



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DEL TANQUE N°-14 PARA SU ADECUACIÓN AL DS-017-2013-EM EN LAS OPERACIONES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL B5-S50, CHIMBOTE-2020”

Tesis para optar el título profesional de:  
Ingeniero Civil

Autores:

Jose Martin Otoya Ipanaque

Jhunion Stalin Perez Alcantara

Asesor:

Mg. Ing. Gonzalo Hugo Díaz García

Trujillo – Perú

2021

## DEDICATORIA

A Dios por todas las bendiciones que me ha dado en mi vida y sé que me las seguirá dando.

A mi Padre Walter Otoyá Zapata, aunque ya no esté aquí, sé que desde el cielo siempre me estará apoyando, protegiendo y sobre todo acompañándome en todos los momentos tristes y felices de mi vida.

A mi Madre Lidia Ipanaqué Burga, por creer en mí y brindarme todo su apoyo y amor incondicional sin pedir nada a cambio y alentarme a cumplir todas mis metas trazadas y objetivos de vida.

A Rosa María de Guadalupe y Walter Aurelio, mis hermanos por brindarme su total apoyo y comprensión.

A todos mis tíos y primos que por sus buenos consejos y por sus alientos incesantes para seguir cumpliendo mis metas trazadas y objetivos de vida.

A Katherine Alvarado, mi compañera que me da el soporte que necesito para no tambalear y seguir por la senda de la superación.

*José Martín Otoyá Ipanaqué*

A Dios por permitirme llegar hasta donde estoy, por bendecirme cada uno de los días de mi vida.

A mis padres Robin Pérez y Herlinda Alcántara, por todo el sacrificio constante que hicieron para brindarme una educación digna, por el ejemplo de lucha y perseverancia los cuales me permitieron soñar y lograr siempre mis objetivos.

A Vivien Vanessa Vásquez, mi compañera de mil batallas, mi soporte en los momentos difíciles, la persona que estuvo acompañándome y alentándome de principio a fin.

A mi pequeña hija, que a la mitad del camino se convirtió en mi motor y motivo para llegar a la meta y aumentó mis ansias de superación.

A mi hermano, que siempre me motivó a demostrarle que, sin importar los obstáculos de la vida, siempre podemos lograr nuestros objetivos.

*Jhunior Stalin Pérez Alcántara*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar infinitamente a Dios quien ha sabido guiarme por el buen camino, darme la fuerza para seguir adelante y no desmayar ante los problemas que se me presentaban, por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido soporte durante todo el periodo de estudio.

A mis maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario con conocimientos y amistad, impulsando el desarrollo de nuestra formación profesional.

A mis compañeros de estudios, que me apoyaron desinteresadamente en esta etapa académica y que hasta ahora seguimos siendo amigos y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en el apoyo para culminar esta etapa académica. Son muchas las personas especiales a las que nos gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí con nosotros y otras en nuestros recuerdos y en el corazón.

A mi asesor de tesis el Ing. Gonzalo Hugo Díaz, quien con sus conocimientos y consejos fue fundamental para poder culminar esta etapa académica y de mi vida.

A los ingenieros Grover Mallqui, Johnny Bullón, Daniel Pezo, Rigoberto Fiestas que en algún momento fueron mis líderes y me dieron las facilidades y el apoyo para seguir estudiando y culminar esta segunda carrera profesional.

A Merina Ampuero, mi colega que me dio consejos y aliento para seguir adelante hasta culminar esta segunda carrera profesional.

¡Gracias a ustedes!

*José Martín Otoya Ipanaqué*

Sin lugar a duda agradezco primero a Dios, quien está por encima de todas las cosas, quien ha encaminado mis decisiones a lo largo de mi vida, quien ha guiado mis pasos en momentos de incertidumbre.

A los docentes de la universidad, quienes supieron transmitir sus conocimientos y acrecentar día a día mi interés por la carrera, maestros que permitirán convertirme en un buen profesional y aplicar aquellas enseñanzas de una forma correcta.

A mi asesor de tesis el Ing. Gonzalo Hugo Díaz, quien con sus conocimientos y consejos fue fundamental para poder culminar esta etapa académica y de mi vida.

A todos mis familiares que directa o indirectamente influenciaron en mi formación, a aquellos que en algún momento me brindaron consejos y ánimos para seguir adelante en esta etapa de mi vida, a aquellos que no les dio la vida para verme lograr mis sueños, pero cuando pudieron sembraron en mí anhelos de superación.

¡Gracias a todos!

*Jhunior Stalin Pérez Alcántara*

## TABLAS DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	1
AGRADECIMIENTO .....	3
TABLAS DE CONTENIDO .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	17
RESUMEN .....	19
ABSTRACT.....	20
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....	21
1.1 Realidad problemática.....	21
1.2 Formulación del problema .....	94
1.3 Objetivos específicos.....	94
1.3.1 Objetivo general.....	94
1.3.2 Objetivos específicos .....	94
1.4 Hipótesis.....	95
1.4.1 Hipótesis general.....	95
1.4.2 Hipótesis específicas .....	95

CAPITULO II. METODOLOGÍA.....	96
2.1 Tipo de investigación .....	96
2.2 Población y muestra .....	96
2.2.1 Población.....	96
2.2.2 Muestra .....	97
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	97
2.3.1 Técnicas de recolección de datos .....	97
2.3.2 Instrumentos de recolección de datos .....	98
2.3.3 Análisis de datos .....	98
2.3.4 Selección de variables.....	98
2.4 Procedimiento.....	99
CAPITULO III. RESULTADOS.....	100
3.1 Condición actual del anillo de cimentación .....	100
3.1.1 Trazabilidad del estado actual del anillo de cimentación .....	102
3.1.2 Determinación de la resistencia del concreto en el anillo de cimentación .....	105
3.1.3 Determinación del ancho mínimo del anillo de cimentación.....	106
3.1.4 Determinación del acero de refuerzo del anillo de cimentación existente.....	107
3.2 Análisis del asentamiento diferencial del tanque bajo estándar API 653 .....	108
3.3 Análisis de la verticalidad del tanque bajo estándar API 653 .....	113
3.4 Estudio geotécnico del suelo de cimentación del tanque .....	115

3.4.1	Calicatas de exploración .....	116
3.4.2	Ensayo de penetración estándar STP .....	118
3.4.3	Ensayo de penetración con cono sin recuperación CTP .....	119
3.4.4	Ensayo de penetración ligera del tipo DPL.....	120
3.4.5	Ensayos de laboratorio .....	124
3.5	Determinación de las condiciones del suelo de cimentación del tanque 14.....	135
3.5.1	Profundidad de cimentación .....	135
3.5.2	Nivel freático .....	136
3.5.3	Determinación de la capacidad portante .....	136
3.5.4	Módulo de elasticidad .....	140
3.5.5	Módulo de corte .....	141
3.5.6	Coefficiente de Balasto .....	142
3.5.7	Estimación del asentamiento diferencial .....	144
3.6	Reparación del anillo de cimentación .....	145
3.6.1	Reparación de fisuras .....	145
3.6.2	Inyección de resina en anillo de cimentación .....	149
3.6.3	Ensayo de compresión de zona reparada 20° - 32° .....	149
3.7	Memoria de cálculo del refuerzo de cimentación .....	150
3.8	Ensayo de resistencia a compresión del refuerzo del anillo de cimentación y nivelación de grout epóxico .....	160



3.9	Verificación de excentricidad, resistencia al volcamiento y deslizamiento del anillo de cimentación .....	161
3.9.1	Evaluación del anillo de cimentación existente 0.40x0.60 .....	161
3.9.2	Evaluación del anillo de cimentación reforzado 0.60x0.60 .....	163
3.10	Resumen de datos de entrada de las evaluaciones realizadas .....	167
3.11	Modelamiento computacional .....	168
CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....		173
4.1	Discusión .....	173
4.2	Conclusiones .....	176
REFERENCIAS .....		179
ANEXOS .....		185

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Símbolos para Clasificar un Suelo</i> .....	35
<b>Tabla 2</b> Capacidad Admisible de carga.....	39
<b>Tabla 3</b> <i>Variación del amortiguamiento para la masa convectiva según ACI 350.3-06</i> .....	72
<b>Tabla 4</b> Distorsión angular .....	75
<b>Tabla 5</b> <i>Causas de asentamientos diferenciales</i> .....	76
<b>Tabla 6</b> <i>Clasificación de los perfiles del suelo basado en E.030</i> .....	83
<b>Tabla 7</b> <i>Incumplimientos al Artículo 33a del DS-052-93-EM</i> .....	92
<b>Tabla 8</b> <i>Incumplimientos al artículo 33ab del DS-052-93-EM</i> .....	93
<b>Tabla 9</b> <i>Dimensiones y capacidades de los tanques de almacenamiento</i> .....	96
<b>Tabla 10</b> <i>Parámetros de diseño del tanque</i> .....	100
<b>Tabla 11</b> <i>Resumen de ficha técnica del tanque N° 14 del anillo de cimentación</i> .....	101
<b>Tabla 12</b> <i>Resumen del ensayo con esclerómetro NTP 339.181.2013</i> .....	105
<b>Tabla 13</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las diamantinas extraídas</i> .....	105
<b>Tabla 14</b> <i>Resultados del ensayo de carbonatación</i> .....	106
<b>Tabla 15</b> <i>Parámetros mecánicos para asentamiento diferencial</i> .....	109
<b>Tabla 16</b> <i>Resultado de las lecturas de asentamiento diferencial</i> .....	109
<b>Tabla 17</b> <i>Resultado de las lecturas de verticalidad del tanque</i> .....	113
<b>Tabla 18</b> <i>Perfil estratigráfico de calicata C-01</i> .....	116

<b>Tabla 19</b> <i>Perfil estratigráfico de calicata C-02</i> .....	117
<b>Tabla 20</b> <i>Resultados de granulometría</i> .....	124
<b>Tabla 21</b> <i>Resultados del ensayo de consistencia</i> .....	125
<b>Tabla 22</b> <i>Resultados del ensayo de humedad natural</i> .....	126
<b>Tabla 23</b> <i>Resultados del ensayo químico en suelo y agua</i> .....	127
<b>Tabla 24</b> <i>Resultados del ensayo de proctor modificado</i> .....	128
<b>Tabla 25</b> <i>Resultados del ensayo de CBR</i> .....	130
<b>Tabla 26</b> <i>Resultados del ensayo de corte directo</i> .....	133
<b>Tabla 27</b> <i>Resultados de <math>Q_{adm}</math> en cimientos corridos</i> .....	138
<b>Tabla 28</b> <i>Resumen de resultados del método</i> .....	139
<b>Tabla 29</b> <i>Valor de <math>N</math> promedio es de 11 golpes/pie, para la profundidad de cimentación de <math>D_f = 0.60m</math>.</i> .....	141
<b>Tabla 30</b> <i>El Módulo de corte obtenido a partir del ensayo SPT</i> .....	142
<b>Tabla 31</b> <i>Valores medios para arenas secas o húmedas</i> .....	142
<b>Tabla 32</b> <i>Resultados Balasto – Compacidad de la arena</i> .....	143
<b>Tabla 33</b> <i>Coordenadas de fisuras 1 – 10 y coordenada ubicación inserto de ladrillo</i> .....	148
<b>Tabla 34</b> <i>Inspección de aplicación de inyección de resina en cimentación</i> .....	149
<b>Tabla 35</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de sección del anillo reparado</i> .....	149
<b>Tabla 36</b> <i>Parámetros de suelos para verificación de refuerzos</i> .....	151
<b>Tabla 37</b> <i>Peso estimado del tanque para efectos de cálculos</i> .....	152

<b>Tabla 38</b>	<i>Geometría del tanque y cargas estimadas para efectos de cálculos</i>	153
<b>Tabla 39</b>	<i>Dimensiones de la zapata y resistencias para efectos de cálculos</i>	155
<b>Tabla 40</b>	<i>Tabla de Metrados de cargas para efectos de cálculos</i>	156
<b>Tabla 41</b>	<i>Resumen de las tensiones actuantes en la base de cimentación</i>	158
<b>Tabla 42</b>	<i>Verificación de acero de refuerzo longitudinal en pedestal</i>	159
<b>Tabla 43</b>	<i>Verificación de acero de refuerzo vertical en pedestal</i>	159
<b>Tabla 44</b>	<i>Resultados de ensayo a la compresión del anillo de refuerzo de cimentación</i>	160
<b>Tabla 45</b>	<i>Resultados de ensayo a la compresión de grout en nivelación del anillo</i>	161
<b>Tabla 46</b>	<i>Carga de diseño actuando en el centro del fondo de la zapata</i>	162
<b>Tabla 47</b>	<i>Carga de servicio en el centro de la zapata</i>	162
<b>Tabla 48</b>	<i>Datos de fuerza para análisis</i>	162
<b>Tabla 49</b>	<i>Carga de diseño actuando en el centro del fondo de la zapata</i>	163
<b>Tabla 50</b>	<i>Carga de servicio en el centro de la zapata</i>	163
<b>Tabla 51</b>	<i>Datos de fuerza para análisis</i>	165

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Clasificación general de tanques de almacenamiento</i> .....	27
<b>Figura 2</b>	<i>Tanques representativos de almacenamiento de hidrocarburo</i> .....	28
<b>Figura 3</b>	<i>Esquema de las partes de un tanque de almacenamiento</i> .....	29
<b>Figura 4</b>	<i>Tanque de techo fijo (izquierda) y tanque de techo flotante (derecha)</i> .....	30
<b>Figura 5</b>	<i>Tanque de techo fijo de un tanque en operación</i> .....	30
<b>Figura 6</b>	<i>Pared de un tanque vertical de almacenamiento de hidrocarburos</i> .....	31
<b>Figura 7</b>	<i>Vista de un fondo de tanque desde el interior</i> .....	32
<b>Figura 8</b>	<i>Vista de un fondo de tanque, vista superior</i> .....	32
<b>Figura 9</b>	<i>Símbolos representativos de suelos</i> .....	34
<b>Figura 10</b>	<i>Clasificación de suelos</i> .....	36
<b>Figura 11</b>	<i>Grafica de coeficiente de balasto</i> .....	38
<b>Figura 12</b>	<i>Esquema de tipos de cimentaciones</i> .....	40
<b>Figura 13</b>	<i>Esquema de anillo continuo RNE E.050</i> .....	41
<b>Figura 14</b>	<i>Anillo de cimentación de acuerdo API 650</i> .....	42
<b>Figura 15</b>	<i>Sección típica de anillo de cimentación para tanques de almacenamiento</i> .....	43
<b>Figura 16</b>	<i>Ejemplo de construcción de un anillo de cimentación</i> .....	43
<b>Figura 17</b>	<i>Falla por corte</i> .....	45
<b>Figura 18</b>	<i>Falla por capacidad de carga en suelo bajo una cimentación corrida</i> .....	46
<b>Figura 19</b>	<i>Método Terzagui</i> .....	47

<b>Figura 20</b>	<i>Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi</i> .....	50
<b>Figura 21</b>	<i>Anillo de cimentación, esfuerzos verticales y horizontales</i> .....	51
<b>Figura 22</b>	<i>Plano de cimientto anular de concreto</i> .....	55
<b>Figura 23</b>	<i>Sección trasversal y condiciones de entorno</i> .....	55
<b>Figura 24</b>	<i>Sección trasversal y condiciones de entorno</i> .....	56
<b>Figura 25</b>	<i>Sección transversal de anillo de cimentación</i> .....	57
<b>Figura 26</b>	<i>Longitud de traslape a tensión</i> .....	57
<b>Figura 27</b>	<i>Empuje hidrostático</i> .....	61
<b>Figura 28</b>	<i>Modelo mecánico equivalente según Housner (1954)</i> .....	63
<b>Figura 29</b>	<i>Modelo dinámico del tanque con fluido, apoyado en el suelo</i> .....	64
<b>Figura 30</b>	<i>Presiones impulsivas y resultantes</i> .....	66
<b>Figura 31</b>	<i>Presiones convectivas y resultantes</i> .....	66
<b>Figura 32</b>	<i>Espectro de Aceleración para el tanque con soporte apoyado</i> .....	71
<b>Figura 33</b>	<i>Peso del líquido contenido</i> .....	73
<b>Figura 34</b>	<i>Hipotético de cargas actuando sobre el tanque</i> .....	73
<b>Figura 35</b>	<i>Notación para asentamiento diferenciales</i> .....	75
<b>Figura 36</b>	<i>Ubicación del tanque 14</i> .....	82
<b>Figura 37</b>	<i>Mapa de zonas sísmicas</i> .....	84
<b>Figura 38</b>	<i>Distribución de curvas de máximas intensidades sísmicas</i> .....	85

<b>Figura 39</b>	<i>Vista del Tanque 14 donde se han realizados los trabajos geotécnicos para evaluar las condiciones del suelo de cimentación</i> .....	87
<b>Figura 40</b>	<i>Trabajos geotécnicos para evaluar las condiciones del suelo de cimentación</i> ....	88
<b>Figura 41</b>	<i>Distribución de los ensayos desarrollados circundante al tanque 14</i> .....	89
<b>Figura 42</b>	<i>Detección de acero de refuerzo y extracción de diamantina</i> .....	90
<b>Figura 43</b>	<i>Dimensiones de la cimentación existente del tanque 14</i> .....	100
<b>Figura 44</b>	<i>Evidencia fotográfica de la inspección visual realizada en el tanque</i> .....	102
<b>Figura 45</b>	<i>Trabajos de resane del anillo de concreto del tanque 14 por la contratista Dominion en el 2017</i> .....	103
<b>Figura 46</b>	<i>Inspección visual realizado por TÜV Rheinland en el anillo de cimentación</i> ....	104
<b>Figura 47</b>	<i>Distribución de acero de refuerzo en cimentación existente</i> .....	108
<b>Figura 48</b>	<i>Esquema del ensayo de asentamiento diferencial</i> .....	110
<b>Figura 49</b>	<i>Gráfica de asentamiento diferencial (mm)</i> .....	111
<b>Figura 50</b>	<i>Gráfica de deflexión de asentamiento del cilindro (mm)</i> .....	112
<b>Figura 51</b>	<i>Medición de asentamiento con estación laser</i> .....	112
<b>Figura 52</b>	<i>Verticalidad del tanque</i> .....	114
<b>Figura 53</b>	<i>Diagramas de las curvas del número de golpes/pie de N de campo y la curva de los valores de N corregidos normalizados, medidos con la profundidad</i> .....	118
<b>Figura 54</b>	<i>Diagramas de las curvas del número de golpes/pie de N de campo y la curva de los valores de N corregidos normalizados para las auscultaciones con el cono, medidos con la profundidad</i> .....	119

<b>Figura 55</b> <i>Diagrama del registro continuo de las auscultaciones realizadas con el equipo, DPL 1</i> .....	120
<b>Figura 56</b> <i>Diagrama del registro continuo de las auscultaciones realizadas con el equipo, DPL 2</i> .....	121
<b>Figura 57</b> <i>Diagrama del registro continuo de las auscultaciones realizadas con el equipo, DPL 3</i> .....	122
<b>Figura 58</b> <i>Diagramas de los registros continuos de las auscultaciones realizadas con el equipo de DPL en los tres diferentes puntos</i> .....	123
<b>Figura 59</b> <i>Resultado del ensayo de proctor modificado calicata C-01</i> .....	128
<b>Figura 60</b> <i>Resultado del ensayo de proctor modificado calicata C-02</i> .....	129
<b>Figura 61</b> <i>Resultado de valores relativos de soporte CBR de C-01</i> .....	130
<b>Figura 62</b> <i>Resultado del ensayo CBR C-01</i> .....	131
<b>Figura 63</b> <i>Resultado de valores relativos de soporte CBR de C-02</i> .....	131
<b>Figura 64</b> <i>Resultado del ensayo CBR C-02</i> .....	132
<b>Figura 65</b> <i>Corte directo, curvas esfuerzo cortante vs deformación horizontal</i> .....	133
<b>Figura 66</b> <i>Corte directo, curvas deformación vertical vs deformación horizontal</i> .....	134
<b>Figura 67</b> <i>Resultados del ensayo de corte directo</i> .....	134
<b>Figura 68</b> <i>Grafica del esquema actual de Cadmisble y tipo de suelo debajo de la cimentación del tanque 14</i> .....	140
<b>Figura 69</b> <i>Correlación entre el valor de soporte de California (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante (k)</i> .....	143
<b>Figura 70</b> <i>Patologías encontradas en la cimentación del tanque</i> .....	146



<b>Figura 71</b>	<i>Ubicación de las zonas a reparar</i> .....	148
<b>Figura 72</b>	<i>Sección típica de cimentación (nueva y existente)</i> .....	154
<b>Figura 73</b>	<i>Sección referencial de cimentación (para efectos de cálculo)</i> .....	155
<b>Figura 74</b>	<i>Modelo matemático de cargas radiales sobre cimentación (D.C.L.)</i> .....	156
<b>Figura 75</b>	<i>Grafica de tensiones actuantes S/C 135 KN/M2</i> .....	161
<b>Figura 76</b>	<i>Tensiones actuantes deseables S/C 135 KN/M2</i> .....	163
<b>Figura 77</b>	<i>Verificación de volteo</i> .....	164
<b>Figura 78</b>	<i>Esquema final de la cimentación existente más el reforzamiento lado exterior</i> .	166
<b>Figura 79</b>	<i>Modelo computaciones de los cálculos SAP2000</i> .....	168
<b>Figura 80</b>	<i>Deformada de diseño, resultados en metros</i> .....	169
<b>Figura 81</b>	<i>Transmisión de cargas con TONF</i> .....	170
<b>Figura 82</b>	<i>Resultados máximos a cada metro (TONF-M)</i> .....	171
<b>Figura 83</b>	<i>Diagrama de intensidad de reforzamiento del acero</i> .....	172

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuac. N°-1. Ecuación de Balasto .....	38
Ecuac. N°-2. Carga equivalente efectiva .....	47
Ecuac. N°-3. Capacidad de carga última de un cimiento continuo .....	48
Ecuac. N°-4. Factor de capacidad de carga $N_c$ .....	49
Ecuac. N°-5. Factor de capacidad de carga $N_q$ .....	49
Ecuac. N°-6. Factor de capacidad de carga $N_\gamma$ .....	49
Ecuac. N°-7. Factor de capacidad de carga equivalentes $N_c$ .....	49
Ecuac. N°-8. Factor de capacidad de carga equivalentes $N_q$ .....	49
Ecuac. N°-9. Factor de capacidad de carga equivalentes $N_\gamma$ .....	49
Ecuac. N°-10. Capacidad de carga última de cimentaciones cuadradas .....	49
Ecuac. N°-11. Capacidad de carga última de cimentaciones circular .....	49
Ecuac. N°-12. Capacidad de carga última con modo de falla local de cimentación continua .....	50
Ecuac. N°-13. Capacidad de carga última con modo de falla local de cimentación cuadrada .....	50
Ecuac. N°-14. Capacidad de carga última con modo de falla local de cimentación circular .....	50
Ecuac. N°-15. Factor de seguridad a la capacidad de carga última .....	51
Ecuac. N°16. Peso distribuido sobre cimiento por pie lineal .....	52
Ecuac. N°-17. Espesor del cimiento en pulgadas .....	52
Ecuac. N°-18. Presión sobre el suelo provocado por el líquido en lb/pie <sup>2</sup> .....	52
Ecuac. N°-20. Fuerza total a tensión en lb .....	53

Ecuac. N°-1.21. Área de refuerzo en pulgadas cuadradas .....	53
Ecuac. N°-22. Área de refuerzo transversal en pul <sup>2</sup> .....	54
Ecuac. N°-23. Peso aparente del cuerpo sumergido (g representa la aceleración de la gravedad).....	61
Puesto que el volumen de fluido desplazado por el sólido totalmente sumergido es también V, el empuje viene dado por: .....	61
Ecuac. N°-24. Empuje hidrostático.....	62
Ecuac. N°-25. Peso impulsivo $W_i$ .....	67
Ecuac. N°-26. Componente convectiva $W_c$ .....	67
Ecuac. N°-27. Ubicación del centro de gravedad de los pesos impulsivo y conectivo del líquido .....	67
Ecuac. N°-28. Fuerza cortante total en la base .....	67
Ecuac. N°-29. Espectro de pseudo aceleraciones periodo impulsivo .....	69
Ecuac. N°-30. Espectro de pseudo aceleraciones periodo convectivo.....	69
Ecuac. N°-31. Asentamiento diferencial, distorsión angular .....	74
Ecuac. N°-35. Desviación crítica (mm) del asentamiento diferencial .....	110
Desviación crítica 36.6 OK.....	110
Donde.....	110
Ecuac. N°-40. Módulo de corte máximo .....	141
Ecuac. N°-341. Teoría elástica para el asentamiento bajo carga uniforme .....	144

## RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo principal realizar la evaluación estructural del anillo de cimentación del tanque 14 ubicado en la ciudad de Chimbote, como parte de la adecuación de las fundaciones al decreto supremo DS-017-2013-EM, para poder operar, almacenar y despachar hidrocarburos líquidos tal como lo establece el DS-052-93-EM, Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

La investigación realizada fue de tipo descriptivo, la recolección de los datos se realizó mediante el análisis documental, pues para ello se revisó informes de la situación actual del tanque, estudios de suelos, estudio de diamantina y escaneo de cimentación, memoria de cálculo de la parte civil, aplicación de normas nacionales e internacionales, además de realizar un modelamiento estructural del anillo actual y posterior a su reforzamiento.

