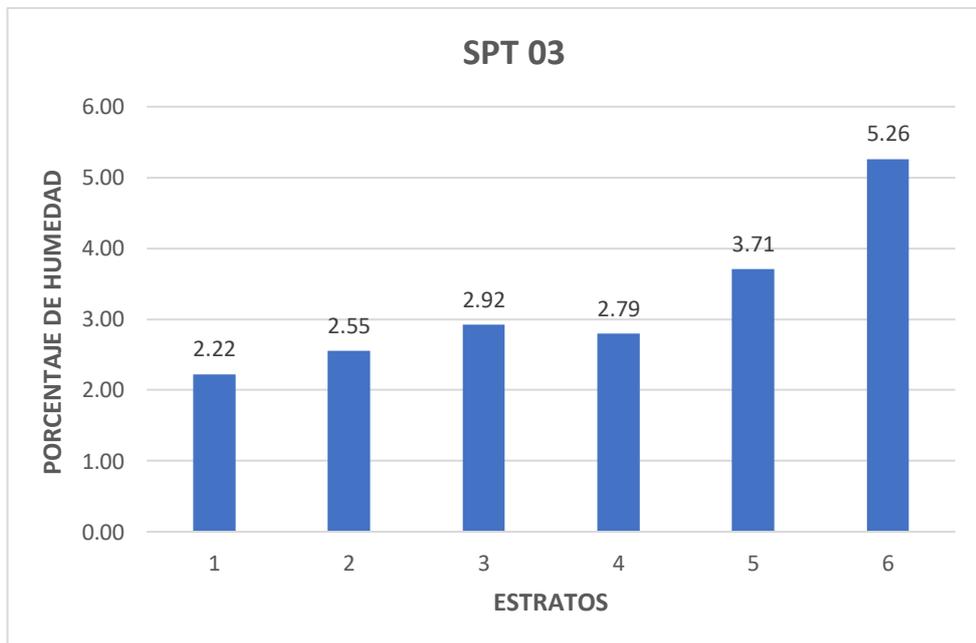


Figura 83: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 3

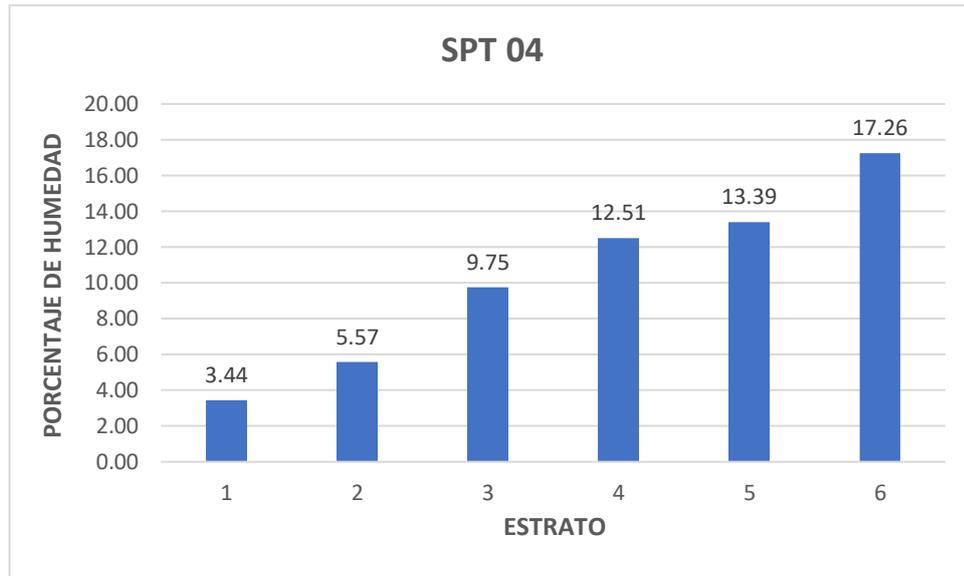


Figura 84: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 4

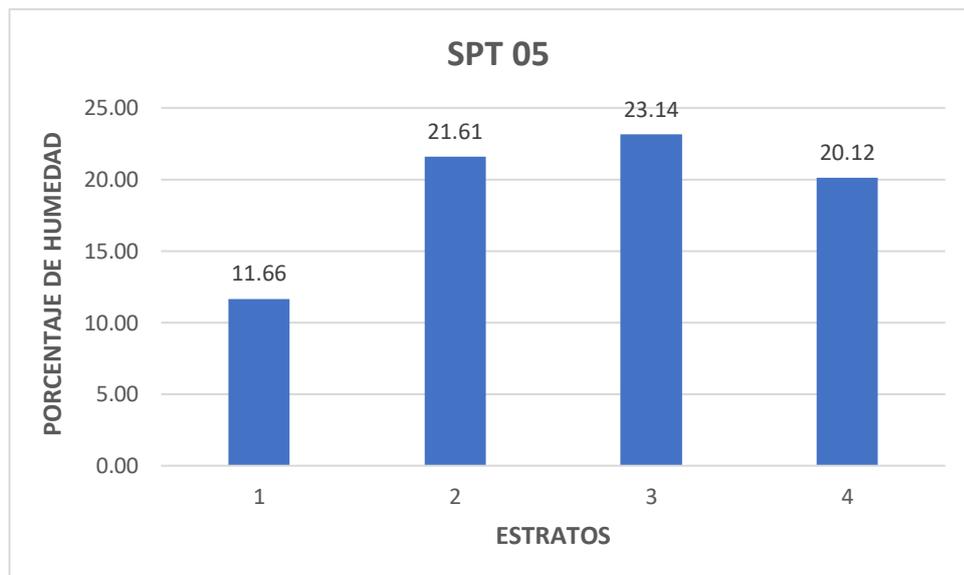
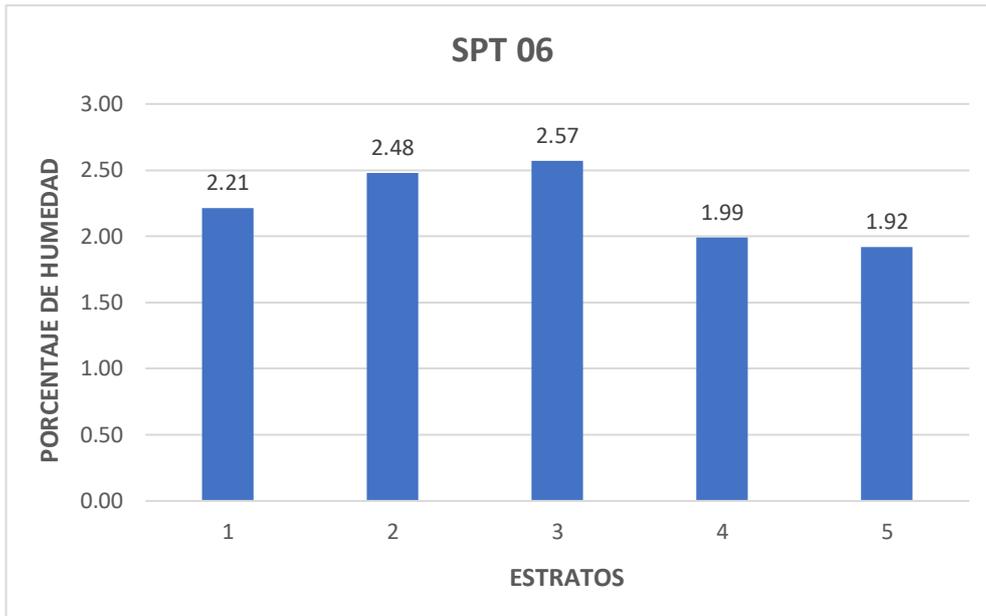


Figura 85: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 5



*Figura 86: Gráfica de barras del contenido de humedad del SPT 6*

### **3.1.3. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO**

Se obtuvo por medio de la observación preliminar y un definitivo por la clasificación del suelo, ayudado por medio de los ensayos en laboratorio.

Los formatos del perfil estratigráfico de cada punto explorado se encuentran en el capítulo de anexos, específicamente del anexo 37 al anexo 42.

#### **PERFILES ESTATIGRÁFICOS**

Tabla 19: Perfil Estratigráfico SPT - 1

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)																
PROYECTO	: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE															
UBICACION	: AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE															
PERFORACION	: SPT - 1															
FECHA	: 15/06/2018															
COTA	OFUNDID (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES		
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				000	
16.95	0.30														≡≡≡≡	Terreno de relleno.
16.10	0.85													18	000000	
15.95	1.00														000000	
	1.15														00 (SP) 00	Arena mal graduada, color gris claro, sin presencia de agua, no tiene plasticidad
	1.30														000000	
															000000	
15.10	1.85														000000	
14.95	2.00													15	000000	
	2.15														000000	
	2.30														00 (SP) 00	Arena mal graduada, color marron claro, sin presencia de agua, no tiene plasticidad
															000000	
															000000	
14.10	2.85														000000	
13.95	3.00													24	000000	
	3.15														000000	
	3.30														00 (SP) 00	Arena humeda, mal gradada, color marron claro con tonalidad blanquecina, no plastica
															000000	
															000000	
13.10	3.85														000000	
12.95	4.00													21	000000	
	4.15														000000	
	4.30														00 (SP) 00	Arena mal graduada, color gris claro, sin plasticidad, de compacidad media
															000000	
															000000	
11.95	5.00														000000	

En líneas generales, las muestras de este punto son por lo general arenas mal graduadas.

Tabla 20: Perfil Estratigráfico SPT - 2

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)															
PROYECTO	:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE													
UBICACION	:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE													
PERFORACION	:	SPT - 2													
FECHA	:	15/06/2018													
COTA	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				000
20.3	0.50														Terreno de relleno.
19.40	0.85													SP	Arenas mal graduada sin plasticidad, color marrón oscuro
19.3	1.00												11		
	1.15														
	1.30														
18.40	1.85													SP-SM	Arenas limosas, mal graduada, sin plasticidad de compactación media, color beige claro.
18.3	2.00												9		
	2.15														
	2.30														
17.40	2.85														
17.3	3.00												26		
	3.15														
	3.30													SP	Arenas mal graduada no plastica, color beige oscuro
16.40	3.85														
16.3	4.00												25		
	4.15														
	4.30													SP	Arenas mal graduada no plastica, color beige con tonalidades marron
15.8	4.45														

En líneas generales, las muestras de este punto son por lo general arenas, conteniendo algunos finos en los estratos superiores.

Tabla 21: Perfil Estratigráfico SPT - 3

UBICACION : AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE															
PERFORACION : SPT - 3															
FECHA : 15/06/2018															
COTA	PROFUND (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	100				
17.77	0.50														terreno de relleno
16.42	1.35														Arena mal graduada, color gris claro, sin presencia de agua, no plastica
16.27	1.50												13		
	1.65														
	1.80														
15.42	2.35														Arena mal graduada, color marron claro, sin presencia de agua, no plastica de compacidad blanda
15.27	2.50												15		
	2.65														
	2.80														
14.42	3.35														
14.27	3.50												17		Arena mal graduada, color marron claro con leve presencia de humedad, no plas
	3.65														
	3.80														
13.42	4.35														
13.27	4.50												20		Arena mal graduada, color gris claro, presencia de humedad, no tiene plasticidad de compacidad media
	4.65														
	4.80														
12.82	4.95														

En líneas generales, las muestras de este punto son por lo general arenas mal graduadas.

Tabla 22: Perfil Estratigráfico SPT - 4

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)																
PROYECTO	:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE														
UBICACION	:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE														
PERFORACION	:	SPT - 4														
FECHA	:	20/06/2018														
COTA	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES		
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				100	
14.04	0.30															Terreno de relleno.
12.69	1.35															
12.54	1.50													8		
	1.65															
	1.80															
11.69	2.35															Arena mal graduada, color gris claro, sin presencia de agua, no plastica
11.54	2.50													13		
	2.65															
	2.80															
11.09	2.95															
10.69	3.35															
10.54	3.50													28		
	3.65															
	3.80															
														56		
9.69	4.35															
	4.50															
	4.65													36		

En líneas generales, las muestras de este punto son por lo general arenas, conteniendo algunos finos en la mayoría de estratos.

Tabla 23: Perfil Estratigráfico SPT - 5

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)															
PROYECTO	: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE														
UBICACION	: AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE														
PERFORACION	: SPT - 5														
FECHA	: 20/06/2018														
COTA	OFUNDID (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				100
13.05	0.50														Terreno de relleno.
11.70	1.35													13	Arenas arcillosas, de baja plasticidad, de compacidad media, color marrón oscuro.
11.55	1.50														
	1.65														
	1.80														
10.70	2.35														
10.55	2.50													26	
	2.65														
	2.80														
10.10	2.95														
9.70	3.35														
9.55	3.50													58	Arena Arcillosa, mediano contenido de finos, color beige oscuro, compacidad media.
	3.65														
	3.80														
9.10	3.95														

En líneas generales, las muestras de este punto son arenas, conteniendo algunos finos en sus estratos.