Como resultado principal obtuvimos que efectivamente el anillo no cumplía con los parámetros para que el tanque pueda continuar en funcionamiento y que la mejor solución en cuanto a la parte fundaciones que establece el DS-017-2013-EM fue la de realizar la rehabilitación del anillo existente y posteriormente reforzándolo con un anillo exterior formando un monolítico, así se logra alcanzar los parámetros estructurales que satisfacen parte en la adecuación al DS-017-2013-EM para cumplir con el DS-052-93-EM.

**PALABRAS CLAVE:** Anillo de cimentación, DS-017-2013-EM, DS-052-93-EM, evaluación estructural, normas.

## ABSTRACT

The main objective of this research is to carry out the structural evaluation of the foundation ring of tank 14 located in the city of Chimbote, as part of the adaptation of the foundations to the supreme decree DS-017-2013-EM, in order to operate, store and dispatch liquid hydrocarbons as established in DS-052-93-em, Safety Regulations for the Storage of Hydrocarbons.

This is a descriptive research, the data collection was made through documentary analysis, because for this, reports of the current situation of the tank, soil studies, diamond study and foundation scan, calculation of the civil part memory, application of national and international standards were examined. In addition, it was made a structural modeling of the current ring and after its reinforcement.

As a main result, we obtained that, in fact, the ring did not meet the parameters so that the tank could continue operating and that the best solution regarding the foundations part established by DS-017-2013-EM was to carry out the rehabilitation of the current ring and then reinforce it with an external ring forming a monolithic, thus structural standards are achieved to satisfy part of the adaptation to DS-017-2013-EM to comply with DS-052-93-EM.

**KEY WORDS:** Foundation ring, DS-017-2013-EM, DS-052-93-EM, structural evaluation, standards.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad problemática

La industria de almacenamientos de hidrocarburos líquidos tiene una gran importancia en el Perú, debido al incremento de la demanda que se ha tenido en las últimas décadas por su consumo interno, desarrollando un rol importante en las actividades económicas del país.

Por su gran valor comercial, monetario y el peligro que representa su almacenamiento, existen requisitos establecidos por el estado peruano para poder operar, almacenar y despachar los hidrocarburos líquidos tal como lo establece el DS-052-93-EM, Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

Los tanques de almacenamiento deben de cumplir con estándares de construcción, mantenimiento, seguridad e integridad estructural para evitar eminentes fugas del producto que puedan causar daños al medio ambiente, infraestructura, sociedad y vidas humanas; por efectos de acciones externas tales como sismos, viento, impactos, vandalismo, etc.

El almacenamiento de hidrocarburos por parte de Terminales del Perú en el terminal Chimbote se realiza en 12 tanques de acero, los cuales reposan en su base en unos anillos de concreto; estos tanques con sus respectivos anillos de concreto fueron construidos entre los años 60 y 70 los cuales en la actualidad no cumplen con las normas técnicas y especificaciones vigentes de diseño para los cuales fueron fabricados y no cuentan con un dossier de construcción, registros de cargas de techos, presiones internas, cálculos de volcamiento, cargas de viento, cálculos estructurales de la cimentación, asentamientos, verticalidad, diseño sísmico, características del suelo y estabilidad de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en el Terminal Chimbote.

Por tanto, en cumplimiento con lo solicitado por OSINERGMIN, para continuar en operación, es necesario ejecutar trabajos de adecuación en obras civiles, mecánicas y eléctricas según lo dispuesto en el DS-017-2013-EM, en el que se establece el procedimiento para la adecuación de las instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos preexistentes a las disposiciones establecidas en el DS-052-93-EM.

La presente investigación cuenta con *antecedentes* de carácter académico tales como:

(Carrasco Villa, 2019), en su proyecto de investigación describió los procesos de ejecución e incidencias en el desarrollo del proyecto denominado Impermeabilización de área estanca y construcción del nuevo dique de contención de los tanques 332-T-6/7 de Refinería Iquitos pertenecientes a la empresa estatal PETROPERÚ de acuerdo al D.S N° 017-2013-EM en la que se establece el procedimiento para la adecuación de las instalaciones para almacenamiento de hidrocarburos preexistentes a las disposiciones establecidas en el D.S N° 052-93-EM; en consideración a lo descrito; OSINERGMIN determinó que las áreas estancas existentes no aseguraban la protección contra derrames, dado que el terreno adyacente a los tanques de almacenamiento y dentro de los muros de contención no se encontraba impermeabilizados; esta condición venía incumpliendo el art. 39°, inc. b) y c), del D.S. 052-93-EM, y el art. 43°, inc. c), del D.S. 015-2006-EM, por tal motivo se realizó la ejecución de la adecuación de los muros de contención del nuevo dique a fin de contener cualquier potencial derrame y no genere daños al medio ambiente, infraestructura y vidas humanas.

(Gonzabay Carvajal, 2019), en su proyecto de investigación realizó el análisis y diseño de cimentaciones para tanques metálicos de almacenamiento de derivados del petróleo y para base de bomba, de suelos característicos de la refinería La Libertad; se utilizó el estudio de suelos analizando las propiedades geotécnicas de la estratigrafía del suelo, para posteriormente pre-dimensionar el tanque metálico de almacenamiento de capacidad de 50000 barriles y el área de cimentación para un asentamiento uniforme, diseñando un anillo de cimentación que soporte la capacidad máxima del tanque metálico y una base de hormigón armado para la bomba, con el fin que las estructuras sean estables, no presenten deslizamientos al estar sometida a una fuerza sísmica y no presente riesgo de voltearse al estar expuestas a fuertes viento.

Con el análisis se pudo determinar que mediante el pre-diseño y posterior diseño óptimo, el tanque metálico de almacenamiento es estable, no presenta deslizamiento al estar sometida a cargas sísmicas y no presenta riesgo de voltearse al estar expuesto a fuertes

cargas de viento. De igual manera el suelo es óptimo para soportar la base de cimentación para equipo fijo y dinámico.

(Contreras Contreras, Guadaña Chacón, 2018), en su proyecto de investigación determinaron la contribución que proporciona la norma API-650 y la norma europea UNE-EN 14015 en el diseño de cimentaciones para tanques atmosféricos en la refinería la Pampilla; estas normas contribuyen significativamente al diseño de cimentaciones de tanques atmosféricos, las cuales proporcionan parámetros y condiciones para un buen diseño, específicamente para diseños sismorresistente teniendo en cuenta que nuestro país se encuentra ubicado entre dos placas importantes (placa de Nazca y placa Sudamericana) la cual hacen que el Perú sea un país altamente sísmico es por ello la importancia de un diseño sismorresistente para estos tanques de almacenamiento.

En el proyecto de investigación se logró determinar que el diseño propuesto por la norma API-650 se asemeja para la zona peruana ya que sus normas son semejantes y sus ecuaciones de cargas son similares las cuales se pueden introducir al diseño del espectro de respuesta peruana y la norma UNE-EN 14015 se puede implementar en la zona de la selva ya que el coeficiente sísmico de esa zona es similar al coeficiente sísmico de la zona española.

(Sánchez Pizarro, 2017), en su investigación realizó la descripción de los procedimientos para adecuar y/o modificar las pertenencias del Tanque N°-08 de almacenamiento de combustible residual PI-500 dentro del terminal Petroperú - Chimbote, según la normativa legal del decreto supremo DS 017-2013-EM en la que se establece el procedimiento para la adecuación de las instalaciones para almacenamiento de hidrocarburo preexistentes a las disposiciones establecidas en el DS 052-93-EM Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

El trabajo de adecuación del tanque N°8 se agrupó en 05 fases de desarrollo del proyecto de adecuación del tanque; fase 01 inicio del proyecto, fase 02 planificación del proyecto, fase 03 gestión y dirección de la ejecución del proyecto, fase 04 seguimiento y control del proyecto y la quinta fase se desarrolló el expediente técnico económico, para poder



acreditar el tanque ante la autoridad competente OSINERGMIN para que el terminal siga con sus operaciones de recepción, almacenamiento y despacho.

(Martín Lopez, 2017), en su investigación realizó la tipología de cimentación adecuada para los depósitos de almacenamiento de combustible para diámetros grandes y pequeños estableciendo modelos susceptibles de estudio paramétrico mediante el método de los elementos finitos, en el cual se establecieron dos tipos de cimentación, con anillo de grava y con anillo de hormigón, junto con cuatro posibilidades de suelo como base para cada caso, estudiando la interacción de cada tipo de cimentación con cada tipo de suelo, analizando los principales factores que influyen en el diseño de estas cimentaciones, como son los asientos diferenciales permitidos, los factores de seguridad alcanzados y el coste económico que supone la construcción de las mismas.

Los factores de seguridad para ambos tipos de cimentaciones superaron el valor establecido por la normativa API; los asientos diferenciales de los modelos que afectan la estructura del tanque cumplen con los requisitos impuestos salvo la cimentación sobre el terreno más inferior en el gran diámetro que no supero el límite de asentamiento impuesto en los criterios establecidos en la normativa.

(Filippi Arriaga, 2012), realizó una guía práctica para el proceso constructivo de una cimentación para tanques de almacenamiento de hidrocarburos, basada en la norma API 650, así como análisis previos del tipo de suelo en donde se efectuara la construcción de los tanques de almacenamiento y con los parámetros que se incluyen en la guía se podrían identificar todas las variables que se deben de considerar al momento de efectuar el diseño y el proceso constructivo de un anillo de cimentación; por lo cual el proceso constructivo aplicado para la cimentación se secuencia iniciando con el estudio de suelos (que incluye la estratigrafía del suelo, condiciones del agua subterránea, capacidades admisibles de carga del suelo, tipo de suelos, pruebas de laboratorio, etc.), se realiza el diseño del tanque tomando como datos de entrada el peso del tanque que tendrá incluyendo sus cargas vivas y cargas muertas, la forma del tanque si es cilíndrico o esférico, tipo de combustible que almacenara, materiales para la construcción como planchas de acero, accesorios,

complementarios, materiales para las obras civiles, y consideraciones de las estructuras adyacentes; todo esto basado en la norma API 650.

La *justificación* del presente trabajo de investigación presenta como punto primordial realizar la evaluación estructural del anillo de cimentación del tanque 14 ante la adecuación al D.S-017-2013-EM, para cumplir con los requisitos establecidos por el estado peruano para poder operar, almacenar y despachar los hidrocarburos líquidos tal como lo establece el DS-052-93-EM, Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos, para nuestro caso de estudio título IV, “Proyecto, construcción, operación de las instalaciones”.

El tanque N°-14 fue construido el año 1972, bajo normas y técnicas que no son vigentes en la actualidad y no se cuenta con un dossier de construcción, ni data de los diseños de los tanques; no hay registros de cargas de techos, presiones internas, cálculos de volcamiento, cargas de viento, cálculos estructurales de la cimentación, asentamientos, verticalidad, diseño sísmico, características del suelo y estabilidad del tanque en estudio; por tanto en cumplimiento con lo solicitado por OSINERGMIN se debe de realizar la adecuación del tanque 14 según lo dispuesto en el decreto supremo DS-017-2013-EM en el que se establece el procedimiento para la adecuación de las instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos preexistentes a las disposiciones establecidas en el DS-052-93-EM.

Para realizar la adecuación de tanques de almacenamiento de combustibles el decreto supremo DS-052-93-EM dice que los tanques de almacenamiento serán diseñados según códigos o normas reconocidas usando adecuados factores de seguridad y construidos de acuerdo a la buena práctica de ingeniería, con especial atención debe darse a las cargas de techo, acciones de sismos o vientos, presiones internas, características del suelo, cimentación y estabilidad del tanque, en áreas donde las condiciones son inusualmente severas, por lo que para el presente estudio se acogió realizar la adecuación bajo normas internacionales como API 650, API 653, ACI 318, ACI 350 ya que no se cuenta con normas y reglamentos nacionales para la adecuación de tanques de almacenamiento de combustibles derivados del petróleo, pero teniendo en consideración pautas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Después de realizado la adecuación del anillo de concreto del tanque N°-14 se evaluará el comportamiento que tiene el anillo de concreto en las condiciones de operación el cual debe de cumplir con la disposición regulatoria del OSINERGMIN.

La adecuación al DS-017-2013-EM del tanque de almacenamiento de combustible B5-S50 se realizará desde los trabajos civiles, mecánicos y eléctricos hasta la puesta de servicio cumpliendo las disposiciones regulatorias del Osinergmin para seguir con la operación de recepción, almacenamiento y despacho de hidrocarburos líquidos, cumpliendo con el decreto supremo DS-052-93-EM.

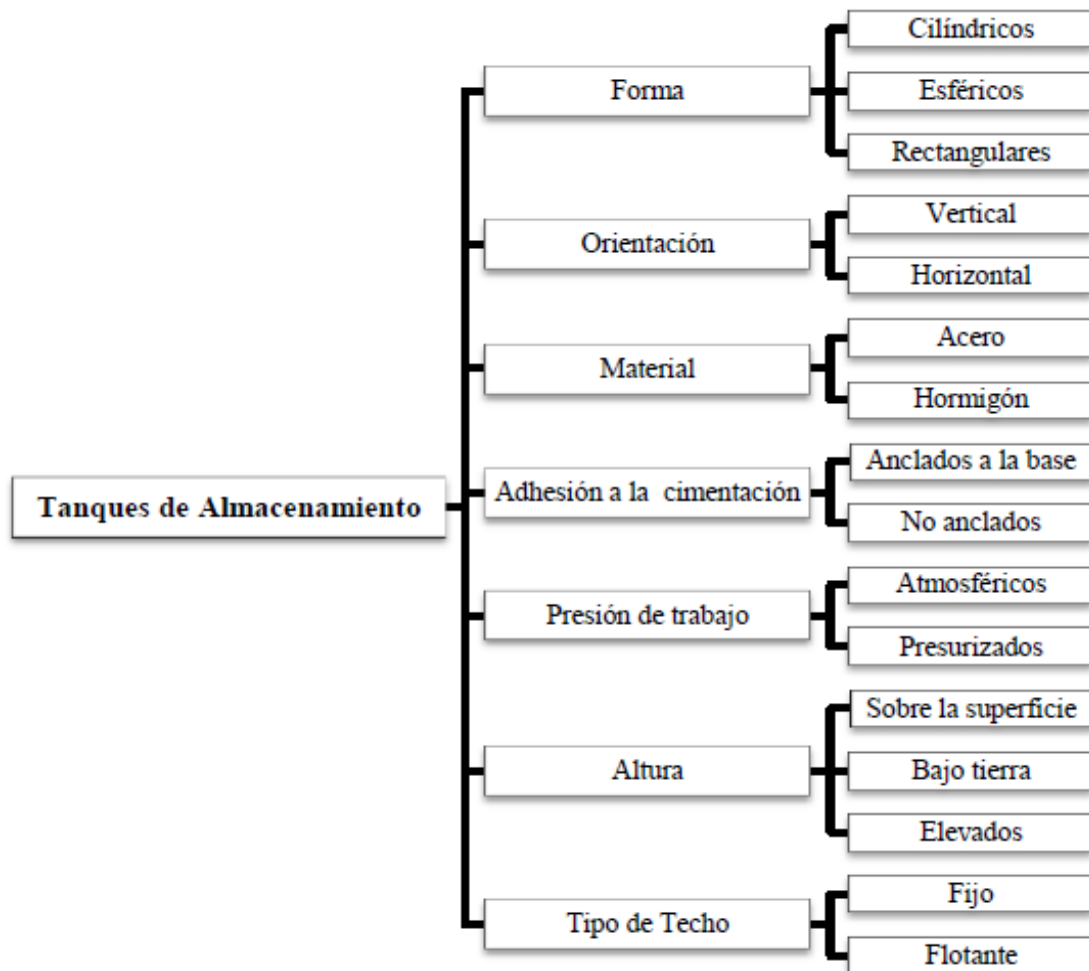
La presente investigación solo se realizará la evaluación estructural del anillo de cimentación ante la adecuación al decreto supremo DS-017-2013-EM.

En las *bases teóricas*, los *tanques de almacenamiento* son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica, usados para guardar y/o preservar líquidos o gases a presión ambiente, por lo que en ciertos medios técnicos se les da el calificativo de tanques de almacenamiento atmosféricos. (Gonza Sánchez, 2014)

Existen varios criterios para clasificar los tanques de almacenamiento basándose en funcionalidad, capacidad, construcción, etc.; a continuación, se detalla una clasificación según varios parámetros generales y que se toman como referente en la construcción de tanques a nivel nacional por las diversas empresas especializadas en este tipo de construcciones:

**Figura 1**

*Clasificación general de tanques de almacenamiento*



Fuente: (Pupiales Valdivieso, 2013)

Esta clasificación cubre la gran mayoría de configuraciones posibles de tanques usados en diferentes industrias de producción y servicios, otros factores como espacio disponible, costos de construcción y uso, determinan la forma del tanque. (Pupiales Valdivieso, 2013)

## Figura 2

*Tanques representativos de almacenamiento de hidrocarburo*



Fuente: (Titenti Javier)

El estándar API 650 para tanques de acero soldado para almacenamiento de líquidos, determina los requisitos para materiales, diseño y ejecución del proyecto, fabricación, montaje y pruebas para tanques cilíndricos verticales situados encima del suelo, techados o abiertos, de acero soldado, en varios tamaños y capacidades, para presiones internas aproximadamente iguales a la atmosférica, excepto para casos cuando los requisitos adicionales del anexo F (estándar API 650) son atendidos (admite presiones internas más altas que la atmosférica). (De León Arreaga, 2010)

Dentro de la estructura de la norma API 650 tenemos que tomar especial interés en los anexos:

- Anexo E, diseño sísmico para tanques de almacenamiento
- Anexo EC, comentario sobre el apéndice E

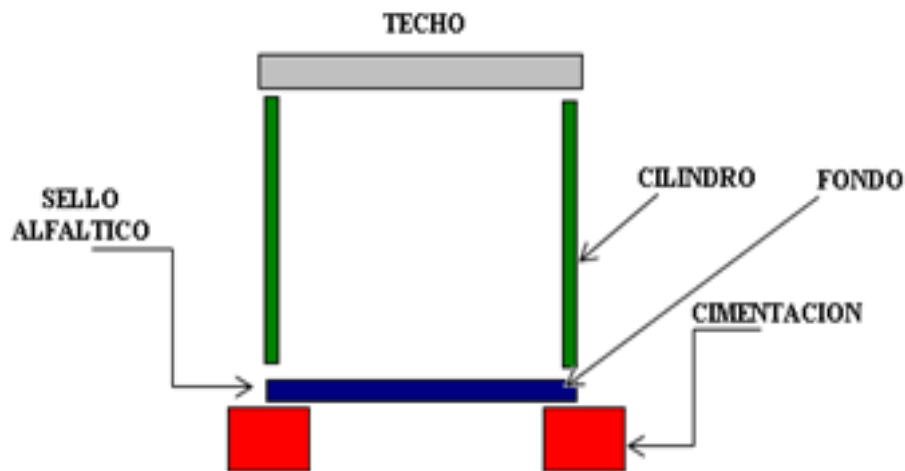
Fuente: API 650 Welded tanks for oil storage (API 650, 2020)

Los tanques según el estándar API 650 se definen como tanques, cilíndricos verticales, sobre tierra, no refrigerados de tope abierto o cerrado, construidos con planchas de acero soldadas, para almacenar crudos y sus derivados, donde la temperatura no excede 500 F (260 C°) y de presión manométrica de 2.5 psi (1700 mm de agua), dichos tanques cubren los requisitos mínimos, para diseño, fabricación, materiales e inspección en fin cumplen con la mayoría de requisitos del estándar de tanques de acero soldados para almacenamiento de petróleo. (De León Arreaga, 2010)

Los tanques de almacenamiento se conforman de techo, cilindro (pared de tanque), fondo, cimentación, accesorios y sellante, todo esto apoyado en el suelo.

### Figura 3

*Esquema de las partes de un tanque de almacenamiento*



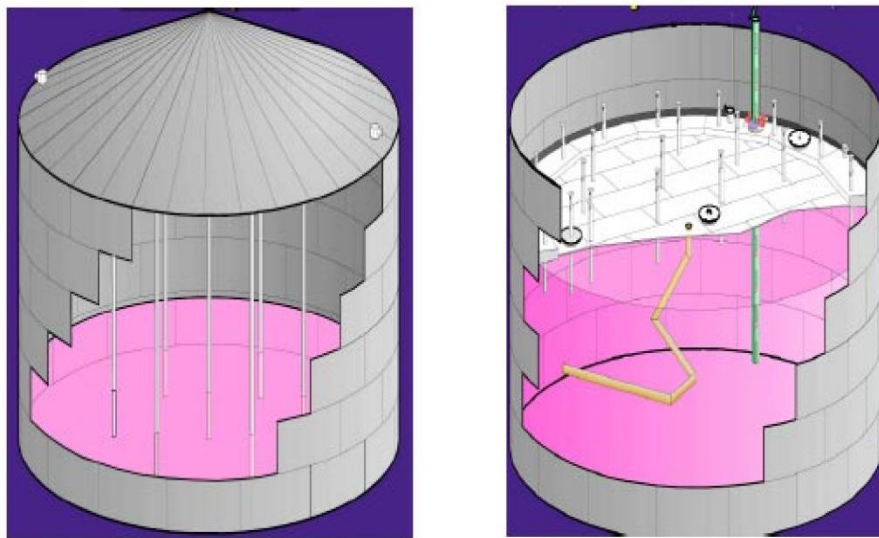
Fuente: (Mayorga Toala, 2013)

El *techo* de un tanque tiene el propósito de proteger el contenido de los elementos, tales como lluvia, viento y sol. Estos pueden tener forma plana, cónica o esferoidal; estructuralmente pueden clasificarse como soportados, auto soportantes o flotantes que, por lo general están formados por una estructura soportante y una capa no estructural de planchas de acero, las cuales forman la cubierta. Las placas del techo (excepto para techos

auto soportados) tienen que tener un espesor mínimo de 3/16 de pulgada. (De León Arreaga, 2010)

**Figura 4**

*Tanque de techo fijo (izquierda) y tanque de techo flotante (derecha)*



Fuente: (Titenti Javier)

**Figura 5**

*Tanque de techo fijo de un tanque en operación*



Fuente: Elaboración propia

La *pared* del tanque es el elemento principal de su estructura. Ésta tiene la función de confinar el contenido, darle soporte y unidad a todas las demás partes que forman el tanque y está formada por planchas rectangulares de acero unidas en sucesión que constituyen anillos de tensión. (De León Arreaga, 2010)

### Figura 6

*Pared de un tanque vertical de almacenamiento de hidrocarburos*



Fuente: (Titenti Javier)

El *fondo* del tanque tiene la función de aislar el contenido del tanque del suelo que soporta el tanque, evitando filtraciones y pérdidas de líquido, así como contaminación del contenido por elementos del suelo y viceversa. Este elemento no es estructural, ya que el peso de la columna de líquido almacenado es resistido por una fuerza de igual magnitud proporcionada por el suelo, por lo que no requiere diseño directo y comúnmente está formado por planchas rectangulares de acero, colocadas una a la par de las otras, alternando las juntas en un sentido, tapizando toda el área debajo del tanque. Estas planchas usualmente tienen un espesor mínimo de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, sin contar el espesor adicional por corrosión, ya que éstas están muy expuestas a los elementos corrosivos que el suelo pueda presentar. Estas planchas pueden ser unidas de dos maneras distintas, siendo las de unión traslapada y de soldadura a tope, cada una con sus ventajas y desventajas. (De León Arreaga, 2010)



**Figura 7**

*Vista de un fondo de tanque desde el interior*



**Figura 8**

*Vista de un fondo de tanque, vista superior*



Fuente: Elaboración propia

El anillo de concreto de cimentación donde descansa toda la estructura metálica de fondo, pared, techo y accesorios del tanque, en todo momento estará apoyado sobre el suelo y para ello antes de realizar la cimentación se debe de realizar un *estudio de mecánica de suelos (EMS)* para determinar sus propiedades tanto físicas como químicas del suelo de cimentación.

El *suelo* es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan”. (Crespo Villalaz, 2004)

Principales tipos de suelos:

- **Gravas:** Son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de 2 mm de diámetro. Ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3”) hasta 2 mm.
- **Arenas:** Es el nombre que se da a los materiales finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2.0 mm a 0.05mm de diámetro.
- **Limos:** Son suelos de granos finos con o ninguna plasticidad, pudiendo ser *limo inorgánico* como el producido en canteras, o *limo orgánico* como el que suele encontrarse en ríos, siendo este último de características plásticas. El diámetro de sus partículas está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm.
- **Arcillas:** Se da este nombre a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

## Figura 9

*Símbolos representativos de suelos*

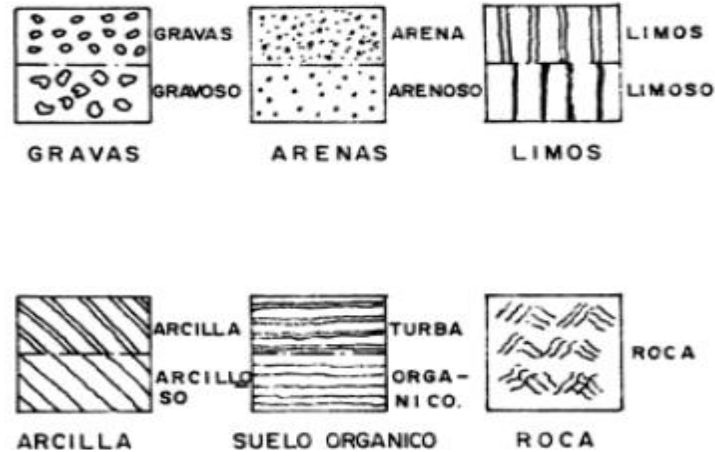


Fig. N°-1.9. Símbolos representativos de suelos

Fuente: (Crespo Villalaz, 2004)

Por lo que, en el sentido general de la ingeniería, el suelo también lo podemos definir como el agregado no cementado de grano mineral y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales. (Paucar Teniente, 2016)

Para conocer en qué tipo de suelo se realizará el trabajo es necesario realizar un estudio de suelo y por ende su clasificación, el sistema más apropiado para clasificar el suelo para un análisis de cimentación es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

El SUCS utiliza símbolos para clasificar un suelo, de acuerdo con su tipo y característica:

**Tabla 1**

*Símbolos para Clasificar un Suelo*

Símbolo	Significado
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Suelo orgánico
W	Bien graduado
P	Mal graduado
L	Baja compresibilidad
H	Alta compresibilidad






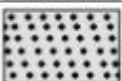








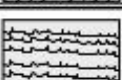
Fuente: (Morales Curo, 2018)

Existen suelos gruesos y finos; en los suelos gruesos se tiene las gravas (G) y las arenas (S) de tal modo que un suelo pertenece al grupo de las gravas (G) si más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N° 4, y pertenece al grupo de las arenas (S) en caso contrario. Tanto como las gravas como las arenas se dividen en cuatro grupos (GW, GP, GM, GC) y (SW, SP, SM, SC), respectivamente.

Los suelos finos el sistema unificado los considera agrupados en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido menor de 50%, en tres grupos para los limos y arcillas con límite mayor de 50% y en un grupo para los suelos finos altamente orgánicos. Si el límite líquido del suelo es menor de 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad bajo o media, se añade el sufijo L a los prefijos M, C y O, obteniéndose de ese modo los símbolos ML (limos inorgánicos de baja compresibilidad) y CL (arcillas inorgánicas de baja compresibilidad) y OL (limos orgánicos de baja compresibilidad). (Paucar Teniente, 2016)

**Figura 10**

*Clasificación de suelos*

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Pt		TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS.	

Fuente: RNE E. 050 Suelos y Cimentaciones. (Villavicencio Ugarte)

En el suelo puede observarse la existencia de una fase sólida formada por las partículas minerales, una fase líquida que sería el agua intersticial libre y una parte gaseosa que reúne al aire o vapores producto de la descomposición orgánica atrapados entre los sólidos. (Archenti Zegarra, 2018)

Algunas características importantes tenemos:

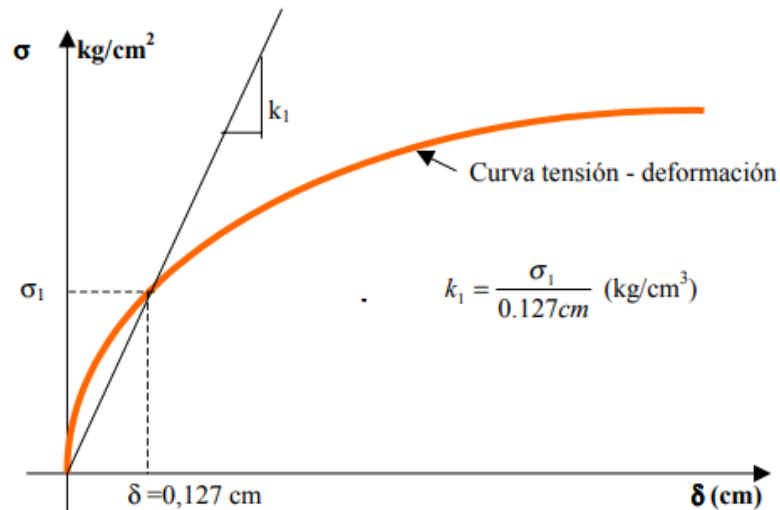
- Tubificación: Es la socavación del suelo por un gradiente hidráulico alto. Los limos y arenas presentan baja resistencia a la tubificación y las arcillas de media a alta. Es muy importante en este aspecto la heterogeneidad de los depósitos.
- Licuación: Es la pérdida de la resistencia al corte que sufren los suelos a causa de sacudidas bruscas o sismos. (Guilcapi Alomoto, 2008)

La determinación del coeficiente de balasto y la realización del ensayo SPT son indispensables a la hora de comprobar las características mecánicas del suelo en campo, con los datos obtenidos en laboratorio.

- Coeficiente de balasto: El módulo de Reacción o Coeficiente de Balasto se define como: La relación entre la tensión capaz de generar una penetración de la placa en el terreno de 0,05” que equivale a una deformación de 0,127 cm, es decir que este coeficiente es la pendiente de la recta que une el origen de coordenadas con el punto de la curva “tensión – deformación” que genera un asentamiento de la placa de 0,127 cm. (José Leoni, 2020)

**Figura 11**

*Grafica de coeficiente de balasto*



Fuente: (Crespo Villalaz, 2004)

En el ámbito de las cimentaciones el método más usado es del coeficiente de balasto, el cual considera el terreno como un conjunto infinito de muelles situados bajo una viga deformable, que viene a ser la cimentación. Dichas constantes de deformación de cada muelle es el coeficiente de balasto  $K_s$ , cuyo valor es determinado del cociente entre la presión de contacto ( $q$ ) y la penetración o asentamiento ( $\delta$ ) que es obtenida mediante el ensayo de carga. (Requena Nacho, 2007)

$$K_s = \frac{q}{\delta} \dots \text{ Ecuac. 1}$$

Ecuac. N°-1. Ecuación de Balasto

Para **tanques y reservorios de combustible**, el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E. 050 Suelos y Cimentaciones determina que existe obligatoriedad de un EMS con alcances y responsabilidades del profesional solicitante o entidad solicitante para los fines correspondientes al estudio.

La norma E. 050 define al EMS como conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tienen por objeto estudiar el

comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las sollicitaciones estáticas y dinámicas de una edificación. Que debe ser obligatoriamente considerado en el diseño: estructural y del sostenimiento de las excavaciones y durante la construcción del proyecto.

(Villavicencio Ugarte)

El EMS se realiza para determinar las características tanto físicas como químicas del suelo, así como sus propiedades mecánicas del terreno. Por esta razón es muy indispensable, el conocimiento del área de cimentación, la naturaleza de la estratigrafía del suelo y las condiciones del agua subterránea. (Filippi Arriaga, 2012)

La *mecánica de suelos* es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica. (Santa Cruz Perales, 2018)

El objetivo principal de un EMS es obtener los parámetros de resistencia del suelo como el ángulo de fricción, cohesión, la capacidad admisible entre otros parámetros necesarios para el diseño de la cimentación. (Morales Curo, 2018)

## Tabla 2

Capacidad Admisible de carga

Tipo de Suelo: Arcilla	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )
Duro	2,50 – 500
Compacto	1,25 – 2,50
Blando	0,75 – 1,25
Muy Blando	0,00 – 0,75

Fuente: (Gonzabay Carvajal, 2019)



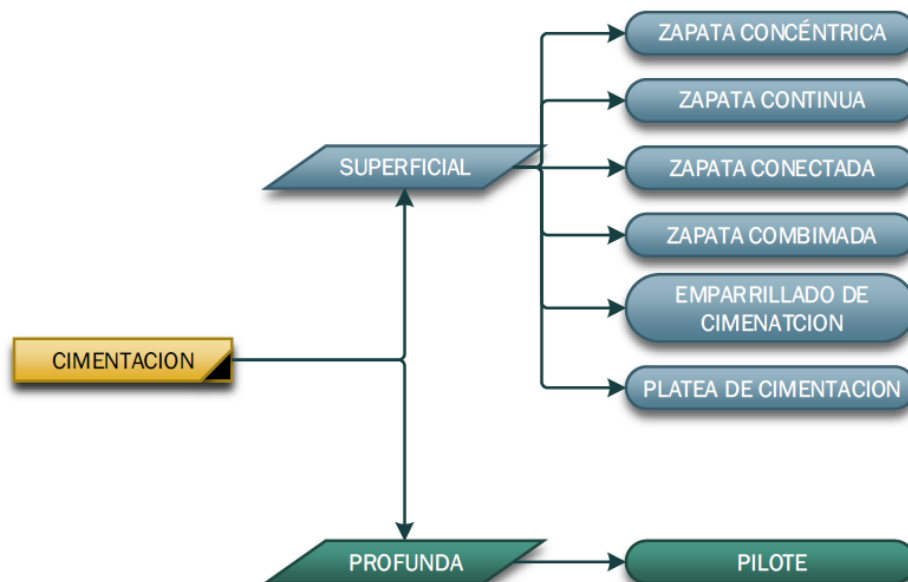
La **cimentación** para tanques de almacenamiento tiene la función de soportar las cargas del tanque y distribuir las de una manera más uniforme sobre el suelo, para evitar asentamientos diferenciales indeseables; además brinda una superficie uniforme donde se realiza el montaje de la estructura del tanque y también sirve de protección contra la humedad, ya que separa al tanque de la humedad del suelo. (Gonza Sánchez, 2014)

Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la estructura al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su esfuerzo admisible. La cimentación es la parte de la estructura que permite la transmisión de las cargas generadas por la estructura hacia el suelo o hacia la roca subyacente. (Carranza Morales, Ponce Torres, 2017)

Las cimentaciones pueden dividirse en diferentes alternativas como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 12**

*Esquema de tipos de cimentaciones*



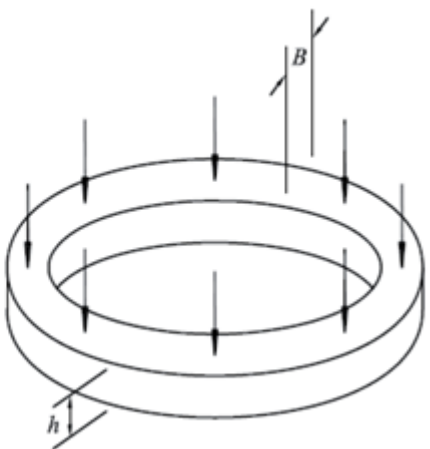
Fuente: (Morales Curo, 2018)

La cimentación superficial según el RNE norma E.050 Suelos y Cimentaciones es aquella en la cual la relación Profundidad/Ancho ( $D_f / B$ ) es menor o igual a 5, siendo  $D_f$  la profundidad de la cimentación y  $B$  el ancho o diámetro de la misma. (Villavicencio Ugarte)

Entre estas cimentaciones superficiales se encuentra las zapatas concéntricas, zapatas conectadas, zapatas combinadas, zapatas continuas y plateas de cimentación. Estos son elementos estructurales, por lo general, de forma cuadrada o rectangular, a veces circular, cuya misión es transmitir las cargas de la estructura al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su esfuerzo admisible. (Morales Curo, 2018)

### Figura 13

*Esquema de anillo continuo RNE E.050*

Zapata	Dimensiones	Forma
Anillo continuo	Perímetro medio $P \geq 10 B$	

Fuente: RNE E.050 (Villavicencio Ugarte)

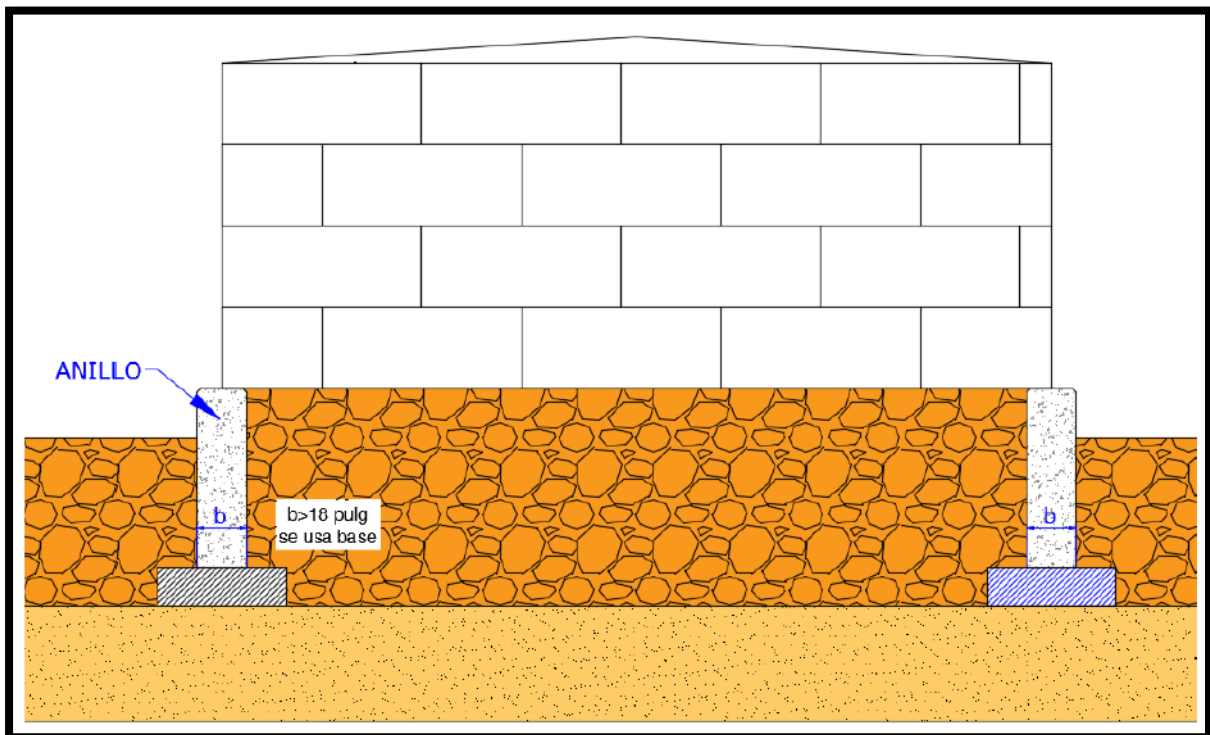
Este cimiento consiste en un anillo de concreto reforzado con acero estructural, el cual sigue el perímetro del tanque, confinando el material de relleno dentro del mismo, formando una placa de suelo en estado de compresión triaxial.

Este cimiento es utilizado cuando se considera que el suelo no será capaz de darle un soporte adecuado a la pared del tanque y su contenido. Un cimiento anular de concreto proporciona una buena distribución de las cargas que transmiten las paredes del tanque, como también

una superficie sólida y nivelada que no se moverá durante la erección del tanque y el confinamiento del anillo minimiza la humedad por debajo del tanque al mismo tiempo que evita la erosión del material de relleno. (De León Arreaga, 2010)

**Figura 14**

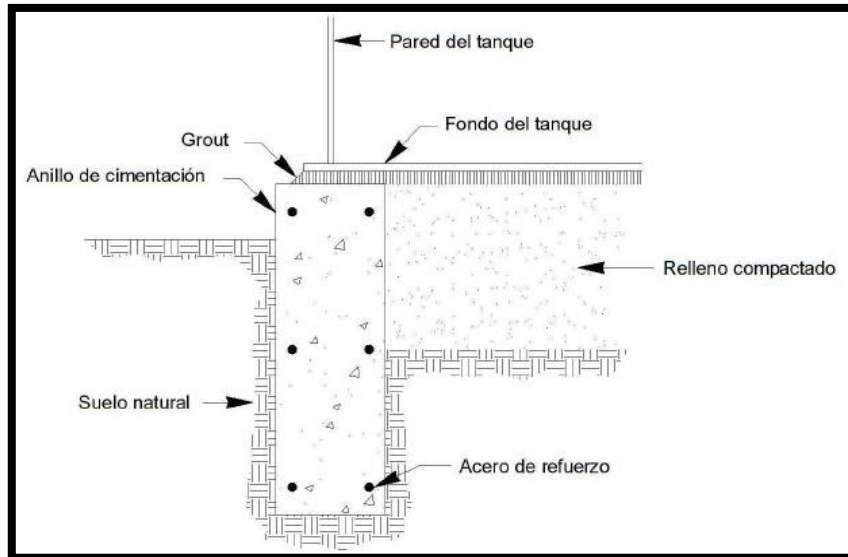
*Anillo de cimentación de acuerdo API 650*



Fuente: (Gonzabay Carvajal, 2019)

**Figura 15**

*Sección típica de anillo de cimentación para tanques de almacenamiento*



Fuente: (De León Arreaga, 2010)

**Figura 16**

*Ejemplo de construcción de un anillo de cimentación*



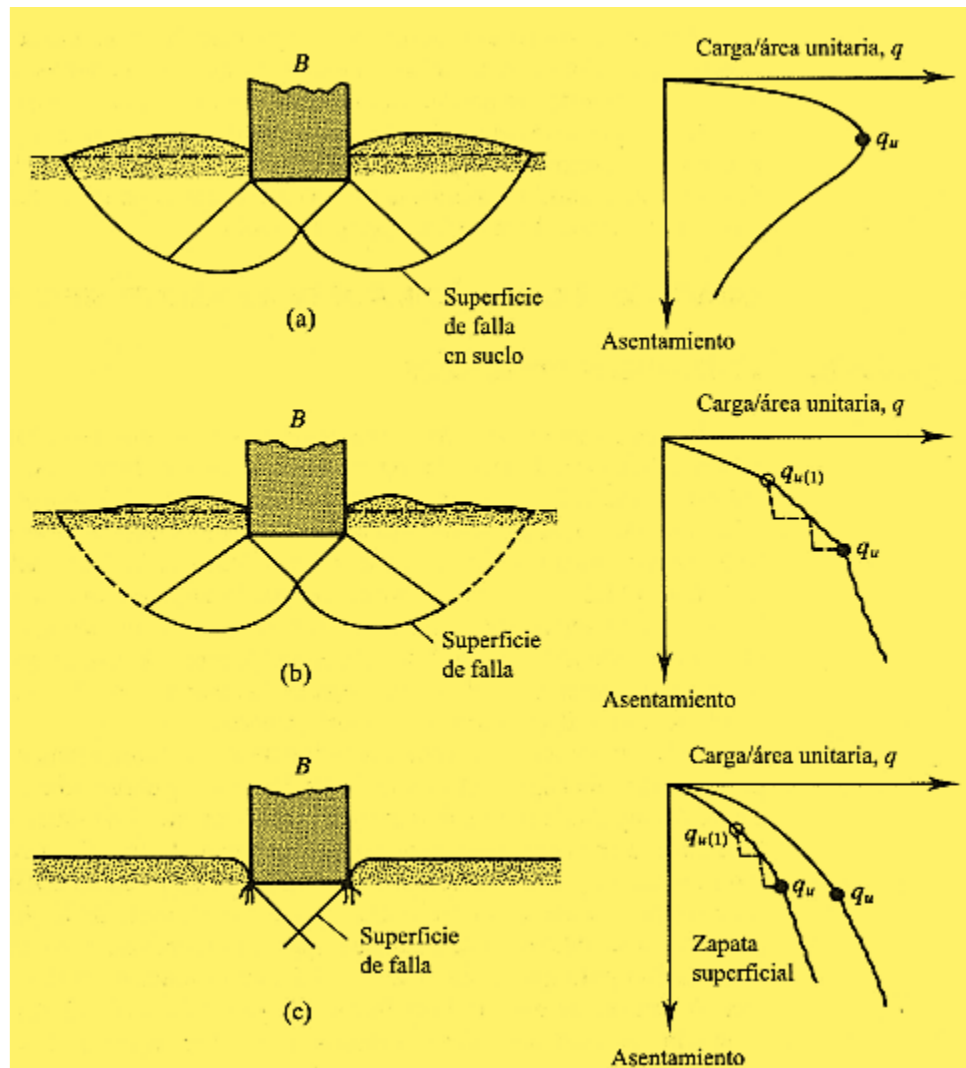
Fuente: (De León Arreaga, 2010)

La capacidad de carga en las cimentaciones superficiales se puede definir como la carga por unidad de área bajo la fundación bajo la cual se produce la falla por corte, es decir, es la mayor presión unitaria que el suelo puede resistir sin llegar al estado plástico. Al cargar un suelo de fundación su superficie sufre asentamientos que se pueden graficar en función de la carga unitaria o presión media. La falla de la fundación supone asientos importantes, giro y vuelco de la estructura, según la estructura y el tipo de suelo la falla puede producirse de tres formas:

- a) Por rotura general: Se produce una superficie de rotura continua que arranca en la base de la zapata y aflora a un lado de la misma a cierta distancia. Esta es la rotura típica de arenas densas y arcillas blandas en condiciones de cargas rápidas sin drenaje.
- b) Por punzonamiento: La cimentación se hunde cortando el terreno en su periferia con un desplazamiento aproximadamente vertical.
- c) Por rotura local: Se plastifica el suelo en los bordes de la zapata y bajo la misma, sin que lleguen a formarse superficies continuas de rotura hasta la superficie. Esto es típico en arcillas y limos blandos y en arenas medias a sueltas. (Teniente Paucar, 2016)

**Figura 17**

*Falla por corte*



Fuente: (Teniente Paucar, 2016)

Para comportarse de modo aceptable las cimentaciones superficiales deben tener dos características elementales.