Tabla 24: Perfil Estratigráfico SPT - 6

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)															
PROYECTO	:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE													
UBICACION	:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE													
PERFORACION	:	SPT - 6													
FECHA	:	22/06/2018													
COTA	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				100
21.88	1.00														terreno de relleno
20.53	1.35													8	
20.38	1.50														
	1.65														
	1.80														
19.53	2.35													12	Arena mal gradada, color gris claro, no plastica, y de compacidad media con baja presencia de humedad
19.38	2.50														
	2.65														
	2.80														
18.53	3.35														
18.38	3.50													19	
	3.65														
	3.80														Arena mal gradada, marron oscuro, no plastica, y de compacidad firme con baja presencia de humedad
17.38	4.50														

En líneas generales, las muestras de este punto son por lo general arenas mal graduadas.

### 3.1.4. MAPEO DE LAS CAPACIDADES PORTANTES DE LA ZONA, USANDO LOS DATOS DEL ENSAYO SPT

Las capacidades portantes se analizaron por estratos de los puntos estudiados, usando los valores obtenidos de los números de golpes del ensayo SPT, el cual por medio de una fórmula nos indica el valor requerido.

En la tabla siguiente se muestran las capacidades calculadas por punto explorado en cada estrato.

Tabla 25: Capacidades Portantes por punto analizado

SPT	Nº GOLPES			PROF. ESTRATO	$\sigma_{adm}$
1	3	4	14	1-1.45	1.8
	4	6	5	2-2.45	1.1
	2	8	16	3-3.45	2.4
	7	8	6	4-4.45	1.4
2	2	5	6	1-1.45	1.1
	2	3	4	2-2.45	0.7
	6	8	12	3-3.45	2
	6	9	10	4-4.45	1.9
3	1	3	4	1.50-1.95	0.7
	1	3	7	2.50-2.95	1
	5	9	17	3.50-3.95	2.6
	18	18	13	4.50-4.95	3.1
4	2	4	4	1.50-1.95	0.8
	4	5	4	2.50-2.95	0.9
	11	16	29	3.50-3.95	4.5
	36	50	-	4.50-4.95	5
5	4	6	7	1.50-1.95	1.3
	5	5	4	2.50-2.95	0.9
	25	38	55	3.50-3.95	9.3
6	6	4	4	1.50-1.95	0.8
	2	4	2	2.50-2.95	0.6
	5	8	6	3.50-3.95	1.4

De esta tabla se puede determinar que, al ir bajando el estrato, la capacidad portante del terreno aumenta, haciéndose más denso el estrato.

### **3.1.5. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS DE LA CIUDAD DE LAMBAYEQUE**

La determinación del potencial de licuefacción se obtuvo por la utilización del método Seed & Idriss evaluado para diferentes magnitudes tomándose como punto de partida una magnitud de  $M_w = 5.5$  y una magnitud máxima de  $M_w = 8.0$  siendo ésta la más desfavorable.

El cálculo se desarrolló mediante una hoja de cálculo que se utiliza para las profundidades de hasta 5.00 metros para los sondeos SPT estudiados.

SPT-01

Tabla 26: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a  $M_w = 5.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 1								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 01	14.04 m.s.n.m.	$M_w = 5.5$	1-1.45	-	SP	18.144	0.607	0.360	0.185	0.370	1.027	NO LICUABLE
			2-2.45		SP	11.088	0.602	0.357	0.126	0.359	1.004	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	24.192	0.598	0.354	0.272	0.776	2.190	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	14.113	0.593	0.352	0.149	0.424	1.207	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-01, simulando una magnitud de  $M_w = 5.5$ , de la cual se analizaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 27: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a  $M_w = 6.0$

PROYECTO	:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE										
UBICACION	:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE										
PERFORACION	:	SPT - 1										
FECHA	:	15/06/2018										
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 01	14.04 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 6.0	1-1.45	-	SP	18.144	0.607	0.410	0.185	0.335	0.816	NO LICUABLE
			2-2.45		SP	11.088	0.602	0.407	0.126	0.325	0.798	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	24.192	0.598	0.403	0.272	0.702	1.741	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	14.113	0.593	0.400	0.149	0.384	0.960	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-01, simulando una magnitud de  $M_w=6.0$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 28: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a  $M_w = 6.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 1								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 01	14.04 m.s.n.m.	$M_w = 6.5$	1-1.45	-	SP	18.144	0.607	0.467	0.185	0.305	0.654	NO LICUABLE
			2-2.45		SP	11.088	0.602	0.463	0.126	0.296	0.639	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	24.192	0.598	0.460	0.272	0.641	1.394	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	14.113	0.593	0.456	0.149	0.350	0.768	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-01, simulando una magnitud de  $M_w=6.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 29: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a  $M_w=7.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 1								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 01	14.04 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 7.0	1-1.45	-	SP	18.144	0.607	0.532	0.185	0.280	0.527	NO LICUABLE
			2-2.45		SP	11.088	0.602	0.528	0.126	0.272	0.515	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	24.192	0.598	0.524	0.272	0.588	1.123	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	14.113	0.593	0.520	0.149	0.322	0.619	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-01, simulando una magnitud de  $M_w=7.0$  de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 30: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a  $M_w = 7.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 1								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 01	14.04 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 7.5	1-1.45	-	SP	18.144	0.607	-	0.185	-	0.305	NO LICUABLE
			2-2.45		SP	11.088	0.602	-	0.126	-	0.209	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	24.192	0.598	-	0.272	-	0.455	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	14.113	0.593	-	0.149	-	0.251	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-01, simulando una magnitud de  $M_w=7.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 31: Determinación de licuabilidad del SPT - 1 simulado a  $M_w = 8.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 1								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 01	14.04 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 8.0	1-1.45	-	SP	18.144	0.607	0.693	0.185	0.240	0.347	NO LICUABLE
			2-2.45		SP	11.088	0.602	0.688	0.126	0.233	0.339	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	24.192	0.598	0.682	0.272	0.505	0.740	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	14.113	0.593	0.677	0.149	0.276	0.408	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-01, simulando una magnitud de  $M_w = 8.0$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

SPT – 02

Tabla 32: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a  $M_w = 5.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 2								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 02	20.25 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 5.5	1-1.45	-	SP - SM	11.089	0.607	0.360	0.126	0.251	0.698	NO LICUABLE
			2-2.45		SP - SM	12.670	0.602	0.357	0.137	0.392	1.098	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	20.160	0.598	0.354	0.208	0.593	1.673	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	19.152	0.593	0.352	0.196	0.559	1.590	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-02, simulando una magnitud de  $M_w=5.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 33: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a  $M_w = 6.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 2								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 02	20.25 m.s.n.m.	Mw= 6.0	1-1.45	-	SP - SM	11.089	0.607	0.410	0.126	0.227	0.555	NO LICUABLE
			2-2.45		SP - SM	12.670	0.602	0.407	0.137	0.355	0.873	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	20.160	0.598	0.403	0.208	0.536	1.330	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	19.152	0.593	0.400	0.196	0.506	1.264	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-02, simulando una magnitud de  $M_w=6.0$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 34: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a  $M_w = 6.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 2								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 02	20.25 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 6.5	1-1.45	-	SP - SM	11.089	0.607	0.467	0.126	0.207	0.444	NO LICUABLE
			2-2.45		SP - SM	12.670	0.602	0.463	0.137	0.324	0.699	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	20.160	0.598	0.460	0.208	0.489	1.065	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	19.152	0.593	0.456	0.196	0.461	1.012	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-02, simulando una magnitud de  $M_w=6.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 35: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a  $M_w = 7.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 2								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 02	20.25 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 7.0	1-1.45	-	SP - SM	11.089	0.607	0.532	0.126	0.190	0.358	NO LICUABLE
			2-2.45		SP - SM	12.670	0.602	0.528	0.137	0.297	0.563	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	20.160	0.598	0.524	0.208	0.449	0.858	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	19.152	0.593	0.520	0.196	0.424	0.815	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-02, simulando una magnitud de  $M_w=7.0$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 36: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a Mw= 7.5

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 2								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 02	20.25 m.s.n.m.	Mw= 7.5	1-1.45	-	SP - SM	11.089	0.607	-	0.126	-	0.207	NO LICUABLE
			2-2.45		SP - SM	12.670	0.602	-	0.137	-	0.228	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	20.160	0.598	-	0.208	-	0.348	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	19.152	0.593	-	0.196	-	0.330	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-02, simulando una magnitud de Mw=7.5, de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 37: Determinación de licuabilidad del SPT - 2 simulado a  $M_w = 8.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONAA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 2								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 02	20.25 m.s.n.m.	Mw= 8.0	1-1.45	-	SP - SM	11.089	0.607	0.693	0.126	0.163	0.236	NO LICUABLE
			2-2.45		SP - SM	12.670	0.602	0.688	0.137	0.255	0.371	NO LICUABLE
			3-3.45		SP	20.160	0.598	0.682	0.208	0.386	0.565	NO LICUABLE
			4-4.45		SP	19.152	0.593	0.677	0.196	0.364	0.537	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-02, simulando una magnitud de  $M_w=8.0$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

SPT – 03

Tabla 38: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a  $M_w = 5.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 3									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 03	17.77 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 5.5	1.50-1.95	-	SP	7.056	0.605	0.359	0.099	0.197	0.549	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SP	15.477	0.600	0.356	0.160	0.457	1.284	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SP	26.663	0.595	0.353	0.336	0.957	2.711	NO LICUABLE	
			4.50-4.95		SP	31.703	0.591	0.350	0.615	1.755	5.012	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-03, simulando una magnitud de  $M_w=5.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 39: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a  $M_w = 6.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 3								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 03	17.77 m.s.n.m.	$M_w = 6.0$	1.50-1.95	-	SP	7.056	0.605	0.408	0.099	0.178	0.436	NO LICUABLE
			2.50-2.95		SP	15.477	0.600	0.405	0.160	0.413	1.021	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SP	26.663	0.595	0.402	0.336	0.866	2.155	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SP	31.703	0.591	0.399	0.615	1.589	3.985	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-03, simulando una magnitud de  $M_w=6.0$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 40: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a  $M_w= 6.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 3								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 03	17.77 m.s.n.m.	$M_w= 6.5$	1.50-1.95	-	SP	7.056	0.605	0.465	0.099	0.162	0.349	NO LICUABLE
			2.50-2.95		SP	15.477	0.600	0.461	0.160	0.377	0.817	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SP	26.663	0.595	0.458	0.336	0.790	1.726	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SP	31.703	0.591	0.454	0.615	1.449	3.191	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-03, simulando una magnitud de  $M_w=6.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 41: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a Mw= 7.0

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 3								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 03	17.77 m.s.n.m.	Mw= 7.0	1.50-1.95	-	SP	7.056	0.605	0.530	0.099	0.149	0.281	NO LICUABLE
			2.50-2.95		SP	15.477	0.600	0.526	0.160	0.346	0.659	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SP	26.663	0.595	0.522	0.336	0.726	1.391	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SP	31.703	0.591	0.518	0.615	1.331	2.571	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-03, simulando una magnitud de Mw=7.0, de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 42: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a  $M_w= 7.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 3								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 03	17.77 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 7.5	1.50-1.95	-	SP	7.056	0.605	-	0.099	-	0.163	NO LICUABLE
			2.50-2.95		SP	15.477	0.600	-	0.160	-	0.267	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SP	26.663	0.595	-	0.336	-	0.564	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SP	31.703	0.591	-	0.615	-	1.042	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-03, simulando una magnitud de  $M_w=7.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 43: Determinación de licuabilidad del SPT - 3 simulado a  $M_w= 8.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 3									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 03	17.77 m.s.n.m.	Mw= 8.0	1.50-1.95	-	SP	7.056	0.605	0.691	0.099	0.128	0.185	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SP	15.477	0.600	0.685	0.160	0.297	0.434	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SP	26.663	0.595	0.680	0.336	0.622	0.916	NO LICUABLE	
			4.50-4.95		SP	31.703	0.591	0.674	0.615	1.142	1.693	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-03, simulando una magnitud de  $M_w=8.0$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

SPT-04

Tabla 44: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 5.5

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 4								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 04	14.04 m.s.n.m.	Mw= 5.5	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.227	0.135	0.105	0.210	1.557	NO LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.678	0.286	0.170	0.153	0.438	2.582	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SC	50.910	0.327	0.194	1181.234	3369.159	17377.113	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SC-SM	56.007	0.357	0.212	113905.323	324884.817	1535178.787	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-04, simulando una magnitud de Mw=5.5, de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 45: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 6.0

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 4								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 04	14.04 m.s.n.m.	Mw= 6.0	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.227	0.153	0.105	0.190	1.237	LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.678	0.286	0.193	0.153	0.396	2.052	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SC	50.910	0.327	0.221	1181.234	3048.859	13813.813	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SC-SM	56.007	0.357	0.241	113905.323	293998.628	1220379.532	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-04, simulando una magnitud de Mw=6.0, del cual resultó un estrato LICUABLE.

Tabla 46: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a Mw= 6.5

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 4								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 04	14.04 m.s.n.m.	Mw= 6.5	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.227	0.175	0.105	0.173	0.991	LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.678	0.286	0.220	0.153	0.361	1.644	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SC	50.910	0.327	0.251	1181.234	2781.177	11062.377	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SC-SM	56.007	0.357	0.274	113905.323	268186.321	977304.296	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-04, simulando una magnitud de Mw=6.5, del cual resultó un estrato LICUABLE.

Tabla 47: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a  $M_w = 7.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 4								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 04	14.04 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 7.0	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.227	0.199	0.105	0.159	0.798	LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.678	0.286	0.251	0.153	0.332	1.324	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SC	50.910	0.327	0.287	1181.234	2554.346	8913.053	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SC-SM	56.007	0.357	0.313	113905.323	246313.193	787422.501	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-04, simulando una magnitud de  $M_w=7.0$ , del cual resultó un estrato LICUABLE.

Tabla 48: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a  $M_w = 7.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 4								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 04	14.04 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 7.5	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.227	-	0.105	-	0.462	LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.678	0.286	-	0.153	-	0.537	LICUABLE
			3.50-3.95		SC	50.910	0.327	-	1181.234	-	3612.284	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SC-SM	56.007	0.357	-	113905.323	-	319126.756	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-04, simulando una magnitud de  $M_w=7.5$ , del cual resultó dos estratos LICUABLES.

Tabla 49: Determinación de licuabilidad del SPT - 4 simulado a  $M_w = 8.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 4								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 04	14.04 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 8.0	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.227	0.259	0.105	0.136	0.526	LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.678	0.286	0.326	0.153	0.285	0.872	LICUABLE
			3.50-3.95		SC	50.910	0.327	0.373	1181.234	2191.316	5868.978	NO LICUABLE
			4.50-4.95		SC-SM	56.007	0.357	0.408	113905.323	211306.576	518494.104	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-04, simulando una magnitud de  $M_w=8.0$ , del cual resultó dos estratos LICUABLES.

SPT-05

Tabla 50: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a  $M_w = 5.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 5									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 05	13.05 m.s.n.m.	$M_w = 5.5$	1.50-1.95	-	SP	13.104	0.227	0.135	0.141	0.281	2.088	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SC	14.301	0.286	0.170	0.150	0.429	2.529	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SC	99.353	0.327	0.194	2.38E+71	6.25E+71	3.23E+72	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-05, simulando una magnitud de  $M_w = 5.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 51: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a Mw= 6.0

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 5									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 05	13.05 m.s.n.m.	Mw= 6.0	1.50-1.95	-	SP	13.104	0.227	0.153	0.141	0.254	1.660	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SC	14.301	0.286	0.193	0.150	0.388	2.011	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SC	99.353	0.327	0.221	2.38E+71	5.66E+71	2.56E+72	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-05, simulando una magnitud de Mw=6.0, de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 52: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a  $M_w=6.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 5									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 05	13.05 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 6.5	1.50-1.95	-	SP	13.104	0.227	0.175	0.141	0.232	1.329	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SC	14.301	0.286	0.220	0.150	0.354	1.610	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SC	99.353	0.327	0.251	2.38E+71	5.16E+71	2.05E+72	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-05, simulando una magnitud de  $M_w=6.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 53: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a  $M_w=7.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 5								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 05	13.05 m.s.n.m.	$M_w=7.0$	1.50-1.95	-	SP	13.104	0.227	0.199	0.141	0.213	1.071	LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.301	0.286	0.251	0.150	0.325	1.297	LICUABLE
			3.50-3.95		SC	99.353	0.327	0.287	2.38E+71	4.74E+71	1.65E+72	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-05, simulando una magnitud de  $M_w=7.0$ , del cual resultó dos estratos LICUABLES.

Tabla 54: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a  $M_w=7.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 5								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 05	13.05 m.s.n.m.	$M_w=7.5$	1.50-1.95	-	SP	13.104	0.227	-	0.141	-	0.620	LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.301	0.286	-	0.150	-	0.526	LICUABLE
			3.50-3.95		SC	99.353	0.327	-	2.38E+71	-	7.28E+71	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-05, simulando una magnitud de  $M_w=7.5$ , del cual resultó dos estratos LICUABLES.

Tabla 55: Determinación de licuabilidad del SPT - 5 simulado a Mw=8.0

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 5								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 05	13.05 m.s.n.m.	Mw= 8.0	1.50-1.95	-	SP	13.104	0.227	0.259	0.141	0.183	0.705	LICUABLE
			2.50-2.95		SC	14.301	0.286	0.326	0.150	0.279	0.854	LICUABLE
			3.50-3.95		SC	99.353	0.327	0.373	2.38E+71	4.07E+71	1.09E+72	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-05, simulando una magnitud de Mw=8.0, del cual resultó dos estratos LICUABLES.

SPT-06

Tabla 56: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=5.5

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)												
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE								
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE								
PERFORACION			:	SPT - 6								
FECHA			:	15/06/2018								
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS						
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO
SPT - 06	21.88 m.s.n.m.	Mw= 5.5	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.605	0.359	0.105	0.210	0.585	NO LICUABLE
			2.50-2.95		SP	6.048	0.600	0.356	0.092	0.263	0.740	NO LICUABLE
			3.50-3.95		SP	14.112	0.595	0.353	0.149	0.424	1.202	NO LICUABLE

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-06, simulando una magnitud de Mw=5.5, de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 57: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=6.0

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 6									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 06	21.88 m.s.n.m.	Mw= 6.0	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.605	0.408	0.105	0.190	0.465	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SP	6.048	0.600	0.405	0.092	0.238	0.588	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SP	14.112	0.595	0.402	0.149	0.384	0.956	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-06, simulando una magnitud de Mw=6.0, de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 58: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a  $M_w=6.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 6									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 06	21.88 m.s.n.m.	$M_w=6.5$	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.605	0.465	0.105	0.173	0.372	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SP	6.048	0.600	0.461	0.092	0.217	0.471	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SP	14.112	0.595	0.458	0.149	0.350	0.765	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-06, simulando una magnitud de  $M_w=6.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 59: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a Mw=7.0

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 6									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 06	21.88 m.s.n.m.	Mw= 7.0	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.605	0.530	0.105	0.159	0.300	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SP	6.048	0.600	0.526	0.092	0.200	0.380	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SP	14.112	0.595	0.522	0.149	0.322	0.617	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-06, simulando una magnitud de Mw=7.0, de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 60: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a  $M_w=7.5$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 6									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 06	21.88 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 7.5	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.605	-	0.105	-	0.174	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SP	6.048	0.600	-	0.092	-	0.154	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SP	14.112	0.595	-	0.149	-	0.250	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-06, simulando una magnitud de  $M_w=7.5$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

Tabla 61: Determinación de licuabilidad del SPT - 6 simulado a  $M_w=8.0$

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)													
PROYECTO			:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE									
UBICACION			:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE									
PERFORACION			:	SPT - 6									
FECHA			:	15/06/2018									
SPT	COTA	MAGNITUD	PERFORACIÓN			RESULTADOS							
			PROF	NIVEL FREÁT	ESTRATO	(N1)60CS	CSR 7.5	CSR corr	CRR 7.5	CRR cor	FS	ESTADO	
SPT - 06	21.88 m.s.n.m.	M <sub>w</sub> = 8.0	1.50-1.95	-	SP	8.064	0.605	0.691	0.105	0.136	0.197	NO LICUABLE	
			2.50-2.95		SP	6.048	0.600	0.685	0.092	0.171	0.250	NO LICUABLE	
			3.50-3.95		SP	14.112	0.595	0.680	0.149	0.276	0.406	NO LICUABLE	

Evaluación de licuefacción para el punto SPT-06, simulando una magnitud de  $M_w=8.0$ , de la cual resultaron como estratos NO LICUABLES.

### 3.1.6. ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Se estima el siguiente presupuesto, para una posible elaboración del estudio.

#### Bienes materiales

*Tabla 62: Bienes materiales*

Cantidad	Especie	Precio unitario	Precio total
1 millar	Papel bond	S/. 25,00	S/. 25,00
9 gal.	Gasolina	S/. 11.50	S/. 103.50
2 Pqt. Bolsas herméticas	Pqt x 100 unid	S/. 22.00	S/. 44.00
Total			S/. 172.50

#### Aparato y equipos

*Tabla 63: Aparato y equipos*

Servicio	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Trípode de carga	1	S/ 1000 por metro lineal de exploración	S/. 35 000
Motor	1		

NOTA: Se exploraron 7 puntos, cada punto se hincó hasta 5 metros.

#### Servicios

*Tabla 64: Servicios*

Servicios	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Asesor metodológico	1	S/. 100,00	S/. 500
Asesor especialista	1	S/. 200.00	S/ 1 000,00
Traslado de equipos, aparatos, instrumentos	Trípode de carga: 10 veces	S/. 100,00	S/. 1 000,00
Traslado de muestras	10 viajes	S/. 7,00	S/. 70,00
Servicios de seguridad	De equipos: 5 días	S/. 30,00	S/. 150,00
Impresiones	1000 hojas	S/. 0.10	S/. 1 000,00
Fotocopiado	1000 copias	S/. 0,05	S/. 1 000,00

Servicios	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Espiralado del proyecto de investigación	2 juegos	S/. 4,00	S/. 8,00
Técnico operador	1 técnico x 7 días	S/. 200.00 x día	S/. 1 400,00
Peón	1 Peón x 7 días	S/. 45.00 x día	S/. 315,00
Movilidad local	10 veces	S/. 10,00	S/. 100,00
Refrigerio	10 veces	S/. 9,00	S/. 90,00
Suscripción a página de investigación ASCE	1	S/. 268.10	S/. 268.10
Total			S/. 5,951.10

El presupuesto final:

**Tabla 65:** *Presupuesto final*

<b>TIPO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<i>Bienes Materiales</i>	S/. 172.50
<i>Aparatos y Equipos</i>	S/. 35,000.00
<i>Servicios</i>	S/. 5,951.10
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>S/. 41,123.60</b>

### 3.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### A. Realización el levantamiento topográfico del terreno obteniendo cotas reales del terreno

Es una representación del terreno ya sea esta representación horizontal y en alturas, de las cuales fueron basados en el manual de topografía - planimetría para tomar como guía referencia a los posteriores trabajos realizados, en tanto solo se majean conceptos de levantamiento basado en dos tipos la planimetría y la altimetría; del cual la planimetría es la representación horizontal de los datos del terreno que tiene por objeto determinar las dimensiones de este. Estudiándose los procedimientos para fijar los puntos proyectados en el plano horizontal, sin tomar en cuenta sus elevaciones, dicho de otra manera, se está representando el terreno visto desde arriba o de planta, mientras que para la altimetría tiene como objeto determinar la diferencia de alturas entre puntos situados en el terreno, ósea los puntos que ya se habían tomado para la zona de estudio, de esta manera poder obtener las cotas de los puntos de estudio para tener una mejor información y trabajo acertado sobre las cotas y la profundidad a sondear.



Zona de estudio con los puntos de exploración

## **B. Determinación las características hidrométricas del perfil estratigráfico**

### *GRANULOMETRÍA*

Consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de los suelos, de los cuales nos da conocimiento del tamaño de las partículas de suelo en mm, dando dentro de un rango entre 4.75 – 0.075 de los cuales provee la información para la clasificación de los suelos basados en este criterio granulométrico, también brinda conocimiento para la representación de la distribución de partículas por la forma de la curva, de ahí que nuestros estratos guiándonos por esta forma de representación nos da idea de suelos arenosos mal graduados (SP) ya que para éstas graficas se debe tener en cuenta el tamaño de las partículas menores o iguales al 60%, 30% y 10% dándonos idea de los coeficientes de curvatura y de uniformidad, de estos valores podemos tener en cuenta si son granos bien graduados o mal graduados.

### *CONTENIDO DE HUMEDAD*

En la norma técnica peruana NTP 339.127 “Método de ensayo para determinar el contenido de humedad”, en el capítulo 12 Precisión y exactitud, en el punto 12.1, con exactitud indica que no existe valor de referencia para este método de ensayo, por consiguiente los valores obtenidos de los ensayos son valores referenciales en porcentaje para ver que a pesar de ser arenas que al simple tacto parecían no tener humedad, los ensayos realizados demuestran lo contrario, pues presentan un porcentaje significativo de humedad natural.

### *LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO*

En la norma técnica peruana NTP 339.129 “Método de ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico, e índice de plasticidad de los suelos”, en el capítulo 11 Procedimiento (Limite liquido), en el punto 11.4, indica que luego de varias pruebas de contenido de humedad sucesivamente altas, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registra que el limite liquido no pudo determinarse y se reportara el suelo como no plástico sin realizar el ensayo de limite plástico, el cual nos sucedió en las muestras de los SPT 1, SPT2, SPT 3, SPT 6 los cuales se procedió a clasificarlos

como NP en todos sus estratos, mientras que en SPT 4y SPT 5 en algunos de sus estratos si presentaron limites.