- Tienen que ser seguras contra la falla general por corte del suelo que las soporta.
- No pueden experimentar un desplazamiento, o un asentamiento excesivo. (El término excesivo es relativo, debido a que el grado de asentamiento permitido para una estructura depende de varias consideraciones).

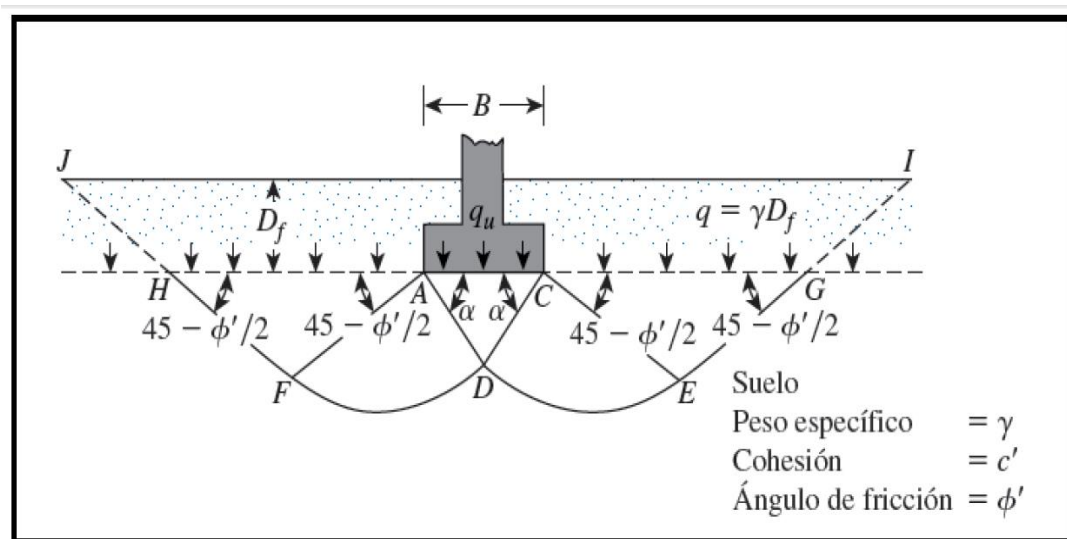
La carga por área unitaria de la cimentación a la que ocurre la falla por corte en un suelo se denomina capacidad de carga última. (Carranza Morales, Ponce Torres, 2017)

En las cimentaciones superficiales, existe un método para calcular la capacidad de carga última de un suelo que tienen las cimentaciones superficiales y estas tienen como base la teoría de Terzagui.

Según el autor una cimentación se puede considerar superficial si la profundidad de cimentación es menor o igual que el ancho de la misma  $D_f \leq B$ . Sin embargo, estudios posteriores argumentan que cimentaciones con  $D_f$  igual a 3 o 4 veces el ancho de esta pueden ser definidas también, como cimentaciones superficiales. (Santa Cruz Perales, 2018)

**Figura 18**

*Falla por capacidad de carga en suelo bajo una cimentación corrida*



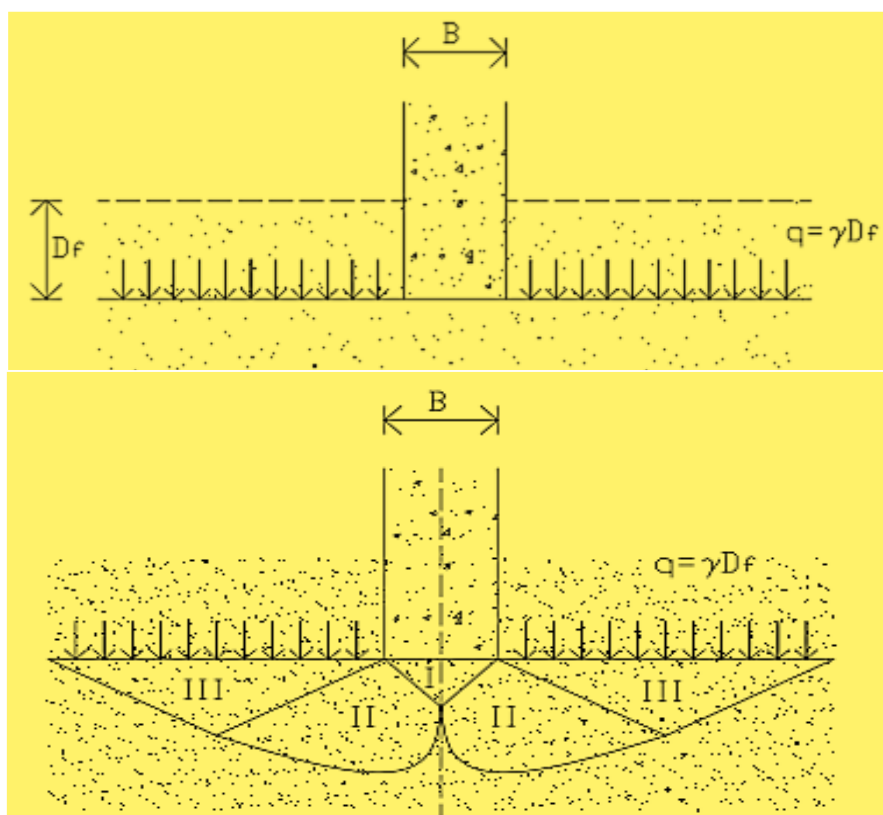
Fuente: (Carranza Morales, Ponce Torres, 2017)

Terzagui en su teoría desprecia la resistencia al esfuerzo cortante arriba del nivel de desplante del cimiento. Esta Teoría establece que una zapata continua descansa sobre una superficie de suelo, el terreno falla a través de tres zonas. Debido a la fricción y cohesión entre el suelo y la base de la cimentación, la zona I actúa como una cuña que se introduce en el suelo como si fuera parte de la zapata formando el los lados del triángulo ángulos de

( $45^\circ$  o  $+\phi/2$ ); las zonas II son de deformación tangencial radial y las curvas de falla son espirales logarítmicas, cuyos centros se localizan en las aristas de la base de la cimentación; Las zonas III son zonas de estado plástico pasivo de Rankine y sus fronteras forman un ángulo de ( $45^\circ$  o  $-\phi/2$ ) con la horizontal. (Teniente Paucarr, 2016)

### Figura 19

*Método Terzagui*



Fuente: (Teniente Paucarr, 2016)

El efecto del suelo sobre el fondo de cimentación puede ser reemplazado por una sobre carga equivalente efectiva.

$$q = \gamma D_f \dots \text{Ecuac. 2}$$

Ecuac. N°-2. Carga equivalente efectiva

Donde  $\gamma$  = peso específico del suelo.



La zona de falla bajo la cimentación puede fraccionarse en tres sub-zonas:

- La zona triangular o cuña, inmediatamente bajo la cimentación.
- La zona activa.
- La zona pasiva

Notar que, las zonas activa y pasiva se repiten en ambos extremos de la cuña por lo que se usa un análisis de equilibrio (Santa Cruz Perales, 2018)

Por lo anterior se deduce que la capacidad de carga de un suelo depende de:

- Resistencia al esfuerzo cortante (cohesión y/o fricción)
- Ancho de la cimentación
- Peso volumétrico del suelo y del relleno arriba del nivel de desplante
- Profundidad del cimiento

Por lo que Terzagui propone la siguiente fórmula para determinar la capacidad de carga última de un cimiento continuo, poco profundo: (Teniente Paucarr, 2016)

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN\gamma \dots \text{Ecuac. 3}$$

Ecuac. N°-3. Capacidad de carga última de un cimiento continuo

Donde:

C = Cohesión del suelo

$\gamma$  = Peso Específico del suelo

$q = \gamma D_f$

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo  $\phi$ .

Los factores de capacidad de carga  $N_c, N_q$  y  $N_\gamma$  se definen mediante las expresiones:

$$Nc = 2\tan^3\theta + 2\tan\theta \dots \text{Ecuac. 4}$$

$$Nq = \tan^4\theta \dots \text{Ecuac. 5}$$

$$N\gamma = \tan^5\theta \dots \text{Ecuac. 6}$$

Ecuac. N°-4. Factor de capacidad de carga Nc

Ecuac. N°-5. Factor de capacidad de carga Nq

Ecuac. N°-6. Factor de capacidad de carga N $\gamma$

O también se tiene que factores de carga los determinan los diferentes códigos de construcción, según los tipos de suelos. Se pueden determinar a través de las siguientes formulas:

$$Nc = \frac{(Nq-1)}{\tan\varphi} \dots \text{Ecuac. 7}$$

$$Nq = e^{\pi\tan\varphi} \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \dots \text{Ecuac. 8}$$

$$N\gamma = 2(Nq + 1)\tan\varphi \dots \text{Ecuac. 9}$$

Ecuac. N°-7. Factor de capacidad de carga equivalentes Nc

Ecuac. N°-8. Factor de capacidad de carga equivalentes Nq

Ecuac. N°-9. Factor de capacidad de carga equivalentes N $\gamma$

Para estimar la capacidad de carga última de cimentaciones cuadradas y circulares, la ecuación se puede modificar respectivamente a:

$$qu = 1.3c'Nc + qNq + 0.4\gamma BN\gamma \text{ (cimentación cuadrada) Ecuac. 10}$$

$$qu = 1.3c' + qNq + 0.3\gamma BN\gamma \text{ (cimentación circular) Ecuac. 11}$$

Ecuac. N°-10. Capacidad de carga última de cimentaciones cuadradas

Ecuac. N°-11. Capacidad de carga última de cimentaciones circular

Para cimentaciones que presentan el modo de falla local por corte en suelos, Terzaghi sugirió las modificaciones siguientes para las ecuaciones:

$$qu = \frac{2}{3}c'N'c + qN'q + \frac{1}{2}\gamma BN'\gamma(\text{cimentación continua}) \text{ Ecuac. 12}$$

$$qu = 0.867c'N'c + qN'q + 0.4\gamma BN'\gamma(\text{cimentación cuadrada}) \text{ Ecuac. 13}$$

$$qu = 0.867c'N'c + qN'q + 0.3\gamma BN'\gamma(\text{cimentación circular}) \text{ Ecuac.14}$$

Ecuac. N°-12. Capacidad de carga última con modo de falla local de cimentación continua

Ecuac. N°-13. Capacidad de carga última con modo de falla local de cimentación cuadrada

Ecuac. N°-14. Capacidad de carga última con modo de falla local de cimentación circular

$N'c$ ,  $N'q$ ,  $N'\gamma$  Los factores de capacidad de carga modificados, se pueden calcular utilizando las ecuaciones de los factores de capacidad de carga reemplazando  $\phi$  por

$\phi' = \tan^{-1}(23 \tan \phi)$  la variación de  $N'c$ ,  $N'q$ ,  $N'\gamma$  con el ángulo de fricción del suelo  $\phi$  se da en la siguiente tabla:

### Figura 20

*Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi*

$\phi'$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$	$\phi'$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (Braja Das) (Carranza Morales, Ponce Torres, 2017)

Las ecuaciones de capacidad de carga de Terzaghi ahora se han modificado para tomar en cuenta los efectos de la forma de la cimentación (B/L), la profundidad de empotramiento (Df) y la inclinación de la carga. (Carranza Morales, Ponce Torres, 2017)

El cálculo de la **capacidad de carga permisible** bruta de cimentaciones superficiales requiere aplicar un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga última.

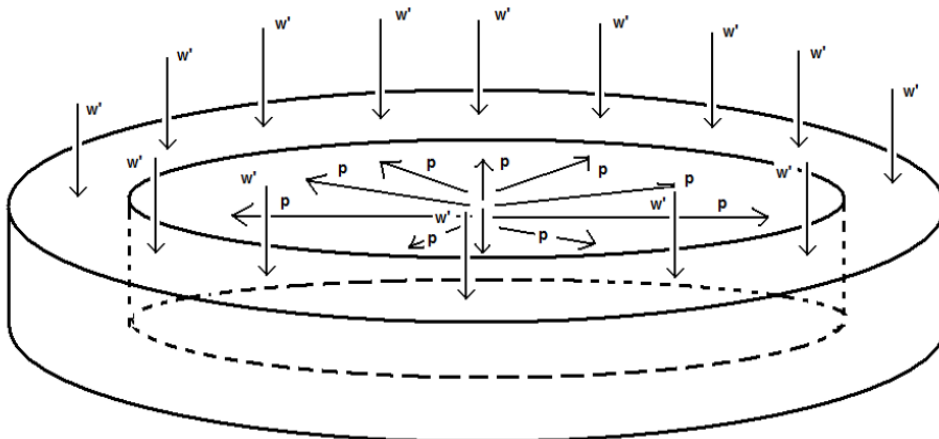
$$q_{perm} = \frac{q_u}{FS} \dots \text{Ecuac. 15}$$

Ecuac. N°-15. Factor de seguridad a la capacidad de carga última

El *diseño estructural del anillo de concreto* está sujeto a esfuerzos verticales y esfuerzos horizontales, los esfuerzos verticales los resiste el concreto y los esfuerzos horizontales lo resiste el acero de refuerzo, el diseño de los mismos se describe a continuación.

### Figura 21

*Anillo de cimentación, esfuerzos verticales y horizontales*



Fuente: (De León Arreaga, 2010)

El *esfuerzo vertical* está basado en la carga o peso de los materiales que conforman la pared del tanque y el techo (ver figura 1.19). La dimensión o área de contacto del anillo de cimentación está prevista para que la presión de los materiales sea menor que la capacidad soporte del suelo. La dimensión del anillo la obtenemos mediante las siguientes ecuaciones:

$$W' = \frac{W_{techo} + W_{pared}}{P_{tanque}} \dots \text{Ecuac. 16}$$

$$b = \frac{24W'}{H\gamma_L - 80hs} \dots \text{Ecuac. 17}$$

Ecuac. N°16. Peso distribuido sobre cimientado por pie lineal

Ecuac. N°-17. Espesor del cimientado en pulgadas

Donde:

- $b$  = Espesor del cimientado en pulgadas
- $W'$  = Peso distribuido sobre cimientado por pie lineal
- $W_{techo}$  = Peso de techo en lb
- $W_{pared}$  = Peso de pared del tanque en lb
- $P_{tanque}$  = Perímetro del tanque en pies
- $H$  = Altura de operación del líquido almacenado en pies
- $\gamma_L$  = Peso unitario de líquido en lb/pie<sup>3</sup>
- $hs$  = Peralte de cimientado en pies

Los *esfuerzos horizontales* son provocados por la presión activa del suelo, esta a su vez es provocada por el peso propio del líquido almacenado más sus sobrecargas (ver figura 1.19). Para calcular dicho esfuerzo es necesario calcular la presión que ejerce el líquido sobre el suelo por columna del líquido la misma se calcula mediante la siguiente expresión.

$$PL = H\gamma_L \dots \text{Ecuac. 18}$$

Ecuac. N°-1.18. Presión sobre el suelo provocado por el líquido en lb/pie<sup>2</sup>

Donde:

- $PL$  = Presión sobre el suelo provocado por el líquido en lb/pie<sup>2</sup>
- $H$  = Altura de operación del líquido en pies
- $\gamma_L$  = Peso específico del producto en lb/pie<sup>3</sup>

Finalmente encontramos la fuerza de tensión con la ecuación de presión activa del suelo:

$$\sigma P = \frac{K\gamma s h s^2}{2} + K a P h s \dots \text{Ecuac. 19}$$

Ecuac. N°-19. Fuerza de tensión en lb por pie lineal

Donde:

- $\sigma P$ = Fuerza de tensión en lb por pie lineal
- $Ka$ = Coeficiente de presión activa
- $\gamma s$ = Peso de suelo en lb/pie<sup>2</sup>
- $P$ = Presión sobre el suelo en lb/pie<sup>2</sup>
- $hs$ = Peralte de cemento en pies

Como se mencionó anteriormente la fuerza o esfuerzo a tensión lo resiste únicamente el refuerzo, para encontrar el área de acero requerida procedemos primero a encontrar la fuerza total de tensión, mediante la siguiente expresión:

$$Ft = \frac{D \cdot \sigma P}{2} \dots \text{Ecuac.20}$$

Ecuac. N°-20. Fuerza total a tensión en lb

Donde:

- $Ft$ = Fuerza total a tensión en lb
- $D$ = Diámetro de tanque en pies
- $\sigma P$ = Fuerza de tensión por pie lineal en lb

La norma ACI 318 requiere que el esfuerzo permisible para el refuerzo con una tensión de fluencia de 420 Mpa (60,000 psi) bajo condiciones de servicio sea de 24000lb/pul<sup>2</sup>, teniendo esto en cuenta el refuerzo requerido para la fuerza total en tensión y el esfuerzo permisible es de:

$$A = \frac{Ft}{\sigma t} \dots \text{Ecuac. 21}$$

Ecuac. N°-1.21. Área de refuerzo en pulgadas cuadradas

Donde:

- A= Área de refuerzo en pulgadas cuadradas
- Ft= Fuerza total de tensión
- $\sigma$ = Esfuerzo permisible de refuerzo de acero en lb/pul<sup>2</sup>

Adicionalmente cuando colocamos acero de refuerzo necesitamos refuerzo transversal el área de refuerzo transversal la calculamos con la siguiente ecuación:

$$A = RdKa \frac{\left(62.5H + \frac{\gamma Sd}{2}\right)}{f_s} \dots \text{Ecuac. 22}$$

Ecuac. N°-22. Área de refuerzo transversal en pul<sup>2</sup>

Donde:

A = Área de refuerzo transversal en pul<sup>2</sup>

R = Radio de tanque en pies

d= Peralte de cimiento en pies

H= Altura del líquido de operación en pies

$\gamma$ S= Peso unitario del suelo en lb/pie<sup>3</sup>

f<sub>s</sub>= Esfuerzo de tensión con cargas de servicio

K<sub>a</sub>= Coeficiente activo del suelo

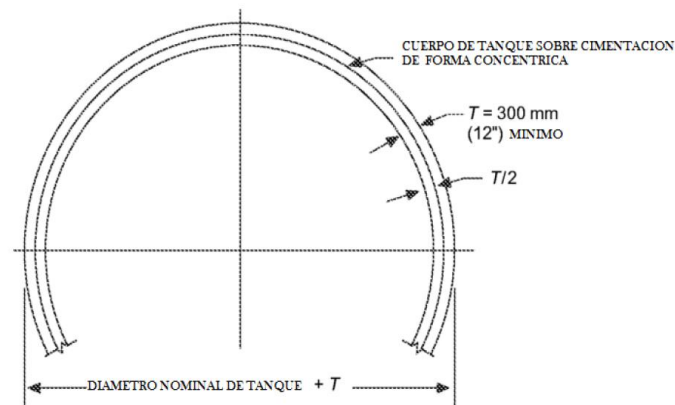
El estándar API 650 en la sección B tiene algunas consideraciones para una cimentación anular de concreto:

- El espesor del anillo debe de ser como mínimo 12 pulgadas
- El lugar de contacto entre el tanque y el suelo debe de ser material compactado y libre de arena
- La pared del tanque debe descansar sobre el cimiento de forma concéntrica es decir en el centro del cimiento

- Los bordes superiores del anillo de cimentación deben tener pendientes de 100% y 50% respectivamente
- Debe de existir una diferencia de nivel entre la parte superior del anillo y el nivel del suelo esta diferencia debe de ser de 1 pie
- Alrededor del tanque debe existir una pendiente para drenar toda el agua producto de lluvia o por otra causa