En el punto 11.5 de la norma técnica indica que se debe registrar el número de golpes N necesarios para cerrar la ranura, para al menos realizar dos pruebas adicionales produciendo el número de golpes en un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes y otra para un cierre de 15 a 25 golpes, del cual en los SPT 4y SPT 5 realizando los tres ensayos sucesivamente se obtuvo para el cierre de la muestra, en el SPT 4 estrato M4 profundidad 2.25 – 3.00m se obtuvieron 15, 25 y 35 golpes sucesivamente mientras que en el estrato M5 profundidad 3.00 – 3.90m se obtuvieron 20, 26 y 30 golpes sucesivamente y el estrato M6 profundidad 3.90 – 5.00m se obtuvieron 22, 28 y 32 golpes sucesivamente

### **C. Identificación las características geotécnicas del perfil estratigráfico de la zona en estudio con el ensayo SPT**

En la norma americana ASTM D 2488 “Practica estándar para la descripción e identificación de suelos”, en el capítulo 1 Ámbito, en el punto 1.2, Esta práctica también describe un procedimiento para identificar los suelos, a elección del usuario, basado en el sistema de clasificación descrito en el Método. La identificación se basa en el examen visual y pruebas manuales. Debe indicarse claramente en los informes una identificación que se basa en procedimientos visual-manual. Realizándose a partir de datos de perforaciones, de datos de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran los suelos que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede reconstruir la estratigrafía del suelo, acorde con la profundidad que demando el proyecto teniendo en cuenta la estratigrafía observada, ensayos de laboratorio y de campo, esta se presenta con homogeneidad, constituida esencialmente por arenas mal graduadas de color beige claro y arcillas arcillosas de baja plasticidad color beige oscuro. La estratigrafía se describe de la siguiente manera: Para el apique SPT 1, hasta una profundidad de 5.00 metros, presenta una capa vegetal y/o relleno, a una profundidad de 0.90 metros, seguido por una arena limosa de baja plasticidad color beige oscuro, que según la clasificación unificada de los suelos se trata de un SM, hasta la profundidad de 1.50 metros, seguido por una arena de baja plasticidad color

beige claro, que según la clasificación unificada de los suelos se trata de un SP, hasta la profundidad de 1.90 metros, seguido por una arena de baja plasticidad color beige claro, que según la clasificación unificada de los suelos se trata de un SP, hasta la profundidad de 2.90 metros, mientras que para el resto de estratos por la clasificación unificada de los suelos nos da el mismo estrato una arena de baja plasticidad hasta la altura de 5.00 metros

#### **D. Diseño del mapeo de las capacidades portantes de la zona en estudio utilizando los datos del ensayo SPT**

Complementario a este estudio de licuefacción, se debe mencionar que la determinación de las capacidades portantes se ven influenciadas por los efectos del sismo, lo cual está en concordancia con lo mencionado en el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma E030 - Diseño Sismorresistente en su capítulo VII, Artículo 45. Capacidad Portante”.

Consideremos los efectos del sismo para determinar la debida capacidad portante en sitios donde se pueda producir licuación del suelo, la cual es necesaria para la decisión de la elección correcta de la debida cimentación para la capacidad portante respectiva a la cota requerida.

Con los datos obtenidos y analizados se determinó que los tipos de perfil de suelo corresponden a Suelos muy rígidos (S1), Suelos Intermedios (S2) y Suelos Blandos (S3), tal como se indica en la norma en el Capítulo II, Artículo 12. Condiciones Geotécnicas.

*Tabla 66: Tipos de perfiles de suelo*

<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO</b>			
Perfil	$V_s$	$N_{60}$	$S_u$
So	> 1500 mis	-	-
S1	500 mis a 1500 mis	> 50	>100 kPa
S2	180 mis a 500 m/s	15a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

Tabla 67: Profundidad y perfil de estratos

SPT	PROF. ESTRATO	(N1)60	PERFIL
1	1-1.45	18.144	S <sub>2</sub>
	2-2.45	11.088	S <sub>3</sub>
	3-3.45	24.192	S <sub>2</sub>
	4-4.45	14.112	S <sub>3</sub>
2	1-1.45	11.088	S <sub>3</sub>
	2-2.45	7.056	S <sub>3</sub>
	3-3.45	20.160	S <sub>2</sub>
	4-4.45	19.152	S <sub>2</sub>
3	1.50-1.95	7.056	S <sub>3</sub>
	2.50-2.95	10.080	S <sub>3</sub>
	3.50-3.95	26.208	S <sub>2</sub>
	4.50-4.95	31.248	S <sub>2</sub>
4	1.50-1.95	8.064	S <sub>3</sub>
	2.50-2.95	9.072	S <sub>3</sub>
	3.50-3.95	45.360	S <sub>2</sub>
	4.50-4.95	50.400	S <sub>1</sub>
5	1.50-1.95	13.104	S <sub>3</sub>
	2.50-2.95	9.072	S <sub>3</sub>
	3.50-3.95	93.744	S <sub>1</sub>
6	1.50-1.95	8.064	S <sub>3</sub>
	2.50-2.95	6.048	S <sub>3</sub>
	3.50-3.95	14.112	S <sub>3</sub>

Durante la realización del levantamiento topográfico se pudo realizar una observación visual de las condiciones de las viviendas de las zonas, de las cuales son autoconstruidas y de material adobe desde la cimentación, en su mayoría a una profundidad no muy considerada, y teniendo en cuenta que el material sobre el que se sostiene es arena la cual no posee una capacidad portante baja, como se evidencia en la siguiente figura.



*Figura 87: Cimentación hecha de adobe*

#### **E. Determinación el potencial de licuefacción de los suelos en la zona las Dunas de la ciudad de Lambayeque**

De los estudios realizados en la zona Las Dunas, se pudo evidenciar la presencia de arenas en su gran totalidad de extensión, la cual es una de las causales para la presencia de la licuefacción debido a la acción directa de una fuerza horizontal u ondas sísmicas, la cual provoca la pérdida de su firmeza por la presencia de poros contenidos en los estratos que lo conforman y con la ayuda de la presencia del nivel freático.

De los resultados obtenidos y los registros históricos de la ciudad de Lambayeque, se pudo determinar que la parte sureste que son las zonas con cota baja y en los cuales el nivel freático es casi superficial, son las zonas más vulnerables a que en ellas se presente el fenómeno de la Licuefacción.

#### **F. Estimación de costos para la implementación del proyecto**

De los resultados de los costos previstos del estudio, se determina que el costo total del estudio resultó ser de S/. 41 123.60 soles, para un estudio de determinación del potencial de Licuefacción aplicado a 7 puntos de exploración. Por lo que para este estudio se estima que por punto de exploración sale un costo de S/. 5 874.80 soles.

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- A) Con el levantamiento topográfico obtenido de la zona “Las Dunas”-Lambayeque, se obtuvieron cotas desde 13.05 m hasta la cota 21.88 m tratándose de un terreno muy accidentado.
- B) La zona “Las Dunas”-Lambayeque, según los estudios de suelos realizado en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la USS, presenta diversos tipos de suelos arenosos de los cuales en la cota menor (13.05) es suelo arenoso arcilloso con plasticidad, mientras que en las zonas intermedias y altas (cotas de 17.77 y 21.88 respectivamente) en su mayoría son suelos arenosos mal graduados, no plásticos.
- C) Se encontraron dos tipos de estratos, como son arena mal graduada (SP) en las zonas altas y arena arcillosa (SC) y arena arcillosa limosa (SC-SCM) en las zonas bajas.
- D) La zona “Las Dunas”-Lambayeque en su gran parte cuenta con arenas sueltas, sustentado en los ensayos de laboratorio; cuyo origen es producto del transporte del viento (dunas), constituyendo una zona de condiciones geotecnicas desfavorable con capacidades portantes de 0.5 kg/cm<sup>2</sup>, que puede generar el asentamiento de las cimentaciones de las viviendas.
- E) La zona ubicada al sureste de “Las Dunas”-Lambayeque, es la zona de licuefacción a partir de los Mw= 6.0 siendo incrementado el efecto a mayor magnitud.

- F) Mediante la cotización del ensayo SPT por punto explorado se obtuvo un monto de s/. 1000 por metro explorado, a 5 metros de profundidad se costea por S/. 5 000 soles, dando relevancia al aporte de la Universidad Señor de Sipán, nos aportó con el apoyo en la utilización del equipo SPT y minorizando costos.

## **RECOMENDACIONES**

- A) Para realizar estudios de licuefacción siempre es de prioridad realizar el trabajo de levantamiento topográfico.
- B) Se debe determinar previamente las características hidrométricas del suelo para facilitar la clasificación del mismo.
- C) Se recomienda hacer siempre un estudio de licuefacción en zonas con suelos granulares y con niveles freáticos altos, para conocer la reacción del suelo a ondas sísmicas de grado moderado y severo.
- D) Los estudios de licuefacción de suelos nivel de investigación, se deben realizar en el marco de convenios con la Universidad u otras instituciones que cuentan con Laboratorio de Mecánica de Suelos para que sean factibles los estudios.
- E) Se recomienda hacer siempre un estudio de licuefacción en zonas con suelos granulares y con niveles freáticos altos, para conocer la reacción del suelo a ondas sísmicas de grado moderado y severo.
- F) Se debe analizar los costos de realización del trabajo para poder conocer costo real de la inversión hecha por los autores de este estudio de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, J. y Parra, D. (1991). “Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos en Chimbote, Perú”, *Ponencia presentada en el IX Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones* realizado en Viña del Mar, Chile en 1991.
- Alva, J. (2013). *Licuación de suelos*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/ReivaxEptisa/licuacion-de-suelos>.
- Alva, J. (2002). *Dinámica de suelos*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/353331441/Dinamica-de-Suelos-Alva>.
- Arciniega, J, Ávila, A., Guarucano, J., Machado, O., Raffé, J. y Rodríguez, P. (2014). *Ensayos*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/JosephAnyeloBoscanPuerta/presentacion-ensayo-para-suelos>
- Ayala, R. (2010). *Evaluación del potencial de licuación de suelos en la ciudad de Tambo de Mora*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- Ayuso, J. et al. (2010). *Cimentaciones y Estructuras de Contención de Tierras*. Madrid, España: Bellisco.
- Badillo, R. (2011) *Mecánica de suelos*. México. Editorial Limusa.

- Barrenechea, B. y Rojas, T. (2017). *Potencial de licuefacción en el distrito de San José*, (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.
- Benites, I. y Vílchez, J. (2017). *Potencial de licuefacción en el distrito de Santa Rosa*, (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.
- Braja M. (2001) *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*, Editorial Thomson Learning.
- Camargo, D. y Zapata, N. (2017). *Evaluación de la reducción del potencial de licuefacción usando la metodología de análisis de Seed & Idriss sobre ensayos de spt realizados en el suelo arenoso del proyecto outlet premium Lurín mejorado con pilas de grava compactada* (Tesis de pregrado). Universidad Pontificia Católica del Perú.
- Campos, D. (2011). *Estudio de la variabilidad del suelo de Piura a través del spt para la valoración del F.S*, (Tesis de pregrado), Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Carreto, J. (s.f.). *Planeación estratégica*. Recuperado de <http://planeacion-estrategica.blogspot.pe/2008/07/qu-es-estrategia.html>
- Castañeda, D, y Romero, J. (2016). *Evaluación del potencial de licuación por medio del ensayo triaxial cíclico de un suelo en la sabana de Bogotá* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Colombia.
- DeConceptos.com (s.f.). *Concepto de Potencial*. Recuperado de <https://deconceptos.com/ciencias-naturales/potencial>
- Delgado, M. (2013). *Ingeniería de Fundaciones*. Sexta reimpresión. Bogotá, Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- EFEverde. (2014) *Madrid, España. Japón, los terremotos, las industrias y la licuefacción*. Recuperado de <http://www.efeverde.com/noticias/japon-los-terremotos-las-industrias-y-la-licuefaccion/>
- eGeotec (2015) Chile, *Fenómeno de Licuación de Suelos*. Recuperado de <http://e-geotec.blogspot.pe/2015/06/fenomeno-de-licuacion-de-suelos.html>.

- García, J (2007). *Análisis comparativo del fenómeno de licuación en arenas. Aplicación a Tumaco (Colombia)*. (Tesis de posgrado). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Gómez, N. (2016). *El problema de licuefacción en suelos*. Ingenieros Siglo XXI. Recuperado de <http://revista.ingenierosigloxxi.com/>.
- Gonzales, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España. Editorial Pearson educación.
- Gonzales, J. (2015). *Estudio del fenómeno de licuefacción en Chile para el terremoto del Maule, 2010*. (Tesis de postgrado). Universidad de Chile, Chile.
- Henríquez, C. (2007) *Mejora de Terrenos Potencialmente Licuables con Inyecciones de Compactación* (España). (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.
- Hernández, R. et al. (2010). *Metodología de la Investigación*. Quinta edición. México.
- Huidobro, L (2015) *Determinación del Potencial de Licuación de Suelos en el casco urbano de la ciudad de Pícsi. (Perú)* (Tesis Pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- INDECI (2003). *Mapa de Peligros de la Ciudad de Lambayeque*. Recuperado de [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_lambayeque/lambayeque/lambayeque\\_mp.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_lambayeque/lambayeque/lambayeque_mp.pdf)
- José, A. (s.f). *Proceso de Licuefacción de Suelo*. (Catedra de Geotecnia III). Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Laboratorio de Viña del Mar (s.f), *¿Qué es SPT?* Chile. Recuperado de [www.sptlvm.cl](http://www.sptlvm.cl)
- López, J y Losmoschitz, A. (4º Ed.). (2013). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*. Málaga, España. Editorial El Duende.
- Lindao, J., y Polonio, L. (2014). *Evaluación del potencial de licuefacción de suelos en la zona de Chipipe del cantón Salinas*. (Tesis de pregrado). Universidad Estatal península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador.

- Mussio, V. (2012). *Potencial de Licuación mediante el método de Microtremores en La Colonia Solidaridad Social, Mexicali*. (Tesis de Posgrado), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Ordóñez, J. (2017) *Evaluación del Potencial de Licuación de suelos en Tarqui, Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Ecuador.
- Pando, Miguel., Olgun, C., y James R. (2001). "Liquefaction Potential of Railway Embankments". Recuperado de <http://scholarsmine.mst.edu/icrageesd/04icrageesd/session02/16>
- Pérez, J. (2008). *Que significa Licuación*. Recuperado de <https://definicion.de/licuacion/>
- Rodas, E. (2011). *Susceptibilidad a la licuefacción por medio del sondeo de penetración estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala*. (Tesis de Posgrado), Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- RSN UCR-ICE (2014). *¿Qué es la licuefacción de suelos?* Recuperado de <http://www.rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/571-licuacion-de-suelos-durante-terremotos>
- Sánchez, L. (s.f.). *Estimar los costos*. Recuperado de <https://capitulo7pmbok.wordpress.com/gestion-de-los-costos-del-proyecto/>
- Serrano, C. (2014). *Efectos de la Licuefacción en Puentes Fundados en pilotes*, (Tesis de Posgrado), Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Silva, R. (2000). *Mapa de Licuación de Suelos de la ciudad de Chimbote*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería.

Universidad Católica de Valparaíso (s.f.). 3.2 *Ensayo de Corte Directo*. Recuperado de

[http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/cortedirecto.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/cortedirecto.pdf)

Valverde, I., Chacón, J., Valverde, I., Irigaray, C. (2012) “*Susceptibilidad a la Licuefacción en La Vega de Granada*”. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/237051285\\_SUSCEPTIBILIDAD\\_A\\_LICUEFACCION\\_EN\\_LA\\_VEGA\\_DE\\_GRANADA\\_ESPANA](https://www.researchgate.net/publication/237051285_SUSCEPTIBILIDAD_A_LICUEFACCION_EN_LA_VEGA_DE_GRANADA_ESPANA).

Youd e Idriss (2001). *Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 nceer and 1998 nceer/nsf workshops on evaluation of liquefaction resistance of soil*. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. Vol. 127 N°102. pp. 296 – 300.

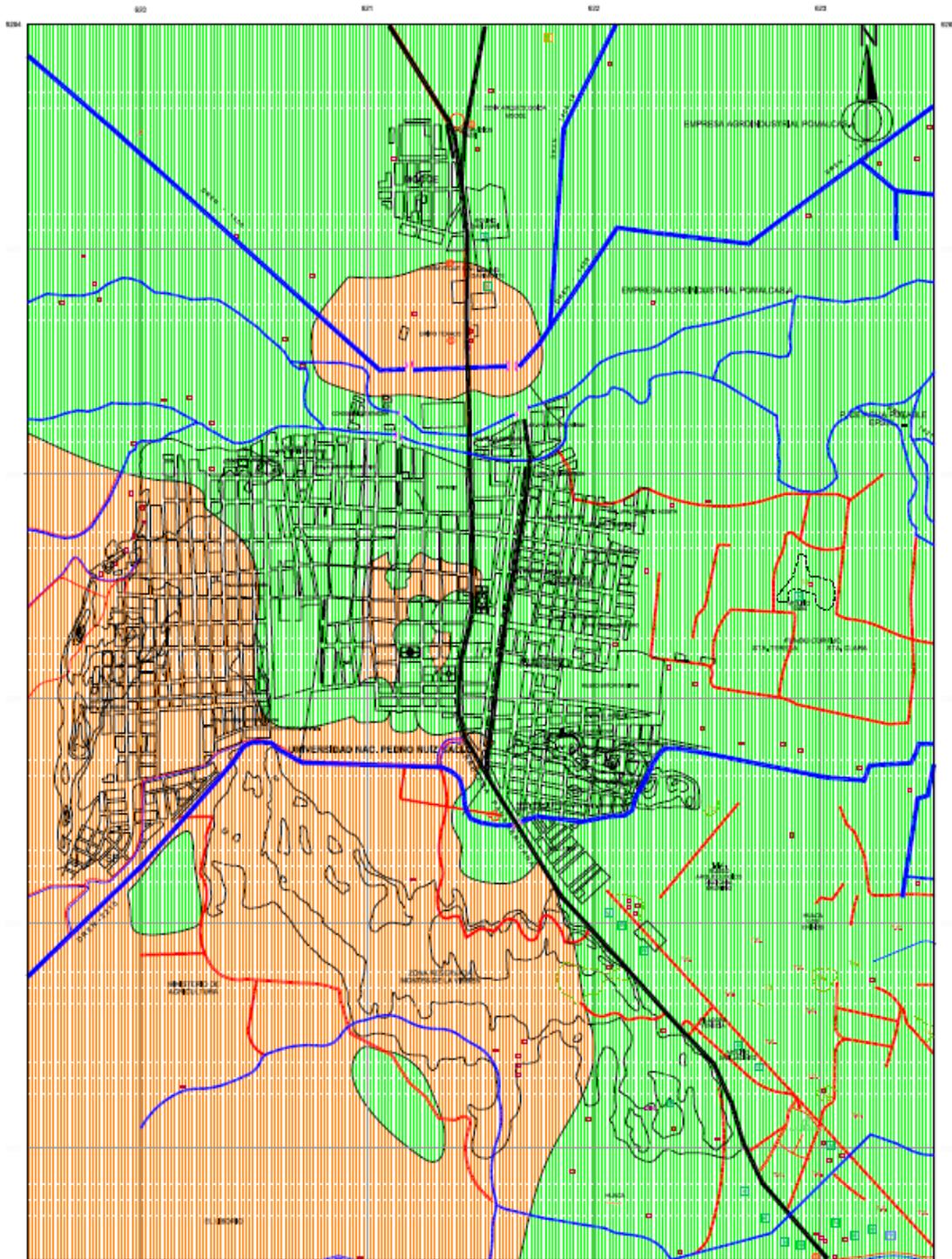
## ANEXOS



*Anexo 1: Delimitación de zona de estudio*



# LAMBAYEQUE



LEYENDA		
SIMBOLO	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCION
	SP	Suelos Licuables.
	SC, SM, SM/SC CL, ML, CH, MH	Suelos No Licuables



INDECI - PNUD - PER / 02 / 051	
<b>CIUDADES SOSTENIBLES</b>	
MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE LAMBAYEQUE	
MAPA PELIGROS GEOLOGICOS: SUELOS LICUABLES	
FECHA:	LS-1

Anexo 2: Mapa de Peligros ciudad de Lambayeque



Anexo 3: Puntos de Investigación

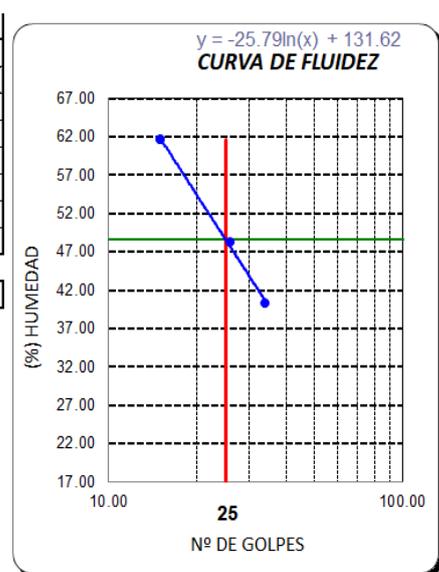
COTA	PROFUNDIDAD (m)	NUMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SIMBOLO	OBSERVACIONES		
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				100	
															SC	
															SM	
															CL	
															CL	
Observaciones :																

Anexo 4: Formato para ensayo SPT Y perfil estratigráfico

<b>U.S.S.</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y URBANISMO</b> <b>LAB, MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>		
<b>Proyecto:</b> <i>Determinación del potencial de licuefacción de suelos en la zona las Dunas, Lambayeque</i>			
<b>Responsables:</b> <i>Bach. Quintana Jaramillo, Francis Joel</i> <i>Reyes Reátegui, Cristian</i> <i>Bach. Guillermo</i>			
<b>Ensayo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;">CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD:</div> <div style="width: 35%;">Norma: ASTM D 2216</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;">LÍMITE DE CONTRACCIÓN:</div> <div style="width: 35%;">Norma: ASTM D 427</div> </div>			
<b>CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD:</b>			
<b>Observaciones:</b>		Ubicación:	Ubicación:
		Estrato:	Estrato:
<b>Tara Número</b>	<b>Unidades</b>		
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr		
Peso Tara + Muestra Seca	Gr		
Peso de la Tara	Gr		
Peso de la Muestra Seca	Gr		
Peso del Agua	Gr		
Contenido de Humedad	%		

Anexo 5: Formato para ensayo de contenido de humedad

Datos de ensayo.	Límite líquido	Límite Plástico
N° de tarro		
N° de golpes		<del>  </del> <del>  </del>
Tarro + suelo húmedo		
Tarro + suelo seco		
Agua	▶	
Peso del tarro		
Peso del suelo seco	▶	
Porcentaje de humedad		▶
CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA		Colocar "X", a suelo no Plast
Límite Líquido		
Límite Plástico		
Índice de Plasticidad		



Anexo 6: Formato para Límites de Atterberg

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas :

Tesis :

Ubicación :

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR:

Calicata: C-1

Muestra: M-1

Profundidad:

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000						PESO TOTAL : g.
2 1/2"	63.000						PESO LAVADO : g.
2"	50.000						PESO FINO : g.
1 1/2"	37.500						LIMITE LIQUIDO : %
1"	25.000						LIMITE PLASTICO : %
3/4"	19.000						INDICE PLASTICIDAD : %
3/8"	9.500						CLASF. AASHTO :
Nº4	4.750						CLASF. SUCS :
Nº10	2.000						DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850						<b>#¡DIV/0!</b>
N40	0.425						Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250						P.S.Seco P.S.Lav (%) 200
Nº140	0.106						0 0 0.0
Nº200	0.075						% HUMEDAD
< Nº 200	FONDO						P.S.H P.S.S. (%) Hum.
							MODULO DE FINEZA
							Coef. Uniformidad
							Coef. Curvatura

Anexo 7: Formato para ensayo de Granulometría

**SPT-1**

**ESTRATO 1 - ALTURA: 0.30 – 0.90**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
 Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258446.586 - E 619423.016 - Z 16.951**

Perforacion: SPT-1                      Muestra: M-1                      Profundidad: 0.30m - 0.90m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 195.4 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 185.6 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 9.50 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.11	0.1	0.1	99.9		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.25	0.1	0.2	99.8		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.20	0.1	0.3	99.7		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	2.10	1.1	1.4	98.6		P.S.Seco 195    P.S.Lav 186    (%) 200 5.0
Nº140	0.106	157.34	80.5	81.9	18.1		% HUMEDAD
Nº200	0.075	25.85	13.2	95.1	4.9		P.S.H 0    P.S.S. 0.00    (%) Hum. 25.85
< Nº 200	FONDO	9.50	4.9	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.839
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 1.0

Anexo 8: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 1.1

**ESTRATO 1 - ALTURA: 0.90 – 1.50**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
 Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258446.586 - E 619423.016 - Z 16.951**

Perforacion: SPT-1                      Muestra: M-1                      Profundidad: 0.90m - 1.50m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 262.5 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 252.9 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 12.96 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.23	0.1	0.1	99.9		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.27	0.1	0.2	99.8		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	2.78	1.1	1.3	98.7		P.S.Seco 263 P.S.Lav 253 (%) 200 3.7
Nº140	0.106	183.45	69.9	71.2	28.8		% HUMEDAD
Nº200	0.075	62.81	23.9	95.1	4.9		P.S.H 11 P.S.S. 62.81 (%) Hum. 12.96
< Nº 200	FONDO	12.96	4.9	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.728
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 0.9

Anexo 9: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 1.2

**ESTRATO 1 - ALTURA: 1.50 – 1.90**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel

Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258446.586 - E 619423.016 - Z 16.951**