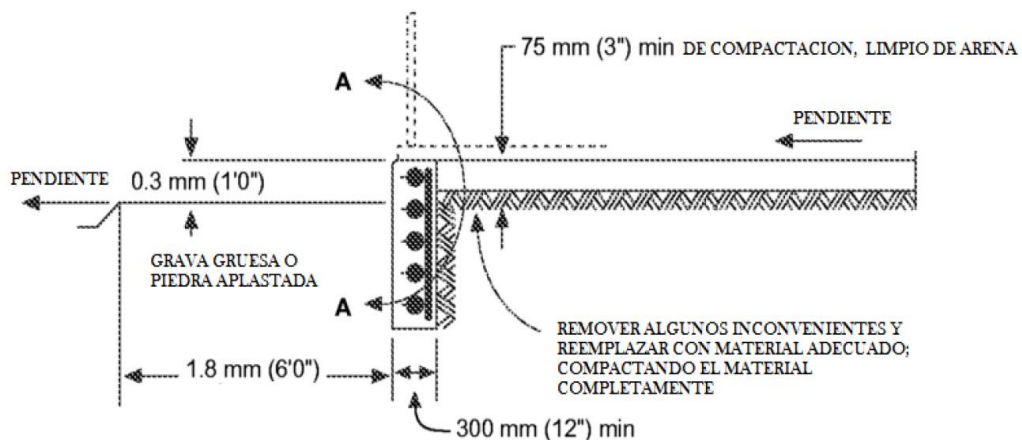
**Figura 22**

*Plano de cimientación anular de concreto*



**Figura 23**

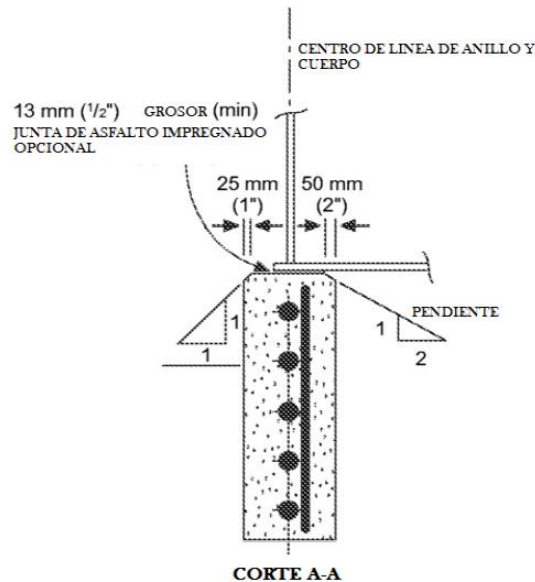
*Sección transversal y condiciones de entorno*





**Figura 24**

*Sección transversal y condiciones de entorno*



Fuente: Estándar API 650, anexo B

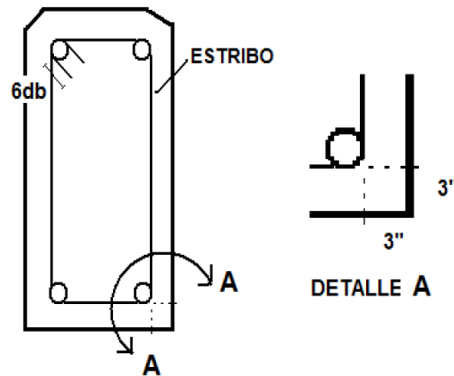
Además de las consideraciones anteriores el estándar API 650 requiere que se respeten ciertas consideraciones del código ACI 318, tales como:

Cuando el concreto este expuesto contra el suelo se debe dar un recubrimiento de 3 pulgadas como mínimo al refuerzo para protegerlo de cualquier corrosión:

- Cuando se utilicen estribos para el refuerzo transversal usualmente No.3 y No.4 este debe de tener ganchos a 45 grados y una longitud de 6 veces su diámetro.
- El traslape mínimo a tracción para barras (corrugadas) longitudinales debe ser de 12 pulgadas. (Gonza Sánchez, 2014)

**Figura 25**

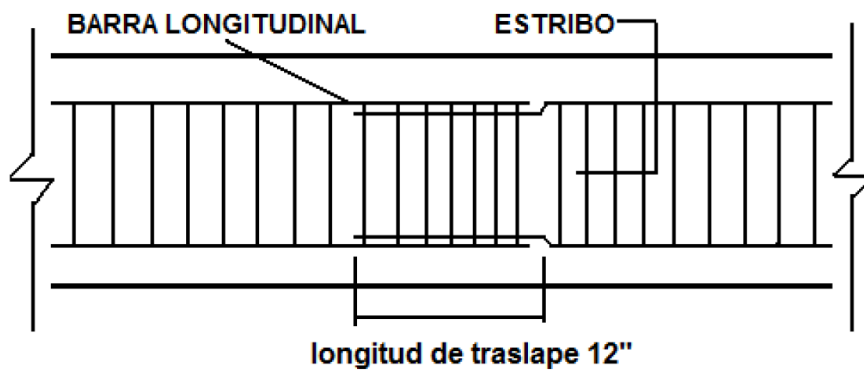
*Sección transversal de anillo de cimentación*



Fuente: (De León Arreaga, 2010)

**Figura 26**

*Longitud de traslape a tensión*



Fuente: (De León Arreaga, 2010)

Debemos de tener para el *diseño de una cimentación* para un tanque de almacenamiento de combustible las siguientes consideraciones:

Las *condiciones del entorno* afectan el diseño ya que varían otros parámetros del diseño, especialmente las cargas. Las condiciones bajo las cuales trabajará el tanque durante su vida de servicio varían según el sitio donde éste será construido.

El **sismo** es la aceleración horizontal de la masa del tanque y su contenido a causa de fuerzas geotécnicas. El sismo afecta todas las estructuras del tanque, pero primordialmente la pared del tanque. El contenido del tanque también se ve afectado, ya que, durante un evento de sismo, éste puede llegar a oscilar periódicamente en el interior

del tanque, en un modo de vaivén, causando empujes adicionales a la pared del tanque.

El **viento** afecta al tanque en la proyección de su área lateral en la forma de presión horizontal. Esta carga, por lo general, se considera como la presión causada por un viento de 100 mph (velocidad mínima de diseño según el estándar API 650), pero puede variar dependiendo de la exposición del tanque y de la velocidad promedio del lugar y/o el código utilizado.

Las **condiciones geográficas** afectan el suelo como también condiciones atmosféricas masas de agua, montañas, bosques, o ríos son de especial consideración a causa de las variantes que estos pueden producir a los otros parámetros de diseño.

Las **condiciones ambientales** pueden afectar la estructura del tanque por la atmósfera y químicos en el suelo, por lo que se deben de tomar en cuenta en el diseño.

La **corrosión permisible** afecta a los tanques de almacenamiento superficiales a causa de su contacto directo con su contenido, el suelo y los elementos de la atmósfera, se hallan sometidos a grandes efectos corrosivos. A causa de esto, es común que se especifique un sobre espesor en todos sus elementos, con el fin de tener un porcentaje del material del tanque que puede perderse a la corrosión. (Gonza Sánchez, 2014)

Las **cargas** son todas las fuerzas externas o internas que afectan la estructura del tanque, causando esfuerzo en sus elementos. El tanque ha de ser diseñado para que pueda resistirlas satisfactoriamente, con márgenes aceptables de seguridad.

- La **carga muerta** considerada en los tanques es el peso propio de todos los elementos estructurales. Esto incluye el techo, las paredes, y cualquier otro accesorio que se encuentre fijo a la estructura, tal como escaleras, válvulas y similares.

Es importante que a causa de la naturaleza de desgaste que pueden tener los tanques, en algunos casos sea requerido que se calcule el peso estructural con las admisiones de

corrosión y sin ellas. Esto se debe a que en algunos casos éstas pueden dar estabilidad, pero en otros no y, por lo tanto, se tienen que considerar ambos extremos de carga.

- La **carga viva** que se considera es aplicada en los techos de los tanques, el estándar API 650, por ejemplo, especifica una carga distribuida mínima de 25 PSF (lb/pies<sup>2</sup>), aunque puede variar dependiendo del código utilizado, o por requerimientos del cliente.
- La **carga hidrostática** a causa de la naturaleza de los líquidos que ejercen presiones de manera horizontal como vertical, por lo que hay que considerarlos y determinar los esfuerzos que estas presiones causan.
  - **Presión vertical**, es la que se ejerce sobre el suelo a causa del peso de la columna de líquido que yace sobre este. Esta carga es de magnitud proporcional a la altura de líquido contenido en el tanque, como también lo es del peso específico del mismo.
  - **Presión horizontal**, Es ejercida sobre las paredes del tanque, y al igual que la presión vertical depende del peso del líquido y la profundidad de este al punto de diseño. Esta presión varía a lo largo de la altura de la pared del tanque, por lo que el diseño requiere varios puntos de referencia.
  - El **Viento** afecta al tanque en la proyección de su área lateral en la forma de presión horizontal. Esta carga, por lo general, se considera como la presión causada por un viento de 100 MPH (velocidad mínima de diseño según el estándar API 650), pero puede variar dependiendo de la exposición del tanque y de la velocidad promedio del lugar y/o el código utilizado. El viento presenta la posibilidad de deslizar el tanque horizontalmente y/o de producirle un momento de volteo, especialmente cuando este se encuentra vacío. Esto sucede a causa de que el contenido del tanque tiende a estabilizarlo bajo cargas laterales externas, dándole mayor resistencia a las mismas. Es por ello que, para el diseño del tanque bajo cargas de viento, es necesario considerar el tanque bajo condiciones críticas, que sería sin contenido.
  - El **sismo** es la aceleración horizontal de la masa del tanque y su contenido a causa de fuerzas geotécnicas. El sismo afecta todas las estructuras del tanque, pero primordialmente la pared del tanque. El contenido del tanque también se ve afectado, ya que, durante un evento de sismo, éste puede llegar a oscilar

periódicamente en el interior del tanque, en un modo de vaivén, causando empujes adicionales a la pared del tanque.

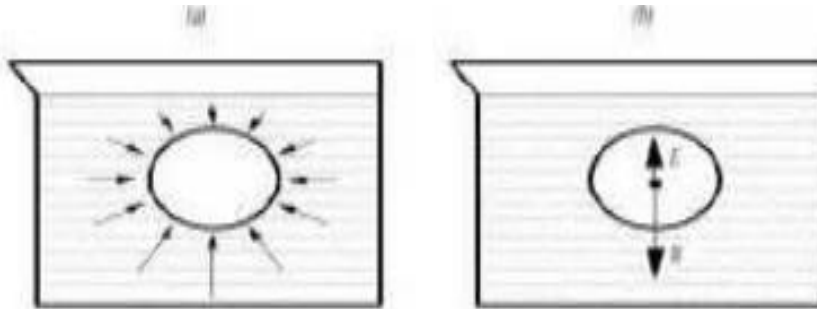
Al igual que el viento, el sismo presenta la posibilidad de deslizar el tanque horizontalmente y de producirle un momento de volteo, pero a diferencia del viento, el sismo es crítico cuando el tanque está lleno. La condición del tanque bajo capacidad máxima es la que producirá cargas críticas, por lo que esta condición es la utilizada para el diseño. (De León Arreaga, 2010)

El *empuje hidrostático*, viene del hecho de que la presión de un fluido aumenta con la profundidad y del hecho de que esta presión aumentada se ejerce en todas las direcciones (Principio de Pascal), de modo que hay una fuerza neta de desequilibrio hacia arriba (Principio de Pascal) ejercida sobre el fondo del objeto sumergido. (Olmo, 2019)

Cuando un sólido se encuentra sumergido en un fluido aparecen fuerzas debidas a la presión que éste ejerce sobre aquel. Consideremos como ejemplo una esfera sumergida en un líquido. De acuerdo con la ecuación fundamental de la estática de fluidos, la presión crece con la profundidad, por lo tanto, las fuerzas ejercidas sobre los puntos del sólido más alejados de la superficie son mayores que las ejercidas sobre los puntos más cercanos. Estas fuerzas son siempre perpendiculares a la superficie (ver figura 1.25), y su resultante  $E$ , dirigida verticalmente hacia arriba, recibe el nombre de empuje. La diferencia entre el peso  $W$  del cuerpo y el empuje  $E$  es el peso aparente. Si el peso aparente es positivo ( $W > E$ ), el sólido se hundirá-, en caso contrario, flotará de tal modo que el empuje sobre la parte sumergida sea igual al peso. (Benites Carvajal, 2019)

**Figura 27**

*Empuje hidrostático*



(a) Las fuerzas (siempre normales a la superficie) ejercidas por el fluido sobre un sólido son mayores a mayor profundidad. (b) La resultante de estas fuerzas de presión es el empuje  $E$ , que se opone al peso  $W$  del cuerpo y tiende a llevarlo hacia la superficie. El cuerpo flotará si  $E > W$ , y se hundirá en caso contrario.

Fuente: (Benites Carvajal, 2019)

La aparición del empuje debido a las fuerzas de presión no está limitada al caso de los líquidos. Estas fuerzas aparecen también en los gases, si bien en éstos los valores del empuje son mucho menores debido a la menor densidad que presentan. El principio de Arquímedes establece que “el empuje sufrido por un sólido sumergido en un fluido es igual al peso del volumen de fluido que desaloja. A partir de aquí es fácil obtener una relación entre el peso aparente del cuerpo sumergido y las densidades de sólido y fluido. (Benites Carvajal, 2019)

Sea  $V$  el volumen del sólido, y  $\rho_s$  su densidad. Su peso es entonces:

$$W = \rho_s Vg \dots \text{Ecuac. 23}$$

Ecuac. N°-23. Peso aparente del cuerpo sumergido ( $g$  representa la aceleración de la gravedad).

Puesto que el volumen de fluido desplazado por el sólido totalmente sumergido es también  $V$ , el empuje viene dado por:

$$F = W - E = (\rho_s - \rho)LgV \dots) \text{ Ecuac. 24}$$

Ecuac. N°-24. Empuje hidrostático

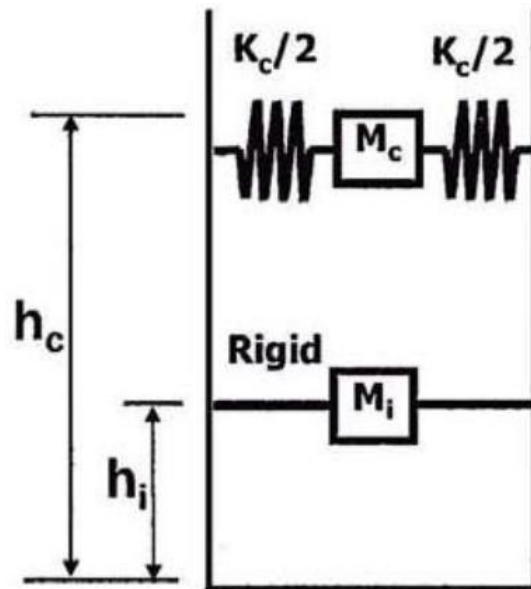
Para los tanques cilíndricos de pared delegada para almacenamiento de combustible se deben de considerar condiciones de servicio, operación y de sismo, considerando los *efectos hidrodinámicos* sobre las paredes y fondo de los tanques. El efecto de la interacción fluido-estructura, las presiones hidrodinámicas entre otros se deben considerar en el diseño de tanques los cuales pueden llegar a estar sometidos a acciones accidentales tales como sismo o viento. (Sánchez S y Vargas O, 2011)

A diferencia de la respuesta dinámica de las edificaciones convencionales, el comportamiento sísmico de los tanques y sus contenidos están definidos por: la interacción fluido – estructura de las componentes hidrodinámicas sobre las paredes, la ductilidad limitada del sistema y su baja redundancia estructural. (Pupiales Valdivieso, 2013)

Se tiene un análisis analítico realizado por Housner (1954), que trata la Hidrodinámica de líquidos en tanques de paredes o cilindros rígidos apoyados sobre cimentaciones rígidas, demostrando que la parte superior del volumen del fluido se mueve en un periodo largo de oleaje y es conocido como líquido convectivo y asociado al período convectivo, mientras que el resto del líquido, que es la parte inferior del contenido, se considera que se mueve rígidamente con la pared del tanque como si se tratara de una masa anclada al mismo. Esa parte del líquido, conocido como líquido impulsivo y asociado al llamado período impulsivo, experimenta la misma aceleración que el tanque y el suelo sobre el que se apoya el tanque y es el que contribuye con el cortante basal y el momento de volteo del tanque. El líquido superior que se encuentra moviéndose formando olas determina la altura necesaria que tiene que tener el tanque entre la superficie del líquido y el techo del tanque y se mueve con un periodo mucho mayor y por ende diferente que el periodo impulsivo. (Aranda Burckhardt, 2011)

**Figura 28**

*Modelo mecánico equivalente según Housner (1954)*



Fuente: (Hidalgo Piña, Rios Heller, 2019)

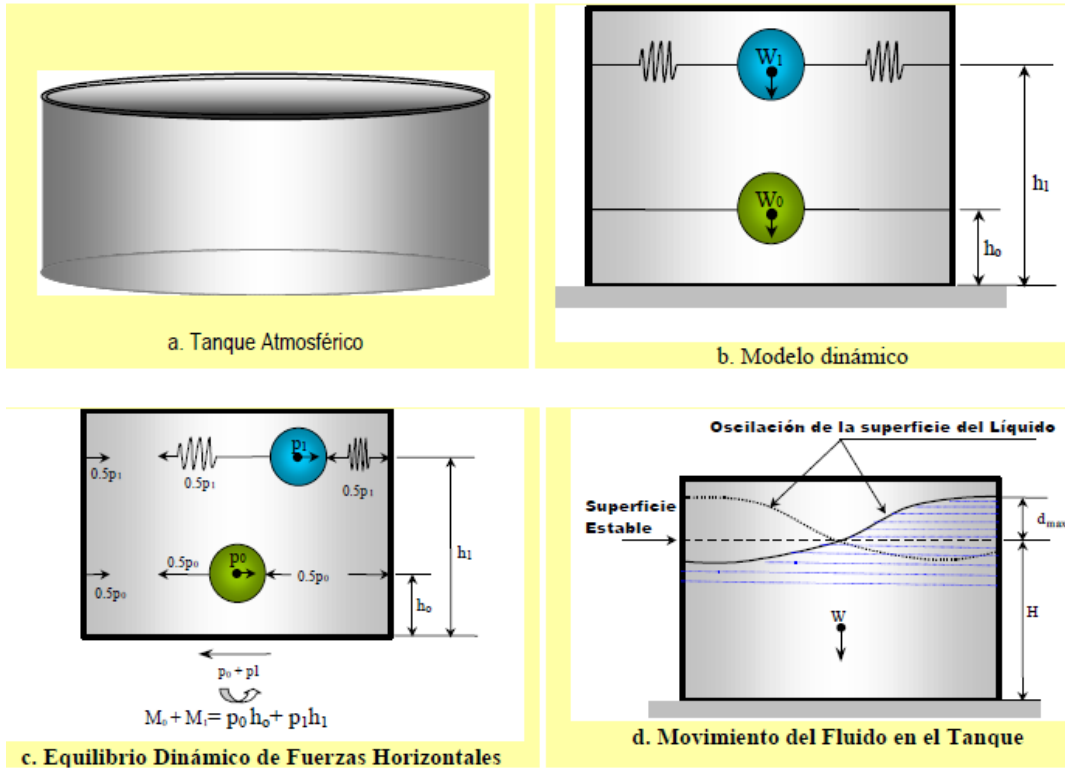
Como ya se había mencionado anteriormente los efectos dinámicos de la porción del líquido adherido en forma líquida a la pared del tanque se denominan como presiones impulsivas, mientras que los efectos del movimiento oscilatorio del fluido se conocen como presiones convectivas. (Chero Morales, 2020)

La respuesta convectiva es, como ya se ha dicho, prácticamente insensible a la rigidez de la pared del tanque, así como a la flexibilidad del suelo que lo sustenta debido a su periodo largo de oscilación. (Aranda Burckhardt, 2011)



**Figura 29**

*Modelo dinámico del tanque con fluido, apoyado en el suelo*



Fuente: (Sánchez S y Vargas O, 2011)

En el caso de tanques circulares conteniendo fluido líquido en su interior tiene 2 modos de vibración fundamentales. Por un lado, tenemos, como ya se ha mencionado, el modo impulsivo de vibración, asociado al líquido impulsivo y en la cual una porción del líquido vibra al unísono con la estructura, es decir, una parte que se mueve rígidamente con el tanque y que es la parte de la carga lateral sísmica que se considera debido a la inercia del tanque y una porción del líquido. por el otro lado tenemos el modo convectivo de vibración asociado al líquido convectivo que es debido al oleaje en la superficie libre del líquido contenido en el tanque. (Aranda Burckhardt, 2011)

Las dimensiones  $h_0$ ,  $h_1$  y los pesos correspondientes  $W_0$  y  $W_1$  se calculan de acuerdo con las relaciones mostradas; la aceleración del suelo induce oscilaciones en el fluido, y estas están consideradas en el modelo por la porción del chapoteo o “sloshing”,  $W_1$ , como si fuera un sólido con un peso conectado flexiblemente con las paredes del tanque. El resto del fluido  $W_0$  actúa como si fuera una masa que está directamente adherida a las paredes flexibles del mismo. (Sánchez S y Vargas O, 2011)

Las nomenclaturas se detallan:

H: Altura de la superficie del líquido en estado de reposo

$d_{m\acute{a}x}$ : Altura de oscilación máxima de la superficie del líquido con respecto del estado en reposo

$m_i$  ( $w_0$ ): Masa impulsiva conectada rígidamente a las paredes del tanque a una altura  $h_i$

$m_c$  ( $w_1$ ): Masa convectiva conectada a la pared del tanque a una altura  $h_c$  mediante un resorte de rigidez  $k_c$

$h_i$  ( $h_0$ ): Altura de la resultante de las presiones dinámicas impulsivas

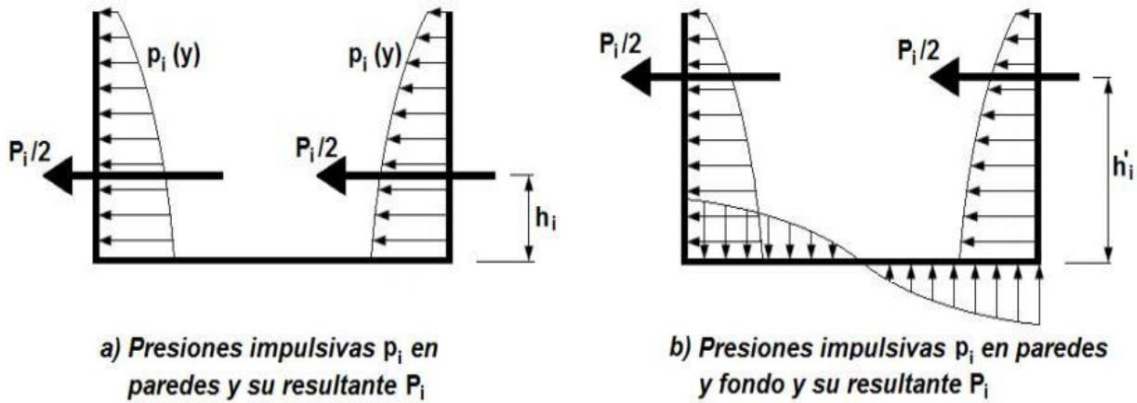
$h_c$  ( $h_1$ ): Altura de la resultante de las presiones dinámicas convectiva

$k_c$  ( $p_1$ ): Rigidez del resorte que conecta la masa impulsiva a la pared

En las siguientes figuras se observa la distribución de las presiones impulsivas y convectivas.