Perforación: SPT-1

Muestra: M-1

Profundidad: 1.50m - 1.90m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 180.8 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 128.6 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 5.30 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)	
Nº4	4.750	0.15	0.1	0.1	99.9		CLASF. SUCS : SP	
Nº10	2.000	0.12	0.1	0.2	99.8		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.27	0.1	0.3	99.7		<b>Arena pobremente graduada</b>	
N40	0.425	0.31	0.2	0.5	99.5	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco   P.S.Lav   (%) 200	
Nº60	0.250	4.42	2.4	2.9	97.1		181   129   28.9	
Nº140	0.106	105.00	58.1	61.0	39.0	% HUMEDAD	P.S.H   P.S.S.   (%) Hum.	
Nº200	0.075	65.23	36.1	97.1	2.9		41   36.00   87.29/100	
< Nº 200	FONDO	5.30	2.9	100.0	0.0	MODULO DE FINEZA	0.650	
							Coef. Uniformidad	1.8
							Coef. Curvatura	0.8

Anexo 10: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 1.3

**ESTRATO 2 - ALTURA: 1.90 – 2.90**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel

Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis

: **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación

: Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción

:

ENSAYO

: SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA

N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258446.586 - E 619423.016 - Z 16.951**

Perforacion: SPT-1

Muestra: M-2

Profundidad: 1.90m - 2.90m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 197.7 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 187.5 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 6.99 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP	
Nº10	2.000	0.36	0.2	0.2	99.8		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.37	0.2	0.4	99.6		<b>Arena pobremente graduada</b>	
N40	0.425	0.85	0.4	0.8	99.2		Ensayo Malla Nº200	
Nº60	0.250	39.61	20.0	20.8	79.2		P.S.Seco P.S.Lav (%) 200	
Nº140	0.106	133.88	67.7	88.5	11.5		198 188 5.1	
Nº200	0.075	15.62	7.9	96.4	3.6		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum.	
< Nº 200	FONDO	6.99	3.5	99.9	0.1		11 11.02 50.836/11	
							MODULO DE FINEZA	1.107
							Coef. Uniformidad	2.0
							Coef. Curvatura	0.9

Anexo 11: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 2

**ESTRATO 3 - ALTURA: 2.90 – 3.70**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación :  
Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258446.586 - E 619423.016 - Z 16.951**

Perforacion: SPT-1                      Muestra: M-3                      Profundidad: 2.90m - 3.70m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 142.5 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 136.3 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 6.51 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.17	0.1	0.1	99.9		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.16	0.1	0.2	99.8		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.22	0.2	0.4	99.6		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	0.58	0.4	0.8	99.2		P.S.Seco    P.S.Lav    (%) 200
Nº140	0.106	111.29	78.1	78.9	21.1		% HUMEDAD    P.S.H    P.S.S.    (%) Hum.
Nº200	0.075	23.57	16.5	95.4	4.6		0    0.00    100/0
< Nº 200	FONDO	6.51	4.6	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA    0.804
							Coef. Uniformidad    1.9
							Coef. Curvatura    1.0

Anexo 12: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 3

**ESTRATO 4 - ALTURA: 3.70 – 5.00**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258446.586 - E 619423.016 - Z 16.951**

**Perforacion: SPT-1                      Muestra: M-4                      Profundidad: 3.70m - 5.00m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 147.0 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 126.4 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 6.99 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)	
Nº4	4.750	0.45	0.3	0.3	99.7		CLASF. SUCS : SP	
Nº10	2.000	0.50	0.3	0.6	99.4		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.80	0.5	1.1	98.9		<b>Arena pobremente graduada</b>	
N40	0.425	0.83	0.6	1.7	98.3	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco P.S.Lav (%) 200	
Nº60	0.250	5.23	3.6	5.3	94.7		147 126 14.0	
Nº140	0.106	91.43	62.2	67.5	32.5	% HUMEDAD	P.S.H P.S.S. (%) Hum.	
Nº200	0.075	40.77	27.7	95.2	4.8		0 0.00 100.00	
< Nº 200	FONDO	6.99	4.8	100.0	0.0	MODULO DE FINEZA	0.765	
							Coef. Uniformidad	1.9
							Coef. Curvatura	0.9

Anexo 13: Resultado de granulometría SPT 1- estrato 4

**SPT-2**

**ESTRATO 1 - ALTURA: 0.50 – 1.00**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN							
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel							
Tesis		: Quintana Jaramillo, Francis Joel Reyes Reátegui, Cristian Guillermo					
Tesis		: <b>DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017</b>					
Ubicación		: Lambayeque - Las dunas					
Fecha de recepción		:					
ENSAYO		: SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico					
NORMA DE REFERENCIA		N.T.P. 399.128 : 1999					
UTM UPS WGS84 18M SUR: <b>N 9258451.782 - E 619625.371 - Z 20.253</b>							
Perforacion: SPT: 2		Muestra: M-1			Profundidad: 0.50m - 1.00m		
TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 493.8 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 481.3 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 22.73 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.20	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.29	0.1	0.1	99.9		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.61	0.1	0.2	99.8		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	154.00	31.2	31.4	68.6		P.S.Seco 494 P.S.Lav 481 (%) 200 2.5
Nº140	0.106	275.75	55.8	87.2	12.8		% HUMEDAD
Nº200	0.075	40.22	8.1	95.3	4.7		P.S.H 0.00 P.S.S. 0.00 (%) Hum. 0.00
< Nº 200	FONDO	22.73	4.6	99.9	0.1		MODULO DE FINEZA 1.189
							Coef. Uniformidad 2.3
							Coef. Curvatura 0.9

Anexo 14: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 1

**ESTRATO 2 - ALTURA: 1.00 – 1.60**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258451.782 - E 619625.371 - Z 20.253**

Perforacion: **SPT: 2**                      Muestra: **M-2**                      Profundidad: **1.00m - 1.60m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 184.6 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 178.1 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 8.83 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP-SM
Nº10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.07	0.0	0.0	100.0		<b>Arena pobremente graduada con limo</b>
N40	0.425	0.07	0.0	0.0	100.0		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	1.19	0.6	0.6	99.4		P.S.Seco 185 P.S.Lav 178 (%) 200 3.5
Nº140	0.106	119.51	64.7	65.3	34.7		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum.
Nº200	0.075	54.91	29.7	95.0	5.0		0.00 0.00 0.00/0.00
< Nº 200	FONDO	8.83	4.8	99.8	0.2		MODULO DE FINEZA 0.659
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 0.9

Anexo 15: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 2.1

**ESTRATO 2 - ALTURA: 1.60 – 2.50**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258451.782 - E 619625.371 - Z 20.253**

Perforacion: SPT: 2                      Muestra: M-2                      Profundidad: 1.60m - 2.50m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 137.6 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 100.0 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 7.20 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.13	0.1	0.1	99.9		CLASF. SUCS : SP-SM
Nº10	2.000	0.10	0.1	0.2	99.8		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.40	0.3	0.5	99.5		<b>Arena pobremente graduada con limo</b>
N40	0.425	0.55	0.4	0.9	99.1		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	2.40	1.7	2.6	97.4		P.S.Seco 138 P.S.Lav 100 (%) 200 27.3
Nº140	0.106	88.75	64.5	67.1	32.9		% HUMEDAD
Nº200	0.075	38.06	27.7	94.8	5.2		P.S.H 0 P.S.S. 0.00 (%) Hum. 0.00%
< Nº 200	FONDO	7.20	5.2	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.714
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 0.9

Anexo 16: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 2.2

**ESTRATO 2 - ALTURA: 2.50 – 2.70**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258451.782 - E 619625.371 - Z 20.253**

Perforacion: SPT: 2                      Muestra: M-2                      Profundidad: 2.50m - 2.70m

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)							
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 291.3 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 238.6 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 31.95 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : 19.6 %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : 17.71 %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : 1.91 %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-2-4 (0)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP-SM	
Nº10	2.000	0.67	0.2	0.2	99.8		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	1.25	0.4	0.6	99.4		<b>Arena pobremente graduada con limo</b>	
N40	0.425	1.89	0.6	1.2	98.8		Ensayo Malla Nº200	
Nº60	0.250	8.88	3.0	4.2	95.8		P.S.Seco    P.S.Lav    (%) 200	
Nº140	0.106	165.85	56.9	61.1	38.9		291        239        18.1	
Nº200	0.075	80.81	27.7	88.8	11.2		% HUMEDAD    P.S.H    P.S.S.    (%) Hum.	
< Nº 200	FONDO	31.95	11.0	99.8	0.2		0        0.00    0.00/0.00	
							MODULO DE FINEZA	0.673
							Coef. Uniformidad	1.5
							Coef. Curvatura	0.6

Anexo 17: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 2.3

**ESTRATO 3 - ALTURA: 2.70 – 3.90**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258451.782 - E 619625.371 - Z 20.253**

Perforacion: SPT: 2

Muestra: M-3

Profundidad: 2.70m - 3.90m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 170.2 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 156.1 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 6.11 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.62	0.4	0.4	99.6		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.27	0.2	0.6	99.4		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.23	0.1	0.7	99.3		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.80	0.5	1.2	98.8		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	4.29	2.5	3.7	96.3		P.S.Seco 170 P.S.Lav 156 (%) 200 8.2
Nº140	0.106	132.98	78.1	81.8	18.2		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum. 0 0.00 30.00
Nº200	0.075	24.92	14.6	96.4	3.6		
< Nº 200	FONDO	6.11	3.6	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.884
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 1.0

Anexo 187: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 3

**ESTRATO 4 - ALTURA: 3.90 – 5.00**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258451.782 - E 619625.371 - Z 20.253**

Perforacion: **SPT: 2**                      Muestra: **M-4**                      Profundidad: **3.90m - 5.00m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 163.8 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 161.0 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 7.31 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP	
Nº10	2.000	0.22	0.1	0.1	99.9		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.22	0.1	0.2	99.8		<b>Arena pobremente graduada</b>	
N40	0.425	0.59	0.4	0.6	99.4		Ensayo Malla Nº200	
Nº60	0.250	13.35	8.2	8.8	91.2		P.S.Seco    P.S.Lav    (%) 200	
Nº140	0.106	126.17	77.0	85.8	14.2		164    161    1.7	
Nº200	0.075	15.91	9.7	95.5	4.5		% HUMEDAD    P.S.H    P.S.S.    (%) Hum.	
< Nº 200	FONDO	7.31	4.5	100.0	0.0		0    0.00    0.00/0	
							MODULO DE FINEZA	0.955
							Coef. Uniformidad	1.9
							Coef. Curvatura	1.0

Anexo 19: Resultado de granulometría SPT 2- estrato 4

**SPT-3**

**ESTRATO 1 - ALTURA: 0.50 – 0.90**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
 Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258109.420 - E 619533.307 - Z 17.767**

Perforacion: SPT - 3                      Muestra: M-1                      Profundidad: 0.50m - 0.90m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 300.0 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 262.9 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 10.81 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.04	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.02	0.0	0.0	100.0		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.16	0.1	0.1	99.9		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	10.26	3.4	3.5	96.5		P.S.Seco 300 P.S.Lav 263 (%) 200 12.4
Nº140	0.106	184.43	61.5	65.0	35.0		% HUMEDAD P.S.H 0 P.S.S. 0.00 (%) Hum. 0.00
Nº200	0.075	94.29	31.4	96.4	3.6		
< Nº 200	FONDO	10.81	3.6	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.686
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 0.8

Anexo 20: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 1.1

**ESTRATO 1 - ALTURA: 0.90 – 1.50**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258109.420 - E 619533.307 - Z 17.767**

**Perforacion: SPT - 3                      Muestra: M-1                      Profundidad: 0.90m - 1.50m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA			
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA					
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 297.0 g.			
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 267.9 g.			
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 12.92 g.			
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %			
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %			
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P %			
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)			
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP			
Nº10	2.000	0.05	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO : <b>Arena pobremente graduada</b>			
Nº20	0.850	0.01	0.0	0.0	100.0					
N40	0.425	0.08	0.0	0.0	100.0	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco 297	P.S.Lav 268	(%) 200 9.8	
Nº60	0.250	12.96	4.4	4.4	95.6		% HUMEDAD	P.S.H	P.S.S.	(%) Hum.
Nº140	0.106	190.48	64.1	68.5	31.5			0	0.00	0.00
Nº200	0.075	80.51	27.1	95.6	4.4					
< Nº 200	FONDO	12.92	4.4	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA	0.729		
							Coef. Uniformidad	1.9		
							Coef. Curvatura	0.9		

Anexo 21: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 1.2

**ESTRATO 2 - ALTURA: 1.50 – 1.90**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258109.420 - E 619533.307 - Z 17.767**

Perforacion: SPT - 3

Muestra: M-2

Profundidad: 1.50m - 1.90m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 266.2 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 234.6 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 11.18 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.53	0.2	0.2	99.8		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.02	0.0	0.2	99.8		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.02	0.0	0.2	99.8		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.06	0.0	0.2	99.8		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	14.14	5.3	5.5	94.5		P.S.Seco 266 P.S.Lav 235 (%) 200 11.9
Nº140	0.106	153.44	57.6	63.1	36.9		% HUMEDAD P.S.H 0 P.S.S. 0.00 (%) Hum. 11.18
Nº200	0.075	86.85	32.6	95.7	4.3		
< Nº 200	FONDO	11.18	4.2	99.9	0.1		MODULO DE FINEZA 0.694
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 0.8

Anexo 21: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 2.1

**ESTRATO 2 - ALTURA: 1.90 – 2.90**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel

Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258109.420 - E 619533.307 - Z 17.767**

Perforacion. SPT - 3

Muestra: M-2

Profundidad: 1.90m - 2.90m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 187.2 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 139.6 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 57.87 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-2-4 (0)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SM	
Nº10	2.000	0.22	0.1	0.1	99.9		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.06	0.0	0.1	99.9		<b>Arena limosa</b>	
N40	0.425	0.03	0.0	0.1	99.9	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco P.S.Lav (%) 200	
Nº60	0.250	4.61	2.5	2.6	97.4		187 140 25.5	
Nº140	0.106	78.54	42.0	44.6	55.4	% HUMEDAD	P.S.H P.S.S. (%) Hum.	
Nº200	0.075	45.89	24.5	69.1	30.9		0 0.00 0.00/0.0	
< Nº 200	FONDO	57.87	30.9	100.0	0.0	MODULO DE FINEZA	0.475	
							Coef. Uniformidad	0.3
							Coef. Curvatura	0.1

Anexo 22: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 2.2

**ESTRATO 3 - ALTURA: 2.90 – 3.70**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258109.420 - E 619533.307 - Z 17.767**

Perforacion: SPT - 3                      Muestra: M-3                      Profundidad: 2.90m - 3.70m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 286.8 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 258.0 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 17.22 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP-SM
Nº10	2.000	0.08	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.48	0.2	0.2	99.8		<b>Arena pobremente graduada con limo</b>
N40	0.425	0.20	0.1	0.3	99.7	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco 287
Nº60	0.250	17.92	6.2	6.5	93.5		P.S.Lav 258
Nº140	0.106	180.88	63.1	69.6	30.4	% HUMEDAD	(%) 200 10.0
Nº200	0.075	70.00	24.4	94.0	6.0		P.S.H 0
< Nº 200	FONDO	17.22	6.0	100.0	0.0	MODULO DE FINEZA	P.S.S. 0.00
							(%) Hum. 0.00
						Coef. Uniformidad	0.766
						Coef. Curvatura	2.0
							0.9

Anexo 23: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 3

**ESTRATO 4 - ALTURA: 3.70 – 5.00**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258109.420 - E 619533.307 - Z 17.767**

Perforacion: SPT - 3                      Muestra: M-4                      Profundidad: 3.70m - 5.00m

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)						
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 288.0 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 237.1 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 23.89 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP-SM
Nº10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.03	0.0	0.0	100.0		<b>Arena pobremente graduada con limo</b>
N40	0.425	1.22	0.4	0.4	99.6		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	30.61	10.6	11.0	89.0		P.S.Seco 288 P.S.Lav 237 (%) 200 17.7
Nº140	0.106	144.85	50.3	61.3	38.7		% HUMEDAD
Nº200	0.075	87.44	30.4	91.7	8.3		P.S.H 0 P.S.S. 0.00 (%) Hum. 5.00%
< Nº 200	FONDO	23.89	8.3	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.727
							Coef. Uniformidad 2.0
							Coef. Curvatura 0.8

Anexo 24: Resultado de granulometría SPT 3- estrato 4

**SPT-4**

**ESTRATO 1 - ALTURA: 0.30 – 1.50**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
 Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258229.382 - E 619628.329 - Z 14.043**

Perforacion: SPT - 4                      Muestra: M-1                      Profundidad: 0.30m - 1.50m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 358.9 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 343.0 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 9.34 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP	
Nº10	2.000	10.14	2.8	2.8	97.2		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	56.50	15.7	18.5	81.5		<b>Arena pobremente graduada</b>	
N40	0.425	11.01	3.1	21.6	78.4		Ensayo Malla Nº200	
Nº60	0.250	5.01	1.4	23.0	77.0		P.S.Seco P.S.Lav (%) 200	
Nº140	0.106	189.80	52.9	75.9	24.1		359 343 4.4	
Nº200	0.075	77.12	21.5	97.4	2.6		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum.	
< Nº 200	FONDO	9.34	2.6	100.0	0.0		0 0.00 0.00/0.0	
							MODULO DE FINEZA	1.418
							Coef. Uniformidad	2.2
							Coef. Curvatura	0.8

Anexo 25: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 1.1

**ESTRATO 1 - ALTURA: 1.50 – 1.95**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258229.382 - E 619628.329 - Z 14.043**

Perforacion: SPT - 4                      Muestra: M-1                      Profundidad: 1.50m - 1.95m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 215.2 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 182.9 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 8.14 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP	
Nº10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.04	0.0	0.0	100.0		<b>Arena pobremente graduada</b>	
N40	0.425	0.04	0.0	0.0	100.0	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco    P.S.Lav    (%) 200	
Nº60	0.250	2.71	1.3	1.3	98.7		215    183    15.0	
Nº140	0.106	115.28	53.6	54.9	45.1	% HUMEDAD	P.S.H    P.S.S.    (%) Hum.	
Nº200	0.075	88.96	41.3	96.2	3.8		0    0.00    0.00/100	
< Nº 200	FONDO	8.14	3.8	100.0	0.0	MODULO DE FINEZA	0.562	
							Coef. Uniformidad	1.7
							Coef. Curvatura	0.8

Anexo 26: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 1.2

**ESTRATO 2 - ALTURA: 1.95 – 2.25**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258229.382 - E 619628.329 - Z 14.043**

**Perforacion: SPT - 4                      Muestra: M-2                      Profundidad: 1.95m - 2.25m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 177.3 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 169.9 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 17.70 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : 32.2 %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : 20.90 %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : 11.27 %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-2-6 (0)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP-SC	
Nº10	2.000	0.50	0.3	0.3	99.7		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.56	0.3	0.6	99.4		<b>Arena pobremente graduada con arcilla</b>	
N40	0.425	0.60	0.3	0.9	99.1		Ensayo Malla Nº200	
Nº60	0.250	5.41	3.1	4.0	96.0		P.S.Seco    P.S.Lav    (%) 200	
Nº140	0.106	98.26	55.4	59.4	40.6		177      170      4.2	
Nº200	0.075	54.25	30.6	90.0	10.0		% HUMEDAD    P.S.H    P.S.S.    (%) Hum.	
< Nº 200	FONDO	17.70	10.0	100.0	0.0		0      0.00    41.87/0	
							MODULO DE FINEZA	0.652
							Coef. Uniformidad	1.9
							Coef. Curvatura	0.8

Anexo 27: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 2

**ESTRATO 3 - ALTURA: 2.25 – 3.00**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258229.382 - E 619628.329 - Z 14.043**

**Perforacion: SPT - 4                      Muestra: M-3                      Profundidad: 2.25m - 3.00m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 230.8 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 177.3 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 104.16 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : 50.2 %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : 21.00 %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : 29.23 %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-7-6 (9)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SC
Nº10	2.000	0.37	0.2	0.2	99.8		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.24	0.1	0.3	99.7		<b>Arena arcillosa</b>
N40	0.425	0.38	0.2	0.5	99.5		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	8.03	3.5	4.0	96.0		P.S.Seco 231 P.S.Lav 177 (%) 200 23.2
Nº140	0.106	112.25	48.6	52.6	47.4		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum. 0 100 100.00
Nº200	0.075	5.37	2.3	54.9	45.1		
< Nº 200	FONDO	104.16	45.1	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.576
							Coef. Uniformidad 0.2
							Coef. Curvatura 0.4

Anexo 28: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 3

**ESTRATO 4 - ALTURA: 3.00 – 3.90**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258229.382 - E 619628.329 - Z 14.043**

**Perforacion: SPT - 4                      Muestra: M-4                      Profundidad: 3.00m - 3.90m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 236.2 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 196.9 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 88.98 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : 33.0 %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : 20.37 %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : 12.58 %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-6 (1)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SC	
Nº10	2.000	0.23	0.1	0.1	99.9		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.35	0.1	0.2	99.8		<b>Arena arcillosa</b>	
N40	0.425	0.47	0.2	0.4	99.6	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco P.S.Lav (%) 200	
Nº60	0.250	7.40	3.1	3.5	96.5		236 197 16.6	
Nº140	0.106	131.54	55.7	59.2	40.8	% HUMEDAD	P.S.H P.S.S. (%) Hum.	
Nº200	0.075	7.23	3.1	62.3	37.7		0 0.00 0.00	
< Nº 200	FONDO	88.98	37.7	100.0	0.0	MODULO DE FINEZA	0.634	
							Coef. Uniformidad	0.3
							Coef. Curvatura	0.2

Anexo 29: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 4

**ESTRATO 5 - ALTURA: 3.90 – 5.00**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258229.382 - E 619628.329 - Z 14.043**

Perforacion: **SPT - 4**                      Muestra: **M-5**                      Profundidad: **3.90m - 5.00m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 221.8 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 171.0 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 50.53 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : 24.6 %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : 20.37 %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : 4.28 %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-2-4 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SC-SM
Nº10	2.000	0.07	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO : <b>Arena limo arcillosa</b>
Nº20	0.850	0.34	0.2	0.2	99.8		
N40	0.425	0.48	0.2	0.4	99.6		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	5.88	2.7	3.1	96.9		P.S.Seco : 222    P.S.Lav : 171    (%) 200 : 22.9
Nº140	0.106	106.77	48.1	51.2	48.8		% HUMEDAD
Nº200	0.075	57.73	26.0	77.2	22.8		P.S.H : 0    P.S.S. : 0.00    (%) Hum. : 57.73
< Nº 200	FONDO	50.53	22.8	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA : 0.549
							Coef. Uniformidad : 0.4
							Coef. Curvatura : 0.2

Anexo 30: Resultado de granulometría SPT 4- estrato 5

SPT-5

ESTRATO 1 - ALTURA: 0.50 – 1.50

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258092.131 - E 619703.049 - Z 13.049**

Perforación: SPT - 5                      Muestra: M-1                      Profundidad: 0.50m - 1.50m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 280.7 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 230.4 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 4.42 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.04	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.29	0.1	0.1	99.9		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	17.96	6.4	6.5	93.5		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	158.22	56.4	62.9	37.1		P.S.Seco    P.S.Lav    (%) 200
Nº140	0.106	94.42	33.6	96.5	3.5		281    230    17.9
Nº200	0.075	5.37	1.9	98.4	1.6		% HUMEDAD
< Nº 200	FONDO	4.42	1.6	100.0	0.0		P.S.H    P.S.S.    (%) Hum.
							0    0.00    99.99
							MODULO DE FINEZA    1.660
							Coef. Uniformidad    2.5
							Coef. Curvatura    1.1

Anexo 31: Resultado de granulometría SPT 5- estrato 1.1

**ESTRATO 1 - ALTURA: 1.50 – 2.40**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258092.131 - E 619703.049 - Z 13.049**

**Perforacion: SPT - 5                      Muestra: M-1                      Profundidad: 1.50m - 2.40m**

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 203.9 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 182.8 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 9.51 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)	
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP	
Nº10	2.000	0.68	0.3	0.3	99.7		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.60	0.3	0.6	99.4		<b>Arena pobremente graduada</b>	
N40	0.425	0.54	0.3	0.9	99.1	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco P.S.Lav (%) 200	
Nº60	0.250	6.15	3.0	3.9	96.1		204 183 10.3	
Nº140	0.106	103.98	51.0	54.9	45.1	% HUMEDAD	P.S.H P.S.S. (%) Hum.	
Nº200	0.075	82.41	40.4	95.3	4.7		0 0.00 10.00	
< Nº 200	FONDO	9.51	4.7	100.0	0.0	MODULO DE FINEZA	0.606	
							Coef. Uniformidad	1.7
							Coef. Curvatura	0.8

Anexo 32: Resultado de granulometría SPT 5- estrato 1.2

**ESTRATO 2 - ALTURA: 2.40 – 3.40**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel

Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis

: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: N 9258092.131 - E 619703.049 - Z 13.049

Perforacion: SPT - 5

Muestra: M-2

Profundidad: 2.40m - 3.40m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 270.5 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 248.4 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 73.73 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : 28.4 %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : 20.42 %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : 8.01 %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-2-4 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SC
Nº10	2.000	0.18	0.1	0.1	99.9		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.60	0.2	0.3	99.7		<b>Arena arcillosa</b>
N40	0.425	0.73	0.3	0.6	99.4		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	11.14	4.1	4.7	95.3		P.S.Seco 271 P.S.Lav 248 (%) 200 8.2
Nº140	0.106	176.23	65.1	69.8	30.2		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum.
Nº200	0.075	7.89	2.9	72.7	27.3		
< Nº 200	FONDO	73.73	27.3	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.755
							Coef. Uniformidad 0.4
							Coef. Curvatura 0.2

Anexo 33: Resultado de granulometría SPT 5- estrato 2.1

**ESTRATO 2 - ALTURA: 3.40 – 5.00**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: N 9258092.131 - E 619703.049 - Z 13.049