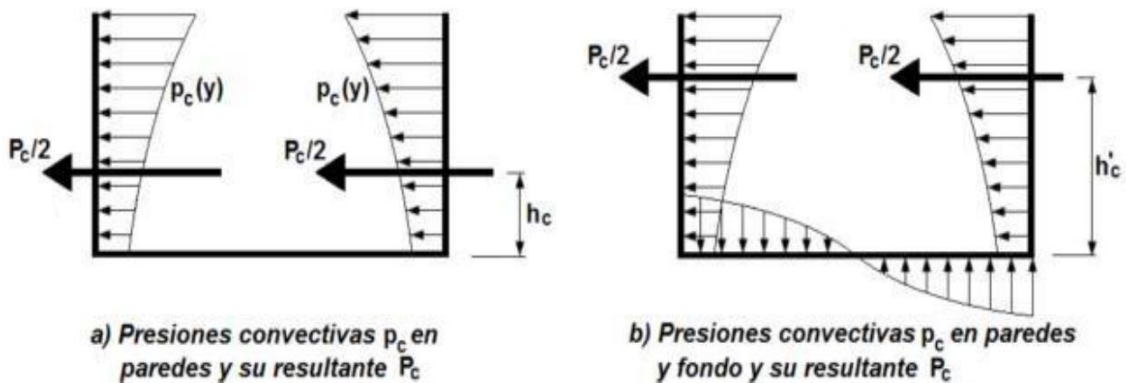
**Figura 30**

*Presiones impulsivas y resultantes*



**Figura 31**

*Presiones convectivas y resultantes*



Fuente: (Chero Morales, 2020)

Las cuantificaciones de las masas dependen de la geometría de los reservorios (H: altura y D: Ancho o L: largo) y de la masa total del líquido contenida.

Las componentes del líquido almacenado según el ACI 350-01, está compuesta por el peso impulsivo  $W_i$  y la componente convectiva  $W_c$  dada por la siguiente expresión.

$$\frac{w_i}{w_L} = \frac{\tanh\left[0.866\left(\frac{D}{H_L}\right)\right]}{0.866\left(\frac{D}{H_L}\right)} \dots \text{Ecuac. 25}$$

$$\frac{w_c}{w_L} = 0.230 \left(\frac{D}{H_L}\right) \tanh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right)\right] \dots \text{Ecuac. 26}$$

WL = Peso total del líquido almacenada en el reservorio (tanque para nuestro caso)

Ecuac. N°-25. Peso impulsivo  $w_i$

Ecuac. N°-26. Componente convectiva  $w_c$

La ubicación del centro de gravedad de los pesos impulsivo y conectivo del líquido, medido desde la base del reservorio (tanque), está dada por la siguiente expresión:

<p>For tanks with <math>\frac{D}{H_L} &lt; 1.333</math></p> $\frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \left(\frac{D}{H_L}\right)$ <p>For tanks with <math>\frac{L}{H_L} \geq 1.333</math>,</p> $\frac{h_i}{H_L} = 0.375$	<p>For all tanks,</p> $\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68\left(\frac{H_L}{D}\right)\right] - 1}{3.68\left(\frac{H_L}{D}\right) \times \sinh\left[3.68\left(\frac{H_L}{D}\right)\right]}$
---	---

Ecuac. N°-27. Ubicación del centro de gravedad de los pesos impulsivo y conectivo del líquido

Una vez determinadas las fuerzas debido al peso de la estructura al peso impulsivo y convectivo del líquido, se determina la fuerza cortante total en la base, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2} \dots \text{Ecuac. 28}$$

Ecuac. N°-28. Fuerza cortante total en la base

Donde:

$P_i$  = Fuerza debido al peso impulsivo del liquido

$P_w$  = Fuerza debido al peso de las paredes del reservorio

$P_r$  = Fuerza debido al peso de la cúpula

$P_c$  = Fuerza debido al peso convectivo del liquido

La determinación de la *aceleración psudo espectral* de la masa impulsiva, está adherido rígidamente a las paredes del reservorio, puede decirse que se comporta como un cuerpo o sistema rígido inercial, y al ser muy rígido y de acuerdo con la ley de Hooke, le corresponden desplazamientos pequeños, ya que los desplazamientos son inversamente proporcionales con la rigidez. Asimismo, sabemos que el periodo de oscilación es inversamente proporcional con la rigidez, por lo tanto, para este cuerpo rígido de antemano ya concluimos que los periodos menores estarán asociados a la masa impulsiva o cuerpo rígido inercial.

Lo contrario ocurre con la masa convectiva, en donde los resortes tienen una rigidez determinada “K”, dependiente del módulo de elasticidad del líquido. La rigidez de los resortes es pequeña por lo tanto al ser inversamente proporcional con el periodo de oscilación, entonces los periodos mayores estarán asociados a la masa convectiva, como era de esperarse.

Por lo tanto, estamos seguros de que al momento de generar un *espectro de pseudo-aceleración*, deberemos incluir dos fases: para los periodos pequeños y para los periodos grandes, cada una con sus propiedades respectivas.

Si bien es cierto que los parámetros clásicos que dicta el Reglamento NTE-030, Zona Z, uso o importancia I, suelo S y su periodo del terreno asociado  $T_p$ , así como el coeficiente de amplificación sísmica C, son los mismos para todo el sistema de análisis, más no así podríamos opinar sobre el factor R (coeficiente de reducción), que ahora se llamará factor de modificación de respuesta.

El factor de modificación de respuesta depende exclusivamente del tipo del sistema estructural, si tratamos con reservorios enterrados o superficiales, pero este factor depende de las propiedades del sistema, obviamente este parámetro está ligado como directamente proporcional con el módulo de elasticidad (o la rigidez del sistema) de los materiales que componen los sistemas existentes. Por lo tanto, para un sistema muy rígido que es la masa impulsiva inercial adherida a las paredes de concreto del reservorio le corresponderán valores grandes del factor de modificación de respuesta “R” ( $R_{wi}$ ). Análogamente la masa convectiva del líquido que oscila tiene un módulo elástico inferior que la masa impulsiva por tanto los valores de modificación de respuesta “R” ( $R_{wc}$ ) serán tan pequeños como la unidad 1.

Podemos adelantar que durante la ejecución del espectro de pseudo-aceleración, para la masa impulsiva (sistema rígido inercial) se asocian los periodos pequeños y valores grandes de factor de modificación de respuesta y para la masa convectiva (sistema flexible) se asocian los periodos de tiempo mayores y valores pequeños del factor de modificación de respuesta ( $R_{wc}=1$ , en todos los casos).

Teniendo en cuenta que  $g$ , es el valor de la aceleración gravitacional, el espectro de pseudo-aceleración  $S_a(t)$  en reservorios es dependiente del periodo “ $t_i$ ” periodo impulsivo o corto y del periodo convectivo largo. El coeficiente de amplificación sísmica permanece igual que en el reglamento NTE-030.

$$S_a(t_i) = \frac{Z * U * S * C(t_i)}{R_{wi}} * g \dots \text{Ecuac. 29}$$

$$S_a(t_c) = \frac{Z * U * S * C(t_c)}{R_{wc}} * g \dots \text{Ecuac. 30}$$

Ecuac. N°-29. Espectro de pseudo aceleraciones periodo impulsivo

Ecuac. N°-30. Espectro de pseudo aceleraciones periodo convectivo

Donde:

$S_a$  = Espectro de pseudo aceleraciones

$Z$  = Factor zona

U = Factor de uso o importancia

S = Factor de amplificación del suelo

C = Factor de amplificación sísmica

R = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

g = Aceleración de la gravedad

El *espectro de aceleración inelástico-comportamiento hidrodinámico*, se determina las cargas sísmicas estáticas reducidas, de acuerdo a lo establecido en las normas de diseño sísmico de cada país, utilizando como factor de modificación de respuesta R - ACI 350.3, los indicados en la siguiente tabla:

Figura 32

*Espectro de Aceleración para el tanque con soporte apoyado*

**Table 4.1.1(b)—Response modification factor  $R$**

Type of structure	$R_f$		$R_c$
	On or above grade	Buried*	
Anchored, flexible-base tanks	3.25 <sup>†</sup>	3.25 <sup>†</sup>	1.0
Fixed or hinged-base tanks	2.0	3.0	1.0
Unanchored, contained, or uncontained tanks <sup>‡</sup>	1.5	2.0	1.0
Pedestal-mounted tanks	2.0	—	1.0

Determinación del Espectro de Aceleraciones INELÁSTICO

$t := 0.1, 0.2 \dots 12$

$$SA(t) := \frac{Z \cdot 1.5 \cdot C(t)}{R_w(t)} \cdot g$$

$$Z \leftarrow 0.45$$

$$I \leftarrow 1.25$$

$$g \leftarrow 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$S \leftarrow 1.05$$

$$T_p \leftarrow 0.6$$

$$\beta \leftarrow 1.50$$

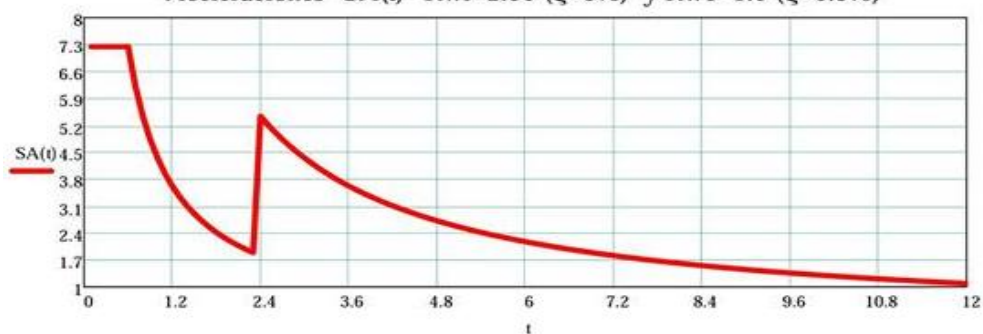
$$R_w(t) \leftarrow \begin{cases} 2.00 & \text{if } t < 2.4 \\ 1 & \text{if } t \geq 2.4 \end{cases}$$

$$j \leftarrow \begin{cases} 2.5 \left( \frac{T_p}{t} \right) & \text{if } t < 2.4 \\ \beta \left[ 2.5 \left( \frac{T_p}{t} \right) \right] & \text{if } t \geq 2.4 \end{cases}$$

$$C(t) \leftarrow \begin{cases} j & \text{if } j \leq 2.5 \\ 2.5 & \text{otherwise} \end{cases}$$

t =	SA(t) =
0.1	7.2425 $\frac{m}{s^2}$
0.2	7.2425 $\frac{m}{s^2}$
0.3	7.2425 $\frac{m}{s^2}$
0.4	7.2425 $\frac{m}{s^2}$
0.5	7.2425 $\frac{m}{s^2}$
0.6	7.2425 $\frac{m}{s^2}$
0.7	6.2079 $\frac{m}{s^2}$
0.8	5.4319 $\frac{m}{s^2}$
0.9	4.8284 $\frac{m}{s^2}$
1	4.3455 $\frac{m}{s^2}$
1.1	3.9505 $\frac{m}{s^2}$
1.2	3.6213 $\frac{m}{s^2}$
1.3	3.3427 $\frac{m}{s^2}$
1.4	3.1039 $\frac{m}{s^2}$
1.5	2.897 $\frac{m}{s^2}$
...	...

Aceleraciones "SA(t)"  $R_{wi}=2.00$  ( $\xi=5\%$ ) y  $R_{wc}=1.00$  ( $\xi=0.5\%$ )



Considerando  $R=2.00$  para masa impulsiva con ( $\xi=5\%$ ) y  $R_w=1.00$  para la masa convectiva con ( $\xi=0.5\%$ ). El factor  $\beta=1.50$  toma en cuenta la variación del amortiguamiento para la masa convectiva según ACI 350.3-06(ítem 4.2.1)



**Tabla 3**

*Variación del amortiguamiento para la masa convectiva según ACI 350.3-06*

Estándar/Reglamento	Factor Escalamiento $\beta$
ACI 350.3 (2006) y FEMA 368	1.500
Eurocódigo 8 (2004)	1.675
IITK – GSDMA (2007) India	1.750

Fuente: ACI 350.3-06 (ítem 4.2.1)

Los estados de carga que se consideran en el diseño son los siguientes:

Consideraciones en el diseño:

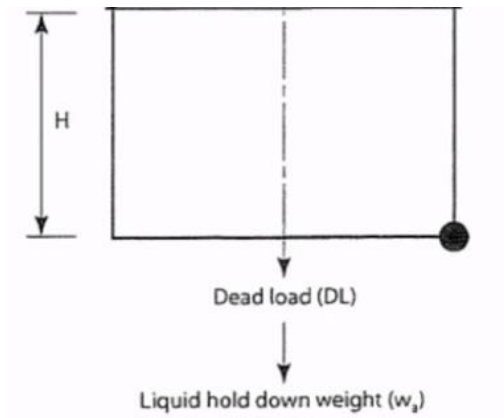
- Presión interior o Exterior
- Cargas estáticas
- Nivel del líquido (HLL)
- Capacidad del tanque, Largo, Ancho, Altura neta

Las cargas que por lo general gobierna en este tipo de tanques son:

- D: Carga muerta
- L: Carga viva
- EH: Carga de empuje hidrostático
- EQ: Carga de sismo
- W: Carga de viento

**Figura 33**

*Peso del líquido contenido*

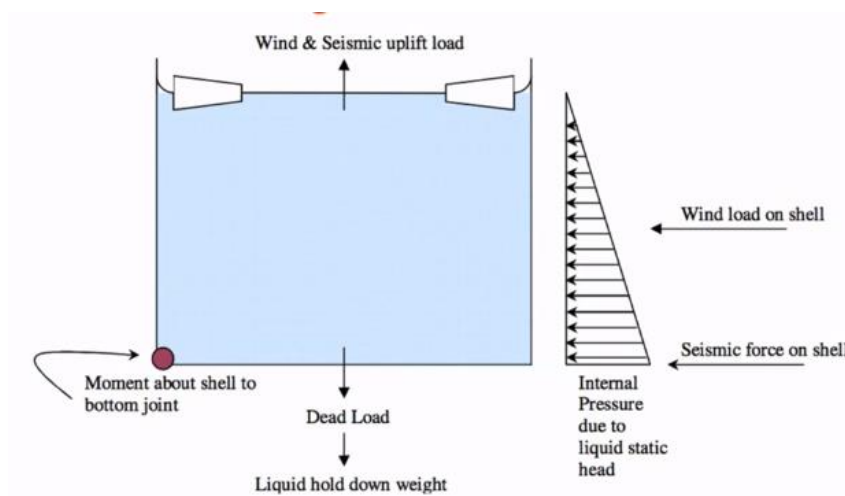


Fuente: ACI 350.3-06

Todas las cargas actuando sobre el tanque en forma simultánea deben ser tenidas en cuenta de esta forma se plantean los diferentes escenarios de diseño y se evalúa en tanque en los distintos casos para determinar el más desfavorable.

**Figura 34**

*Hipotético de cargas actuando sobre el tanque*



Fuente: (Bermudez Mejia, 2020)

Las combinaciones de carga a considerar

Servicio:

- D+L+EH+EQ
- D+L+EH+W

Ultimo:

- C1: 1.4D+1.7L+1.4EH
- C2: 1.25D+1.25L+1.25EH +/- EQ
- C3: 1.25D+1.25L+1.25EH +/- W
- C4: 0.9D +/- EQ
- C5: 0.9D +/- W

El *asentamiento diferencial*, define a la diferencia generada por el desplazamiento entre dos puntos de la cimentación de una estructura, lo cual genera un desequilibrio de esfuerzos en el suelo; su característica principal es la distorsión angular, la cual se involucra directamente en los daños que pudiera sufrir la estructura:

$$\alpha = \frac{\rho_{max} - \rho_{min}}{L} = \frac{\delta}{L} \dots \text{Ecuac. 31}$$

Ecuac. N°-31. Asentamiento diferencial, distorsión angular

Donde:

$\alpha$  = Distorsión angular

$\rho$  = Asentamiento total en cualquier punto

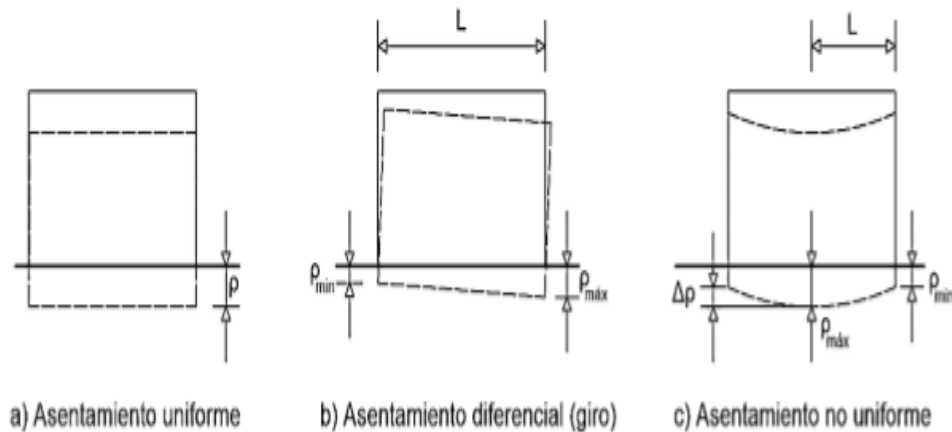
$\delta$  = Asentamiento diferencial

L = Distancia entre dos puntos

$\Delta\rho$  = Diferencia de asentamiento entre dos puntos

**Figura 35**

*Notación para asentamiento diferenciales*



Fuente: (Estuardo Son, 2018)

**Tabla 4**

Distorsión angular

$\alpha$	Descripción
1/150	Límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales.
1/250	Límite en que la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígidos puede ser visible.
1/300	Límite en que se debe esperar dificultades con puentes grúas y en que se debe esperar las primeras grietas en paredes.
1/500	Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas y para cimentaciones rígidas circulares o para anillos de cimentación de estructuras rígidas, altas y esbeltas.
1/650	Límite para edificios rígidos de concreto, cimentados sobre un solado de espesor aproximado de 1.20 m.
1/750	Límite donde se esperan dificultades en maquinaria sensible a asentamientos.

Fuente: (Edificaciones, 2018)

Las causas para que se produzca el asentamiento diferencial tienen que ver con el suelo y sus diversos factores que intervienen en este.

**Tabla 5**

*Causas de asentamientos diferenciales*

<b>Causas</b>	<b>Descripción del mecanismo</b>
Variación del espesor y características del estrato compresible.	Asentamiento proporcional al espesor. Puede ser convexo, cóncavo y por ladeamiento.
Variación en las presiones de la cimentación en el contacto con el suelo.	Distribución no uniforme de presiones generadas por las cargas.
Grandes áreas cargadas sobre cimentaciones flexible.	Asentamiento cóncavo de cimentaciones de placa corrida o cimentaciones aisladas de columnas de gran área.
Diferencia entre los tiempos de construcción para diferentes partes de una estructura.	Mayor asentamiento en la parte reciente que en la antigua, donde ya se desarrolló asentamiento.
Variaciones en las condiciones de compresibilidad del lugar.	Construcción sobre áreas previamente ocupadas por cargas pesadas, que sobreconsolidaron los mantos compresibles.
Variaciones en las condiciones de compresibilidad por operaciones constructivas.	Descompresiones por excavaciones aledañas. Expansión y posterior recompresión generadas por la excavación para construir la cimentación

Fuente: (Estuardo Son, 2018)

La adecuación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos se realiza bajo el estándar API 653 ya que no se cuenta con normas, estándares nacionales para la adecuación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

Este estándar cubre tanques de acero para almacenamiento construidos bajo el estándar API 650 y su predecesor API 12C. Proporciona requisitos mínimos para mantener la integridad de tales tanques después de que se hayan colocado en servicio y trata la inspección, reparación y reconstrucción. (Mayorga Toala, 2013)

El alcance está limitado a la fundación del tanque, fondo, cuerpo, estructura, techo, y aditamentos agregados, boquillas agregadas a la cara de la primera brida, primera unión roscada o soldadas. Muchos de los diseños, soldadura, inspección y los requerimientos de los materiales de acuerdo con API 650 pueden ser aplicados en la inspección de mantenimiento, toma de datos, reparaciones, y alteraciones de tanques en servicio. (Sánchez Pizarro, 2017)

Dentro de la estructura de la norma API 653 tenemos que tomar especial interés en la sección 9, reparación y alteración de tanques y el anexo B, evaluación del asentamiento del fondo del tanque. (API 653, 2020)

Los tanques de almacenamiento deben de cumplir con estándares de construcción, mantenimiento, seguridad e integridad estructural para evitar eminentes fugas del producto que puedan causar daños al medio ambiente, infraestructura, sociedad y vidas humanas; por efectos de acciones externas tales como sismos, viento, impactos, vandalismo, etc.

En tal sentido el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin), solicita que, para continuar en operación, es necesario ejecutar trabajos de adecuación en obras civiles, mecánicas y eléctricas según lo dispuesto en el decreto supremo DS-017-2013-EM, en el que se establece el procedimiento para la adecuación de las instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos preexistentes a las disposiciones establecidas en el DS-052-EM-93.

Un *decreto supremo* según el Ministerio de Economía y Finanzas es una norma de carácter general que reglamenta normas con rango de ley o regula la actividad sectorial funcional o multisectorial funcional a nivel nacional. (Ministerio de Economía y Finanzas, n.d.)

El decreto supremo **DS-052-93-EM** es el Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos que se publicó el 18/11/1993 considerando el artículo 73 de la ley N° 26221, Ley Orgánica de Hidrocarburos, en la cual se dispone que cualquier persona natural o jurídica, nacional o extranjera, podrá constituir, operar y mantener instalaciones para el almacenamiento de hidrocarburos y de sus productos derivados con sujeción a los reglamentos que dicte el Ministerio de Energía y Minas.

En tal sentido, se dictó las normas que garanticen un procedimiento adecuado, eficaz y oportuno que permita que las actividades de almacenamiento de hidrocarburos se lleven a cabo dentro de un marco de seguridad para el trabajador y se brinde un buen servicio al usuario; por lo tanto, de conformidad con el inciso 11) del artículo 211 de la Constitución Política del Perú; DECRETA:

**Artículo 1o.-** Apruébese el Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos, el mismo que consta de 07 títulos, 135 artículos y 02 anexos, y forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2o.-** El presente Decreto Supremo sólo podrá ser derogado, modificado o interpretado total o parcialmente por otro decreto supremo que expresamente se refiera a este dispositivo legal.

**Artículo 3o.-** Deróguense todas las disposiciones que se opongan a lo establecido en el presente Decreto Supremo, el mismo que entrará en vigencia al día siguiente de su publicación en el diario oficial "El Peruano" y será refrendado por el Ministro de Energía y Minas. (Ecolex, n.d.)

En el Título cuarto denominado "PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES", en el capítulo 1 del proyecto en proyecto de *fundaciones* en el artículo 34 dice lo siguiente:

Para el proyecto de las *fundaciones*, un completo conocimiento de las condiciones del suelo debe ser obtenido, requiriéndose por lo menos las siguientes determinaciones: Capacidad portante del suelo, riesgo de flotación o licuefacción, asentamientos totales y diferenciales esperados.

a) Para el proyecto de las fundaciones deberá tomarse en cuenta el mayor efecto combinado de las cargas estáticas y dinámicas como: Peso propio del tanque y su contenido, cargas de prueba, cargas de viento, nieve y sismo, cargas de operación.

b) Todos los tanques deben apoyarse en el terreno de corte o en fundaciones de concreto reforzado, pilotes u otros. Las fundaciones deben ser diseñadas para minimizar la posibilidad de asentamientos diferenciales, así como los riesgos de corrosión del fondo del tanque en la parte en contacto con la fundación.

c) Se deberán tomar especiales consideraciones de ingeniería para el diseño de estructuras especiales, soportes de tanques esféricos y otros recipientes para GLP.

d) En los tanques refrigerados, el diseño del aislamiento del fondo debe evitar el congelamiento del suelo circundante y de la cimentación.

e) En la prueba hidrostática, todos los tanques deberán ser llenados de una manera controlada para evitar los asentamientos diferenciales.

f) En localidades sujetas a posibles inundaciones, se deberán tomar especiales precauciones para evitar la flotación de los tanques, estén estos llenos o vacíos. Se podrá optar por sistemas de anclaje o mediante el llenado con agua, cuando sea aplicable.

g) Para los tanques de GLP, las dimensiones y profundidad de la cimentación deberán ser tales que limiten los asentamientos del tanque y se prevengan sobreesfuerzos en las tuberías conectadas al tanque. Los asentamientos deberán ser controlados durante un largo período de tiempo.

h) Cuando sea impracticable proyectar fundaciones que satisfagan el inciso anterior, pueden ser proyectadas fundaciones flotantes o de pilotes. En este caso los asentamientos esperados



serán determinados a partir de ensayos y verificados en el subsecuente servicio. (Ecolex, n.d.)

En consecuencia, a lo descrito, el sábado primero de junio del 2013 en el diario oficial el peruano, se publicó el **DS-017-2013-EM** donde se establece el procedimiento para la adecuación de las instalaciones para almacenamiento de Hidrocarburos preexistentes a las disposiciones establecidas en el Decreto Supremo N° 052-93-EM. (Diario Oficial El Peruano, 2013)

El Decreto Supremo aprueba los procedimientos para la adecuación de las instalaciones a lo establecido en el Reglamento de Almacenamiento. La adecuación implica el inicio de una revisión técnica a cargo del OSINERGMIN a fin de satisfacer los aspectos de seguridad dispuestos en el Reglamento de Almacenamiento, en específico, de los contemplados en los artículos 18° al 21° (sistemas de almacenamiento), 25° al 32° (planeamiento de las instalaciones), 36° al 52° (proyecto y construcción de instalaciones) y 55°, 56, 58° y 59° (instalaciones eléctricas). (Sayan Garcia, n.d.)

En el DS-017-2013-EM, se decreta:

**Artículo 1.-** Las instalaciones para almacenamiento de Hidrocarburos de Refinerías y Plantas de Abastecimiento preexistentes a la entrada en vigencia del Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 052-93-EM, serán objeto de una revisión técnica, a cargo del OSINERGMIN, a fin de que dichas instalaciones satisfagan los ordenamientos de seguridad contenidos en los artículos 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 56, 58 y 59 del mencionado Reglamento.

**Artículo 2.-** En un plazo máximo de sesenta (60) días calendario, contados desde la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el OSINERGMIN aprobará los procedimientos operativos necesarios para la aplicación de lo establecido en el artículo precedente; terminado este plazo, realizará la revisión técnica de las instalaciones anteriormente referidas, en un plazo máximo de ciento veinte (120) días calendario.

**Artículo 3.-** En un plazo máximo de diez (10) días calendario, de concluida la revisión técnica de todas las instalaciones, el OSINERGMIN comunicará a los operadores de las Refinerías y Plantas de Abastecimiento los resultados de la misma, así como las medidas necesarias que deberán implementar para satisfacer los ordenamientos de seguridad indicados en el artículo 1 del presente Decreto Supremo. Los operadores de las Refinerías y Plantas de Abastecimiento, en un plazo máximo de treinta (30) días calendario, de recibida la comunicación de los resultados de la revisión técnica de sus instalaciones, deberán solicitar al OSINERGMIN un plazo excepcional para implementar las medidas dispuestas por dicho organismo, para el cumplimiento de los ordenamientos de seguridad que correspondan. En un plazo máximo de treinta (30) días calendario, de recibida la solicitud, el OSINERGMIN aprobará la misma y determinará el plazo de implementación de las medidas. El OSINERGMIN podrá exceptuar el cumplimiento de algunos de los artículos del Decreto Supremo N° 052-93- EM mencionados en el artículo 1 del presente Decreto Supremo, en caso considere pertinente; para lo cual deberá detallar las medidas compensatorias necesarias. Artículo 4.- Culminado el plazo establecido para la implementación de las medidas, el OSINERGMIN verificará su cumplimiento; en caso de detectar incumplimiento total o parcial, actuará de acuerdo a sus facultades. No serán exigibles las medidas señaladas en el presente artículo, durante sus respectivos plazos de implementación. Artículo 5.- Los resultados de las disposiciones indicadas en los artículos 2, 3 y 4 del presente Decreto Supremo, serán reportados por el OSINERGMIN a la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas. Artículo 6.- El presente Decreto Supremo entrará en vigencia al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano y será refrendado por el Ministro de Energía y Minas. (Diario Oficial El Peruano, 2013)

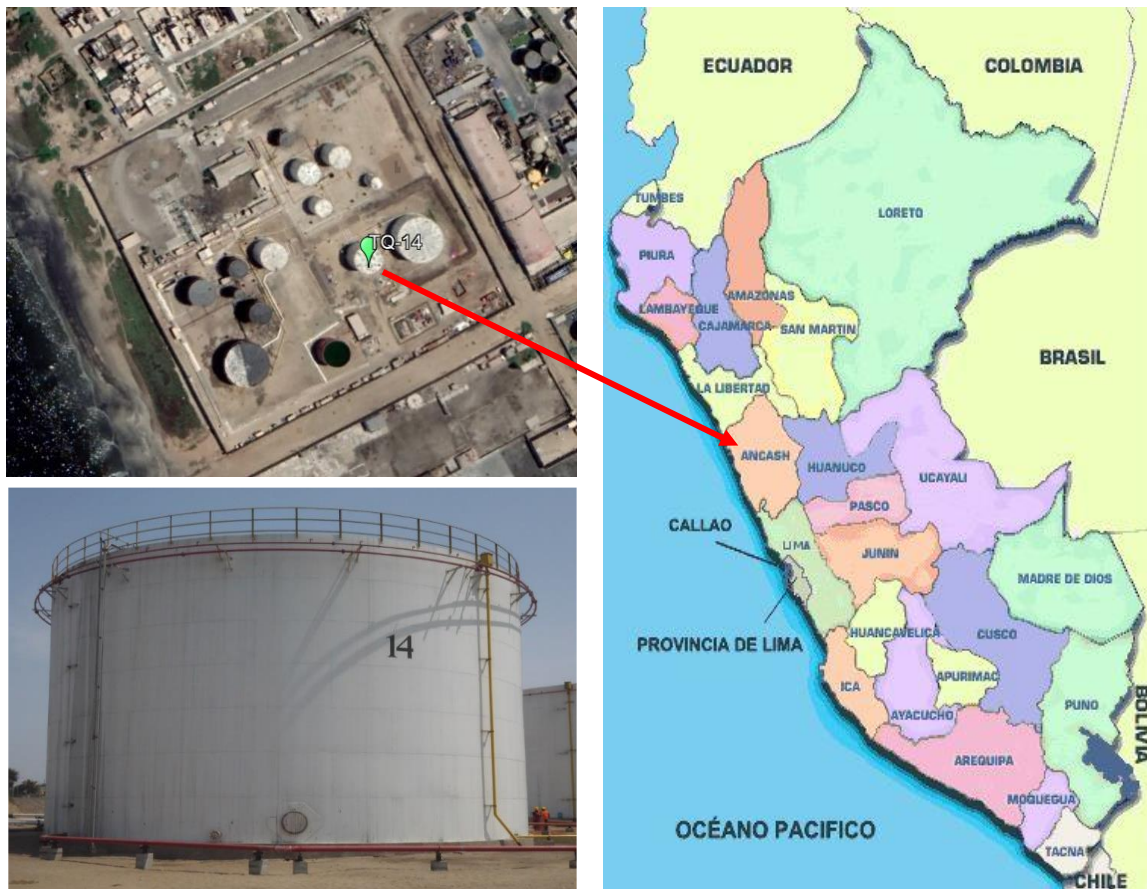
El caso de estudio que es el anillo de cimentación del tanque 14 se encuentra ubicado en el distrito de Chimbote, provincia de Santa, departamento de Ancash sobre una altitud promedio del orden de los 2.5 msnm.

Las condiciones climáticas del lugar son típicas de la Costa Peruana que por su muy baja altitud debería tener un clima cálido, sin embargo, debido a las aguas frías del mar de la corriente de Humboldt se forman nubes estrato; esto hace que la zona de estudio tenga un

clima templado, húmedo y muy nuboso en invierno, cálido en verano, y semicálido en primavera. Los días más fríos rozan los 13.1 °C y los más cálidos los 27.6 °C, a lo largo de todo el año. EMS (Flores Castro, Cuadro Rojas, 2018)

**Figura 36**

Ubicación del tanque 14



Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración el nuevo mapa de zonificación sísmica del Perú (Fig. N°-1.34) de la norma técnica E 0.30 diseño sismorresistente vigente del Reglamento Nacional de Edificaciones y el mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú de J. Alva Hurtado, (Fig. N°-1.35), el cual está basado en curvas isosistas de sismos ocurridos en el Perú y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos

recientes; se concluye que el área en estudio se encuentra dentro de la zona de sismicidad alta codificada como Zona 4, existiendo la posibilidad de que ocurran sismos de intensidades tan considerables como de grado IX en la escala Mercalli Modificada; estos datos han permitido proporcionar información para las condiciones dinámicas y las recomendaciones constructivas o de reforzamiento para la cimentación que se ha evaluado.

Teniendo en consideración la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, se tiene las condiciones geotécnicas del perfil de suelo las cuales en la siguiente tabla resumen valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo. (Villavicencio Ugarte)

**Tabla 6**

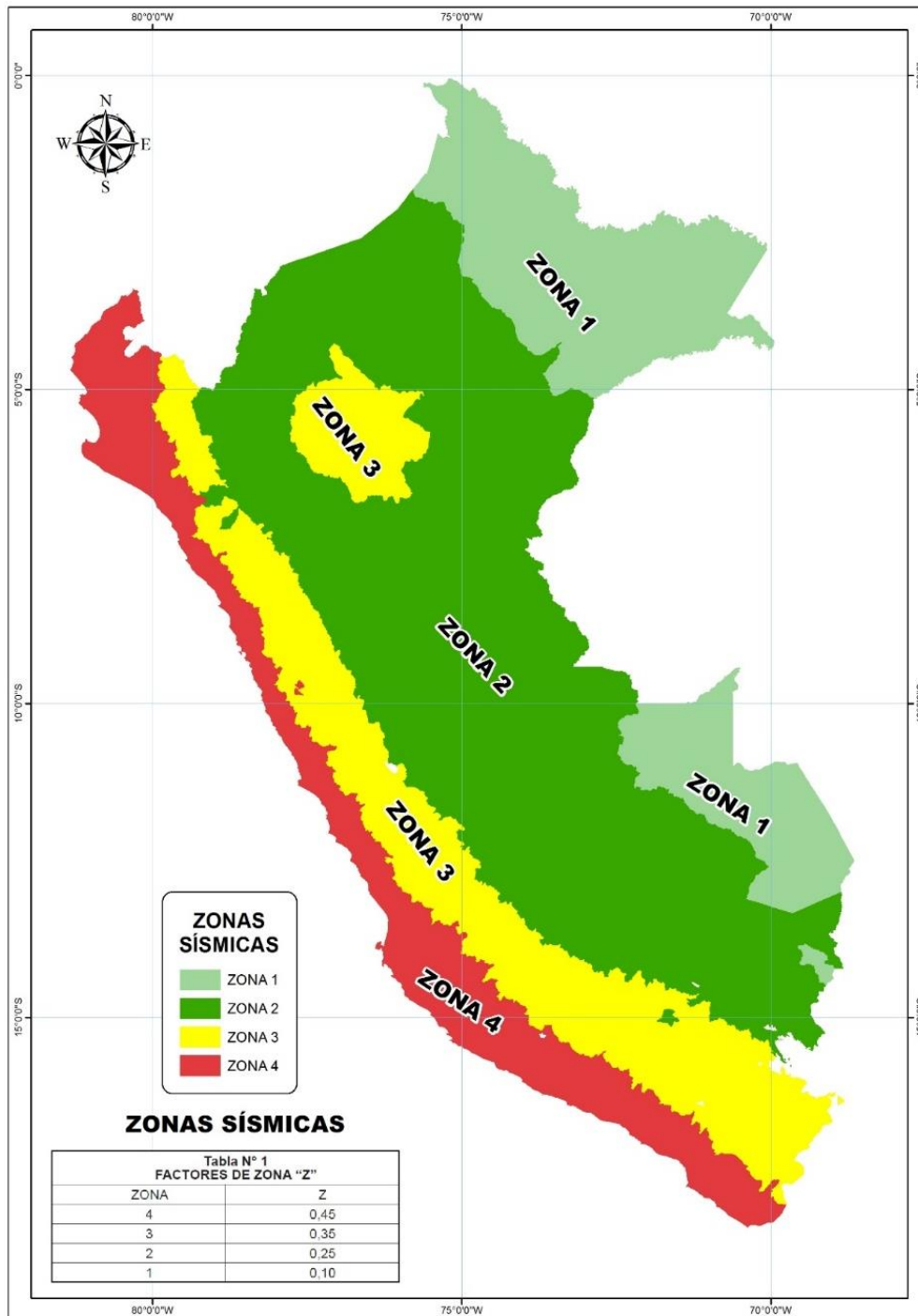
*Clasificación de los perfiles del suelo basado en E.030*

<b>Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO</b>			
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$
S <sub>0</sub>	> 1500 m/s	-	-
S <sub>1</sub>	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S <sub>2</sub>	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S <sub>3</sub>	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: (Villavicencio Ugarte)

**Figura 37**

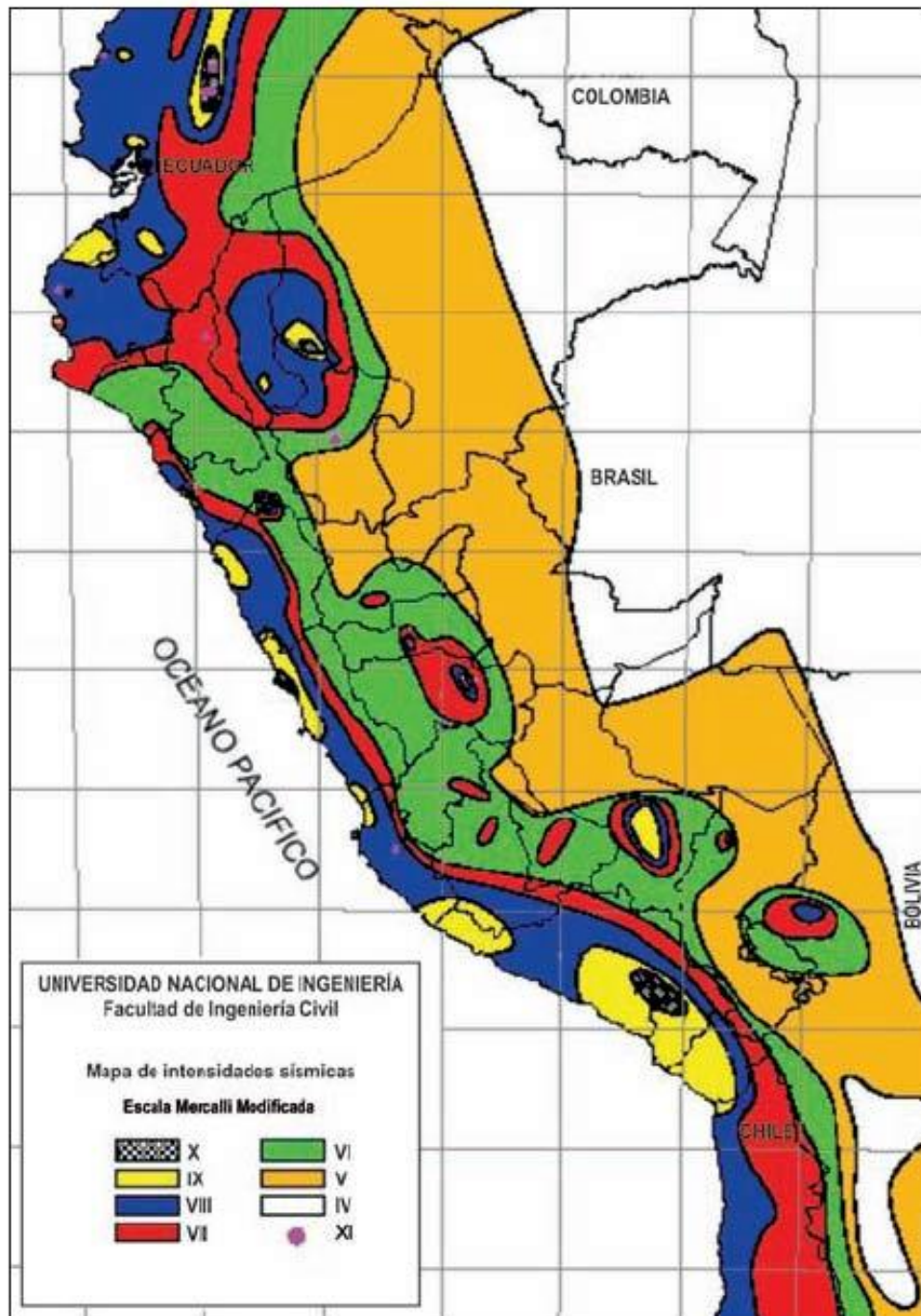
*Mapa de zonas sísmicas*



Fuente: RNE E.030 (Villavicencio Ugarte)

**Figura 38**

*Distribución de curvas de máximas intensidades sísmicas*



Fuente: (Alva Hurtado, Meneses Loja, Guzmán León, 1984)

Para la adecuación del anillo de cimentación se realizaron previamente un estudio de la situación actual de la cimentación, estudios geotécnicos, estudio de diamantina y escaneo de cimentación, memoria de cálculo del tanque de almacenamiento.

Con estos estudios posteriormente se determinó la mejor opción de realizar mejoras a la cimentación del anillo existente por ello se realizó un estudio de reparación del anillo existente y una memoria de cálculo de reforzamiento en cimentación del tanque 14 construyendo un anillo de refuerzo exterior.

Los estudios geotécnicos se realizaron para establecer las condiciones de estratigrafía del suelo de cimentación, la capacidad portante última y admisible del suelo de apoyo, evaluar el riesgo de licuefacción, cálculo de los asentamientos esperados con la finalidad de definir si la cimentación actual del Tanque 14 del terminal Chimbote, presenta dimensiones, geometría y profundidad de cimentación adecuadas que mantenga estable la estructura del tanque de almacenamiento de hidrocarburo.

Los trabajos de exploración y muestreo se efectuaron de acuerdo a lo indicado en la Norma E-050 Suelos y Cimentaciones vigente del Reglamento Nacional de Edificaciones y complementado a su vez con ensayos especiales que han permitido determinar las características físicas y mecánicas del suelo subyacente dentro de la profundidad activa de la cimentación.

Los ensayos realizados en el estudio de mecánica de suelos antes de la adecuación al D.S-017-2013-EM fueron siguiendo el siguiente programa:

- Ejecución de 02 calicatas a cielo abierto de una profundidad máxima de 3.50 m. para el estudio de capacidad portante.
- Ejecución de 01 ensayo de penetración estándar SPT con recuperación de muestras hasta una profundidad máxima de 8.45 metros.
- Ejecución de 01 ensayo de penetración con cono sin recuperación CTP de muestra hasta los 7.10m de profundidad.
- Ejecución de 03 ensayos de penetración ligera del tipo DPL hasta los 5.60m
- Clasificación manual visual de suelos según norma ASTM D-2487

- Extracción de muestras disturbadas representativas de la estratigrafía identificada.
- Ejecución de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos en muestras alteradas.
- Ejecución de análisis químicos de las muestras para la determinación del contenido de sales solubles totales, cloruros, sulfatos y PH.
- Determinación del perfil estratigráfico.

La finalidad fue de evaluar el subsuelo de cimentación y realizar el análisis de la capacidad portante admisible, estos trabajos permitieron conocer la estratigrafía del suelo dentro del área de influencia del bulbo de presiones.

### Figura 39

*Vista del Tanque 14 donde se han realizados los trabajos geotécnicos para evaluar las condiciones del suelo de cimentación*



Fuente: Estudio de mecánica de suelos complementario



**Figura 40**

*Trabajos geotécnicos para evaluar las condiciones del suelo de cimentación*



Fuente: Estudio de mecánica de suelos complementario

Posteriormente se realizó trabajos de campo y gabinete con el fin de determinar el estado y las características del concreto existente en la cimentación del tanque 14; planificando realizar extracción de testigos diamantinos de 2” y 3” de diámetro, para desarrollar los ensayos de profundidad de carbonatación existente en la estructura y la compresión simple de testigos de concreto respectivamente; asimismo ensayos de esclerometría y escaneo del acero de refuerzo existente en la estructura. Diamantina (Flores castro, Burgos Espinoza, 2018)

Para la obtención de los testigos de concreto se ejecutaron seis (06) excavaciones, con el objetivo de obtener resultados representativos.