Perforacion: SPT - 5

Muestra: M-2

Profundidad: 3.40m - 5.00m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 332.2 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 237.3 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 145.31 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : 32.7 %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : 15.94 %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : 16.78 %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-6 (4)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SC
Nº10	2.000	0.21	0.1	0.1	99.9		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.55	0.2	0.3	99.7		<b>Arena arcillosa</b>
N40	0.425	0.73	0.2	0.5	99.5		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	11.59	3.5	4.0	96.0		P.S.Seco : 332
Nº140	0.106	165.22	49.7	53.7	46.3		P.S.Lav : 237
Nº200	0.075	8.59	2.6	56.3	43.7		(%) 200 : 28.6
< Nº 200	FONDO	145.31	43.7	100.0	0.0		% HUMEDAD : P.S.H : 0
							P.S.S. : 0.00
							(%) Hum. : 0.00
							MODULO DE FINEZA : 0.586
							Coef. Uniformidad : 0.2
							Coef. Curvatura : 0.4

Anexo 34: Resultado de granulometría SPT 5- estrato 2.2

**SPT-6**

**ESTRATO 1 - ALTURA: 1.00 – 1.80**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
 Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258300.037 - E 619473.714 - Z 23.083**

Perforacion: SPT: 6                      Muestra: M-1                      Profundidad: 1.00m - 1.80m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 288.9 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 230.1 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 13.81 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.01	0.0	0.0	100.0		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.02	0.0	0.0	100.0		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	4.92	1.7	1.7	98.3		P.S.Seco : 289
Nº140	0.106	219.70	76.1	77.8	22.2		P.S.Lav : 230
Nº200	0.075	50.41	17.5	95.3	4.7		(%) 200 : 20.3
< Nº 200	FONDO	13.81	4.8	100.1	-0.1		% HUMEDAD : P.S.H : 0.00
							P.S.S. : 0.00
							(%) Hum. : 0.00
							MODULO DE FINEZA : 0.795
							Coef. Uniformidad : 1.9
							Coef. Curvatura : 1.0

Anexo 35: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 1.1

**ESTRATO 1 - ALTURA: 1.80 – 2.35**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258300.037 - E 619473.714 - Z 23.083**

Perforacion: SPT: 6

Muestra: M-1

Profundidad: 1.80m - 2.35m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 303.1 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 288.9 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 12.28 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.08	0.0	0.0	100.0		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.07	0.0	0.0	100.0		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	4.53	1.5	1.5	98.5		P.S.Seco 303 P.S.Lav 289 (%) 200 4.7
Nº140	0.106	211.11	69.6	71.1	28.9		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum.
Nº200	0.075	75.06	24.8	95.9	4.1		0 0.00 5.00/0
< Nº 200	FONDO	12.28	4.1	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.726
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 0.9

Anexo 36: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 1.2

**ESTRATO 1 - ALTURA: 2.35 – 3.35**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258300.037 - E 619473.714 - Z 23.083**

Perforacion: SPT: 6                      Muestra: M-1                      Profundidad: 2.35m - 3.35m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 289.8 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 281.2 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 12.68 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.01	0.0	0.0	100.0		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.02	0.0	0.0	100.0		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	5.33	1.8	1.8	98.2		P.S.Seco 290 P.S.Lav 281 (%) 200 3.0
Nº140	0.106	216.67	74.8	76.6	23.4		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum.
Nº200	0.075	55.13	19.0	95.6	4.4		0 0.00 3.00
< Nº 200	FONDO	12.68	4.4	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.784
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 1.0

Anexo 37: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 1.3

**ESTRATO 2 - ALTURA: 3.35 – 4.35**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258300.037 - E 619473.714 - Z 23.083**

Perforacion: SPT: 6                      Muestra: M-2                      Profundidad: 3.35m - 4.35m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA			
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 284.9 g.	
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 268.7 g.	
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 13.03 g.	
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %	
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %	
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %	
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)	
Nº4	4.750	0.18	0.1	0.1	99.9		CLASF. SUCS : SP	
Nº10	2.000	0.05	0.0	0.1	99.9		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :	
Nº20	0.850	0.07	0.0	0.1	99.9		<b>Arena pobremente graduada</b>	
N40	0.425	0.12	0.0	0.1	99.9	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco P.S.Lav (%) 200	
Nº60	0.250	13.87	4.9	5.0	95.0		285 269 5.7	
Nº140	0.106	186.58	65.5	70.5	29.5	% HUMEDAD	P.S.H P.S.S. (%) Hum.	
Nº200	0.075	70.96	24.9	95.4	4.6		0 0.00 3.03%	
< Nº 200	FONDO	13.03	4.6	100.0	0.0	MODULO DE FINEZA	0.759	
							Coef. Uniformidad	2.0
							Coef. Curvatura	0.9

Anexo 38: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 2.1

**ESTRATO 2 - ALTURA: 4.35 – 5.35**

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Pimentel

Tesistas : Quintana Jaramillo, Francis Joel  
Reyes Reátegui, Cristian Guillermo

Tesis : **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LA ZONA LAS DUNAS, CIUDAD DE LAMBAYEQUE, 2017**

Ubicación : Lambayeque - Las dunas

Fecha de recepción :

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico

NORMA DE REFERENCIA N.T.P. 399.128 : 1999

UTM UPS WGS84 18M SUR: **N 9258300.037 - E 619473.714 - Z 23.083**

Perforacion: SPT: 6

Muestra: M-2

Profundidad: 4.35m - 5.35m

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL : 290.5 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO LAVADO : 277.1 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0		PESO FINO : 4.80 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : N.P. %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0		LIMITE PLASTICO : N.P. %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0		INDICE PLASTICIDAD : N.P. %
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. AASHTO : A-3 (0)
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0		CLASF. SUCS : SP
Nº10	2.000	0.04	0.0	0.0	100.0		DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.850	0.05	0.0	0.0	100.0		<b>Arena pobremente graduada</b>
N40	0.425	0.41	0.1	0.1	99.9		Ensayo Malla Nº200
Nº60	0.250	19.49	6.7	6.8	93.2		P.S.Seco 290 P.S.Lav 277 (% 200 4.6
Nº140	0.106	195.21	67.2	74.0	26.0		% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (% Hum. 0.00 0.00 0.00)
Nº200	0.075	70.45	24.3	98.3	1.7		
< Nº 200	FONDO	4.80	1.7	100.0	0.0		MODULO DE FINEZA 0.809
							Coef. Uniformidad 1.9
							Coef. Curvatura 0.9

Anexo 39: Resultado de granulometría SPT 6- estrato 2.2

**ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)**

PROYECTO : DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE  
 UBICACION : AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE  
 PERFORACION : SPT - 1  
 FECHA : 15/06/2018

COTA	OFUNDID (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	9000				
16.95	0.30													00000000	Terreno de relleno.
16.10	0.85													00000000	
15.95	1.00												18	00000000	
	1.15													00000000	Arena mal graduada, color gris claro, sin presencia de agua, no tiene plasticidad
	1.30													00000000	
														00000000	
15.10	1.85													00000000	
14.95	2.00												15	00000000	
	2.15													00000000	
	2.30													00000000	Arena mal graduada, color marron claro, sin presencia de agua, no tiene plasticidad
														00000000	
														00000000	
14.10	2.85													00000000	
13.95	3.00												24	00000000	
	3.15													00000000	
	3.30													00000000	Arena humeda, mal gradada, color marron claro con tonalidad blanquecina, no plastica
														00000000	
														00000000	
13.10	3.85													00000000	
12.95	4.00												21	00000000	
	4.15													00000000	
	4.30													00000000	Arena mal graduada, color gris claro, sin plasticidad, de compacidad media
														00000000	
														00000000	
11.95	5.00													00000000	

Anexo 40: Perfil Estratigráfico SPT 1

### ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)

PROYECTO : DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE  
 UBICACION : AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE  
 PERFORACIO : SPT - 2  
 FECHA : 15/06/2018

COTA	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				000
20.3	0.50														Terreno de relleno.
19.40	0.85													(SP)	Arenas mal graduada sin plasticidad, color marrón oscuro
19.3	1.00												11		
	1.15														
	1.30														
18.40	1.85													(SP-SM)	Arenas limosas, mal graduada, sin plasticidad de compactación media, color beige claro.
18.3	2.00												9		
	2.15														
	2.30														
17.40	2.85														
17.3	3.00												26		
	3.15														
	3.30													(SP)	Arenas mal graduada no plástica, color beige oscuro
16.40	3.85														
16.3	4.00												25		
	4.15														
	4.30													(SP)	Arenas mal graduada no plástica, color beige con tonalidades marrón
15.8	4.45														

Anexo 41: Perfil Estratigráfico SPT 2

UBICACION : AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE  
 PERFORACION : SPT - 3  
 FECHA : 15/06/2018

COTA	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	100				
17.77	0.50														terreno de relleno
16.42	1.35														Arena mal graduada, color gris claro, sin presencia de agua, no plastica
16.27	1.50												13		
	1.65														
	1.80														
15.42	2.35														Arena mal graduada, color marron claro sin presencia de agua, no plastica de compacidad blanda
15.27	2.50												15		
	2.65														
	2.80														
14.42	3.35														
14.27	3.50												17		Arena mal graduada, color marron claro con leve presencia de humedad, no plas
	3.65														
	3.80														
13.42	4.35														
13.27	4.50												20		Arena mal graduada, color gris claro, presencia de humedad, no tiene plasticidad de compacidad media
	4.65														
	4.80														
12.82	4.95														

Anexo 42: Perfil Estratigráfico SPT 3

ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)															
PROYECTO	:	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE													
UBICACION	:	AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE													
PERFORACION	:	SPT - 4													
FECHA	:	20/06/2018													
COTA	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				100
14.04	0.30														Terreno de relleno.
12.69	1.35													8	
12.54	1.50														
	1.65														Arena mal graduada, color gris claro, sin presencia de agua, no plastica
	1.80														
11.69	2.35													13	Arenas arcillosa mal graduada, color beige, con presencia de humedad de compacidad media
11.54	2.50														
	2.65														Arena Arcillosa, alto contenido de finos, color beige oscuro, compacidad media.
	2.80														
11.09	2.95														
10.69	3.35													28	Arena Arcillosa, alto contenido de finos, color beige, compacidad firme. encontrandose napa freatica
10.54	3.50														
	3.65														
	3.80													56	
9.69	4.35														
	4.50														Arena Arcillosa limosa con alto contenido de finos, color marron oscuro, compacidad firme. con presencia de agua
	4.65													36	

Anexo 43: Perfil Estratigráfico SPT 4

### ENSAYO STANDARD DE PENETRACIÓN (SPT)

PROYECTO : DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA LAS DUNAS - LAMBAYEQUE  
 UBICACION : AA.HH. LAS DUNAS, DPTO. LAMBAYEQUE  
 PERFORACION : SPT - 5  
 FECHA : 20/06/2018

COTA	OFUNDID (m)	NÚMERO DE GOLPES / PIE										N/PIE	SÍMBOLO	OBSERVACIONES	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90				100
13.05	0.50														Terreno de relleno.
11.70	1.35													0 0 0 0 0 0	
11.55	1.50												13	0 0 0 0 0 0	
	1.65													0 0 0 0 0 0	Arenas arcillosas, de baja plasticidad, de compactación media, color marrón oscuro.
	1.80													0 0 0 0 0 0	
														0 0 0 0 0 0	
														0 0 0 0 0 0	
10.70	2.35													0 0 0 0 0 0	
10.55	2.50												26		
	2.65														
	2.80														
10.10	2.95														
9.70	3.35														
9.55	3.50												58		Arena Arcillosa, mediano contenido de finos, color beige oscuro, compactación media.
	3.65														
	3.80														
9.10	3.95														

Anexo 44: Perfil Estratigráfico SPT 5



## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



*Anexo 46: Instalación del nivel topográfico*



*Anexo 47: Medición de los prismas para verificar alturas*



*Anexo 48: Instalación de primas para su posterior levantamiento*



*Anexo 49: Ubicación de nuevos puntos a levantar*



*Anexo 50: Levantamiento de una de las calles de la zona*



*Anexo 51: Levantamiento de la duna existente*



*Anexo 52: Seccionando la duna para mejor apreciación en planos*



*Anexo 53: Realizando un cambio de estación*

## TRABAJO DE CAMPO SPT



*Anexo 54: Instalación del equipo SPT*



*Anexo 55: Puesta del yunque para la realización de los trabajos*



*Anexo 56: Marca de la caña para su posterior golpeo*



*Anexo 57: Yunque hincando la caña para extracción de muestra*



*Anexo 58: Muestra extraída de la caña partida*



*Anexo 59: Punto explorado SPT 01*

*Anexo 60: Plano de curvas de nivel de la zona las dunas – Lambayeque*

*Anexo 61: Plano de perfiles de calles de la zona las dunas – Lambayeque*

*Anexo 62: Plano de zona licuable  $M_w=6.0$  y  $M_w=7.0$*

*Anexo 63: Plano de zona licuable  $M_w=7.5$  y  $M_w=8.0$*

*Anexo 64: Informes de Laboratorio por cada punto de exploración*