La ubicación de las calicatas y distribución de las pruebas fueron definidas en campo considerando las facilidades, interferencias con otras estructuras, etc.; los mismos que fueron distribuidos de la siguiente forma:

**Figura 41**

*Distribución de los ensayos desarrollados circundante al tanque 14*



Fuente: Diamantina (Flores castro, Burgos Espinoza, 2018)

**Figura 42**

*Detección de acero de refuerzo y extracción de diamantina*



Fuente: Diamantina (Flores castro, Burgos Espinoza, 2018)

Continuando con el estudio del tanque 14 para la adecuación al DS-17-2013-EM, se realizó la inspección según API 650, API 653 para identificar incumplimiento al decreto supremo DS-052-93-EM en la cual se evidencio daños en el fondo, techo y cilindro, señales de asentamiento, estado de corrosión, condición del cimiento, recubrimiento, sistemas de aislamiento y accesorios.

La inspección se realizó de acuerdo con las recomendaciones técnicas descritas en el estándar API-653 y API-575 e incluyó:

- Dique de contención, elementos asociados al dique (accesos, drenajes, sumideros).
- Cimentación del tanque (anillo de concreto y sello perimetral).
- Recubrimiento del tanque.


- Fondo del tanque, soldaduras, sumidero, elementos internos, proyección del fondo del tanque.
- Cilindro y accesorios, soldaduras del cilindro.
- Techo fijo y accesorios, soldaduras del techo fijo, unión techo-cilindro (ángulo superior).
- Estructuras de acceso (escaleras y pasamanos del cilindro y techo).
- Sistema contra incendios, puestas a tierra.
- Medición de espesores por ultrasonido a planchas del fondo, sumidero, zona crítica, drenaje del fondo.
- Inspección de planchas del fondo por LFET (Low Frequency Electromagnetic Testing).
- Medición de espesores por ultrasonido a planchas del cilindro del tanque y accesorios.
- Medición de espesores por ultrasonido a planchas del techo y accesorios.

Para efectos de la presente investigación tomamos lo evidenciado en la cimentación anular del tanque 14 la cual se detalla en el capítulo de resultados en 3.1 Condición actual del anillo de cimentación.

Se determinó incumplimientos al DS-052-93-EM las cuales detallamos lo evidenciado solo en la especialidad civil:

**Tabla 7**


*Incumplimientos al Artículo 33a del DS-052-93-EM*

<b>Base Legal</b>	<b>Registro</b>
<p><b>Artículo 33a DS-052-93-EM</b> Los tanques de almacenamiento serán diseñados según reconocidos códigos o normas usando adecuados factores de seguridad y contruidos de acuerdo a la buena práctica de ingeniería.</p> <p>a) Especial atención debe darse a las cargas de techo, acciones de sismos o vientos, presiones internas, características del suelo y estabilidad del tanque, en áreas donde las condiciones son inusualmente severas.</p>	
<p><b>Normativa Internacional</b> - API 650: Numeral 5.2 (Design Considerations) - API 653: Numeral 10.5.2 y Anexo B</p>	<p><b>Acción Correctiva</b> Adecuar el diseño del tanque en conformidad con el estándar API 650.</p>
<p><b>Observación/Comentario</b> El tanque no tiene dossier de construcción ni data de diseño. No hay registros de cálculos de volcamiento, cargas de viento, estabilidad, cálculos estructurales de la cimentación, asentamientos, verticalidad. La zona es de actividad sísmica y no se cuenta con información del diseño sísmico del tanque.</p>	<p>Conocer la resistencia al volcamiento, a la acción de sismos y cargas de viento, conocer los asentamientos (de fondo, de borde, diferencial) y verticalidad.</p> <p><b>Requerimientos para la Adecuación</b> Elaborar memoria de cálculo del tanque por API 650 Numeral 5.2. (Design Considerations) Realizar cálculos de volcamiento, cargas de viento, asentamientos (de fondo, de borde, diferencial) por API 653 anexo B y verticalidad por API 653 numeral 10.5.2 Realizar diseño sísmico del tanque en conformidad con el anexo E del estándar API650</p>

Fuente: Informe adecuación del tanque 14 (Zúñiga Liñán, Melgarejo Pinzón, 2016)

**Tabla 8**

*Incumplimientos al artículo 33ab del DS-052-93-EM*

<b>Base Legal</b>	<b>Registro</b>
<p><b>Artículo 33ab DS-052-93-EM</b> Para el proyecto de las fundaciones, un completo conocimiento de las condiciones del suelo debe ser obtenido, requiriéndose por lo menos las siguientes determinaciones: Capacidad portante del suelo, riesgo de flotación o licuefacción, asentamientos totales y diferenciales esperados. a) Para el proyecto de las fundaciones deberá tomarse en cuenta el mayor efecto combinado de las cargas estáticas y dinámicas como: Peso propio del tanque y su contenido, cargas de prueba, cargas de viento, nieve y sismo, cargas de operación. b) Todos los tanques deben apoyarse en el terreno de corte o en fundaciones de concreto reforzado, pilotes u otros. Las fundaciones deben ser diseñadas para minimizar la posibilidad de asentamientos diferenciales, así como los riesgos de corrosión del fondo del tanque en la parte en contacto con la fundación.</p>	 <p><b>Acción Correctiva</b> Realizar memoria de diseño de la cimentación en conformidad con el Numeral 5.3.1 Foundations, del estándar API 650.</p> <p><b>Requerimientos para la Adecuación</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar cálculos de volcamiento.</li> <li>2. Evaluar la cimentación actual del tanque.</li> <li>3. Realizar cálculo de cargas estáticas y dinámicas.</li> <li>4. Realizar estudio de asentamiento totales y diferenciales del tanque.</li> <li>5. Realizar diseño sísmico del tanque en conformidad con el anexo E del estándar API650.</li> </ol> <p>Nota: Todos los diseños que se deben realizar serán documentados en conformidad con el estándar API 650.</p>
<p><b>Normativa Internacional</b> - API 650: Numeral 5.3.1 (Foundations) y Anexo E. - API 653: Anexo B</p>	
<p><b>Observación/Comentario</b> Del área del tanque no se tienen estudios de suelo: Capacidad portante, riesgo de flotación o licuefacción, asentamientos totales y diferenciales esperados, análisis químico, contenido de cloruros y bacterias, resistividad. Del tanque no se tiene memoria de cálculo de cargas estáticas y dinámicas (Peso propio del tanque y su contenido, cargas de prueba, cargas de viento, nieve y sismo, cargas de operación). De la cimentación del tanque no se tiene memoria de diseño.</p>	

Fuente: Informe adecuación del tanque 14 (Zúñiga Liñán, Melgarejo Pinzón, 2016)

## 1.2 Formulación del problema

¿De qué manera influye la evaluación estructural del anillo de cimentación en la adecuación del tanque N°-14 al DS-017-2013-EM para cumplir las disposiciones establecidas en el DS-052-93-EM?

## 1.3 Objetivos específicos

### 1.3.1 Objetivo general

- Realizar la evaluación estructural del anillo de cimentación del tanque N°-14 como parte de la adecuación al DS-017-2013-EM, para cumplir las disposiciones establecidas en el DS-052-93-EM.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la condición actual del anillo de cimentación del tanque de almacenamiento de hidrocarburos denominado N°-14.
- Realizar el análisis de asentamiento diferencial y verticalidad del tanque en servicio bajo el estándar API 653 anexo B.
- Realizar el estudio geotécnico del suelo de cimentación para determinar el análisis estructural de la cimentación anular.
- Determinar las condiciones del suelo de cimentación del tanque 14.
- Realizar la reparación del anillo de cimentación existente.
- Realizar la memoria de cálculo del refuerzo en la cimentación del anillo existente.
- Determinar la resistencia a la compresión del refuerzo del anillo de cimentación existente y nivelación de grout.
- Realizar la verificación de excentricidad, resistencia al volcamiento, deslizamiento como parte de lo solicitado en la adecuación del anillo de cimentación como para del DS-017-2013-EM.

## 1.4 Hipótesis

### 1.4.1 Hipótesis general

- Al realizar la evaluación estructural del anillo de cimentación del tanque N°-14 como parte de la adecuación al DS-017-2013-EM estaremos cumpliendo con parte de las disposiciones establecidas en el decreto supremo DS-052-93-EM, Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

### 1.4.2 Hipótesis específicas

- Al ser una estructura con muchos años de antigüedad, el anillo de cimentación del tanque N°- 14 no satisface los parámetros establecidos por el DS-017-2013-EM para poder cumplir con el DS-052-93-EM.
- En la evaluación que se realizará del anillo de cimentación existente, se determinará el estado y características del concreto estructural del tanque N°- 14 cumpliendo con el RNE E 0.60.
- Tras la realización de los diversos ensayos y cálculos, se logrará obtener datos referentes a la resistencia al volcamiento y asentamientos del tanque N °-14.
- El anillo de cimentación cumplirá los parámetros y a su vez contribuirá con la adecuación del tanque N°-14 al DS-017-2013-EM para cumplir con los requisitos del DS-052-93-EM.



## CAPITULO II. METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptivo, por tratarse de describir los resultados obtenidos en la parte civil en la adecuación del anillo de cimentación del tanque 14 al DS-017-2013-EM que establece el procedimiento para la adecuación de las instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos preexistentes, como parte de las disposiciones establecidas en el DS-052-93-EM.

### 2.2 Población y muestra

#### 2.2.1 Población

**Tabla 9**

*Dimensiones y capacidades de los tanques de almacenamiento*

Tanque	Producto	Clase de Líquido	Altura ft/m	Diámetro ft/m	Capacidad (Barriles)
TQ-01	PI-500	Clase IIIA	36.29/15.00	49.21/15.00	11,874
TQ-02	PI-06	Clase IIIA	42.25/12.88	70.93/21.62	28,188
TQ-03	Diésel B5 - S50	Clase II	34.65/13.70	44.95/13.70	10,450
TQ-05	Diésel B5 - S50	Clase II	42.00/12.80	58.33/17.78	19,025
TQ-06	Slop	Clase II	35.96/10.96	40.49/12.34	7,770
TQ-08	PI-500	Clase IIIA	41.90/12.77	70.80/21.58	28,158
TQ-09	PI-06	Clase IIIA	41.80/12.74	58.46/17.82	18,966
TQ-10	PI-06	Clase IIIA	41.99/12.80	28.54/8.70	3,898
TQ-11	Alcohol Carburante	Clase IB	34.97/10.66	29.99/9.14	4,063
TQ-12	Gasolina 90	Clase IA	41.86/12.76	58.30/17.77	16,944
TQ-14	Diésel B5 - S50	Clase II	42.03/12.81	70.90/21.62	29,872
TQ-15	Diésel B5 - S50	Clase II	35.43/10.80	115.09/35.08	63,281
TQ-16	Diésel B5 - S50	Clase II	35.24/10.74	115.32/35.15	63,108
TQ-20	Agua Salobre	-	34.91/10.64	67.55/20.59	20,000

Fuente: Elaboración propia.

La población está conformada por 12 tanques de almacenamiento de combustibles (02 PI-500, 03 PI-06, 01 alcohol carburante, 01 de gasolina 90, 05 de diésel B5 S50), 01 tanque SLOP y 01 tanque de agua para el sistema contra incendio, haciendo un total de 14 tanques.

Todos los tanques cuentan con anillo de cimentación, los cuales fueron construidos entre los años 60 y 70.

### **2.2.2 Muestra**

Para efectos de la presente investigación, la muestra de estudio será el anillo de cimentación del tanque N° 14 que almacena combustible líquido diésel B5 – S50 que está en proceso de adecuación al DS-017-2013-EM para cumplir con el DS-052-93-EM, Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

## **2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1 Técnicas de recolección de datos**

La recolección de datos se realizará mediante análisis documental para tener la información la cual será empleada para la adecuación del anillo de concreto de la cimentación.

- Revisión del informe de situación actual de cimentación del tanque 14
- Revisión del estudio de suelos complementarios del tanque 14
- Estudio de diamantina y escaneo de cimentación existente del tanque 14
- Informe de adecuación del tanque 14
- Ingenierías específicas para la adecuación del tanque 14
- Información de los anexos de las normas API 650 y 653
- Revisión del reglamento nacional de edificaciones E 0.30, 0.50 y 0.60

### 2.3.2 Instrumentos de recolección de datos

Son los medios materiales que se emplearan para recoger y almacenar la información tanto de gabinete como de campo.

- Línea base
- Lecciones aprendidas
- Solicitudes de cambio
- Reportes fotográficos
- Protocolos de Calidad
- Planos Red Line y planos As Built
- Matriz de riesgos
- Software como Excel, Autocad, SAP2000, AmeTank

### 2.3.3 Análisis de datos

Se realizará la recolección y análisis de los datos obtenidos de la información del estudio geotécnico del suelo de cimentación, estudio de diamantina, escaneo de cimentación, memoria de cálculo del estado actual del anillo de cimentación existente, análisis de reforzamiento de cimentación existente, esto con la finalidad de cumplir con lo dispuesto en el DS-017-EM-2013.

### 2.3.4 Selección de variables

- Variable dependiente:
  - Cumplimiento del parámetro estructural del DS-017-2013-EM
- Variable independiente:
  - Evaluación estructural del anillo de cimentación del tanque 14

## 2.4 Procedimiento

Para conocer la situación actual del anillo de cimentación del tanque N°-14, se ha efectuado estudios de diamantina, escaneo de cimentación existente y estudios de mecánica de suelos complementarios conforme a normas técnicas nacionales e internacionales; por lo cual el procedimiento se realizará con la siguiente secuencia:

- Recolección de datos
- Análisis de datos en gabinete
- Procesamiento y presentación de datos iniciales
- Validación de datos
- Ejecución
- Presentación de resultados

Con los datos obtenidos se tomó la mejor decisión para realizar la reparación de la cimentación existente mediante el sellado de fisuras con un adhesivo epóxico de alta resistencia con baja viscosidad, insensible a la humedad y realizar la construcción de un anillo de refuerzo de concreto armado concéntrico de 310 kg/cm<sup>2</sup> con cemento tipo V en el parte exterior unido mecánicamente con anclajes tipo dowels de  $\Phi$  3/8"@ 150 para amarrar la nueva armadura y un puente adherente a base de resinas epóxicas entre concreto antiguo y nuevo para que funcione como un monolítico.

## CAPITULO III. RESULTADOS

### 3.1 Condición actual del anillo de cimentación

Para el servicio de almacenamiento de hidrocarburos, el anillo de cimentación del tanque 14 tiene la siguiente descripción general de parámetros a tener en cuenta en el análisis:

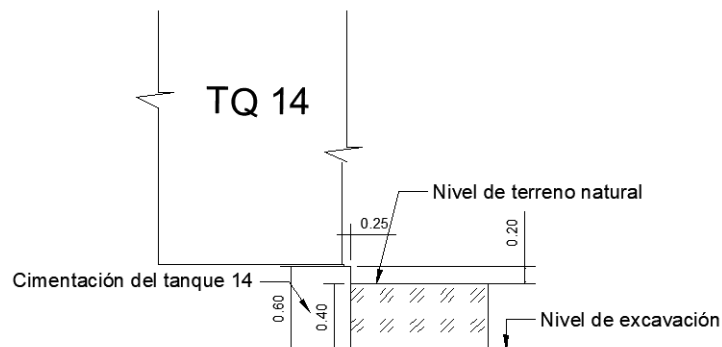
**Tabla 10**

*Parámetros de diseño del tanque*

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS
Servicio	Diésel B5 S50
Densidad del producto	0.87 gr/cm <sup>3</sup>
Código de diseño	API 650
Presión de operación	Atmosférica
Temperatura de operación	25 °C
Altitud	2.5 msnm
Diámetro nominal	21.63 m
Altura	12.75 m
Capacidad máxima	29,872 BB
Tipo de techo	Techo fijo
Número de anillos	7
Año de última inspección	2009
Año de fabricación	1972

**Figura 43**

*Dimensiones de la cimentación existente del tanque 14*



Elaboración: Fuente propia

De la ficha técnica del tanque N° 14 se tiene el último trabajo de mantenimiento ejecutado:

**Tabla 11**

*Resumen de ficha técnica del tanque N° 14 del anillo de cimentación*

F e c h a	Inspección	Cambio					Reparación					Detalles y observaciones	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	
		Cambio de Fondo	Cambio de Techo	Cambio de Anillo	Cambio de Escalera	Accesorios	Fondo	Cilindro	Techo	Escalera	Anillo de cimentación				Accesorios
Jun-16	X						X	X	X	X		X	TECNA PERU: Inspección integral (fondo, cilindro y techo)	X	
Jul-16	X						X	X	X	X		X	DOMINION PERU: Reparación del tanque de acuerdo a la inspección. Instalación de sobre planchas en el fondo, cilindro y techo, Mto de válvulas	X	
Ago-17												X	DOMINION PERU: Mantenimiento del anillo de cimentación		X

Para efectos de la presente investigación solo se tomó datos referentes a los impactos que tiene el anillo de cimentación en función a la línea de tiempo.

### 3.1.1 Trazabilidad del estado actual del anillo de cimentación

En el 2016 en los estudios preliminares para la adecuación al DS-017-2013-EM se realizó una inspección visual de la condición actual del tanque obteniendo los siguientes datos del reporte final de inspección API-653 fuera de servicio TK-14:

- Mediante la inspección visual, se logró observar que el área superior presenta buen estado de conservación en 80% del perímetro del tanque. Se evidenció pérdida generalizada de material por corrosión del concreto en áreas laterales, algunas moderadas y otras severas, sin exposición de barras estructurales.
- El sello perimetral entre la proyección del fondo del tanque y el anillo de concreto se encuentra aplicado a lo largo del perímetro del tanque y en general se observó en buen estado físico y funcional, solo en algunos puntos presenta discontinuidades ocasionando ingreso de agua lo cual se evidencia por presencia de corrosión leve en la proyección del fondo del tanque.
- Se encontró vegetación en la base del anillo de concreto de NE hasta W.

#### Figura 44

*Evidencia fotográfica de la inspección visual realizada en el tanque*



Fuente: (Zúñiga Liñán, Melgarejo Pinzón, 2016)

En el 2017 siguiendo la línea de tiempo en la reparación del anillo de cimentación en el informe de la empresa DOMINION PERÚ del 2017 se obtiene:

- Al momento de iniciar las actividades, se inspecciono el entorno de trabajo con la finalidad de detectar situaciones que puedan comprometer el normal desenvolvimiento de las operaciones a realizar.
- Se picó las zonas donde se encontraban los defectos de agrietamiento y desprendimiento de la fundación.
- Se procedió con la reparación del anillo utilizando arena gruesa y cemento, aplicándolo en la zona del anillo de concreto.
- Antes de aplicar el Sikadur 32, el concreto se encontró limpio, exento de polvo, partes mal adheridas, libres de aceites y grasas; luego se procedió aplicar Sikadur 32 en las zonas del anillo de concreto del tanque.

#### **Figura 45**

*Trabajos de resane del anillo de concreto del tanque 14 por la contratista Dominion en el 2017*



Trabajo de Resane en el Anillo de Concreto de los Tanques 3 y 14

Realizando un análisis preliminar y teniendo en cuenta que cuando se realizó la reparación del anillo de cimentación, el tanque se encontraba en operación, por lo que esta reparación solo se realizó externamente tratando de cubrir las fisuras presentes



externamente pero no se llevó una reparación para sellar las fisuras por completo por tener el tanque en operación.

En el 2019 se tiene un informe técnico de inspección de TÜV Rheinland que no está contemplado en la ficha técnica del tanque 14 el cual detalla lo siguiente referente al anillo de cimentación.

Inspección visual del cubero y fundación:

- El cubeto del tanque presenta suelo arenoso de playa el cual no presenta geomembrana de contención.
- El cubeto del tanque presenta talud con mezcla asfáltica en proceso de erosión.
- El sello del anillo de concreto y pestaña del tanque se encuentra con rajadura.
- Al momento de la inspección se observaron calicatas efectuadas alrededor del tanque y además un agujero en la arena debajo del anillo de concreto.
- Se observó desalineamiento de la superficie superior del concreto con respecto al casco del tanque.

#### Figura 46

*Inspección visual realizado por TÜV Rheinland en el anillo de cimentación*



Fuente: Informe de inspección de TÜV Rheinland

### 3.1.2 Determinación de la resistencia del concreto en el anillo de cimentación

#### 3.1.2.1 Ensayo de resistencia del concreto mediante esclerómetro NTP 339.181.2013

**Tabla 12**

*Resumen del ensayo con esclerómetro NTP 339.181.2013*

Ensayo	N° disparos	Promedio índice de rebote	$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Estado
A-1	10	30	25	255	Aceptado
A-2	10	23	17	173	Aceptado
A-3	10	32	29	296	Aceptado
A-4	10	23	14	143	Aceptado
A-5	10	27	19	194	Aceptado
A-6	10	26	20	204	Aceptado

#### 3.1.2.2 Ensayo de extracción de testigos diamantino NTP 339.059.2015

**Tabla 13**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las diamantinas extraídas*

N°	Muestra	Fecha de extracción	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
1	M-1/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	213	183
2	M-2/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	158	
3	M-3/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	259	
4	M-4/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	124	
5	M-5/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	175	
6	M-6/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	170	

### 3.1.2.3 Ensayo de carbonatación UNE 112011

**Tabla 14**

*Resultados del ensayo de carbonatación*

Código	Tipo de medida*	Profundidad de carbonatación			Observaciones
		Mínima	Máxima	Promedio	
M-1	B	11	34	22.5	Penetración irregular
M-2	B	1	8	4.5	Penetración irregular

### 3.1.3 Determinación del ancho mínimo del anillo de cimentación

Del levantamiento de información en campo y del estudio de diamantina realizado en el terminal se encontró un espesor de 0.4 m y 0.6 de profundidad para el anillo.

Como el tanque está en operación, solo se obtuvo las dimensiones de la cimentación exterior al tanque, se completó la dimensión del ancho del anillo (la parte interior del tanque), asumiendo en su totalidad un ancho de 0.40 m para los análisis respectivos.

Las fuerzas actuantes en el anillo son el empuje de relleno ER y empuje de sobrecarga del líquido SC.

$$E_R = \gamma l x K_0 x \frac{h}{2} \quad E_R = 1,362.94 \frac{N}{m} \dots \text{Ecuac. 32}$$

$$S_C = \gamma l x K_0 x H x h \quad S_C = 32,617.28 \frac{N}{m} \dots \text{Ecuac. 32}$$

Ecuac. N°-32. Empuje de relleno ER

Ecuac. N°-32. Empuje de sobrecarga del líquido SC

Espesor Mínimo necesario para el anillo (sin considerar efectos del anclaje)

$$t_{min} = \sqrt{\frac{M_u}{\phi x f' c b x \omega x (1 - 0.59 \omega)}} \dots \text{Ecuac. 33}$$

$$M_u = 1.4 \left( \frac{E_R x 1}{3} + \frac{S_C x 1}{2} \right) + \frac{M_{rw}}{\pi D} \dots \text{Ecuac. 34}$$

Se obtiene tmin: 0.715 m, redondeando 0.72m.

Ecuac. N°-33. Espesor Mínimo necesario para el anillo (sin considerar efectos del anclaje

Ecuac. N°-34. Momento ultimo

Debido al Momento último que se genera en el anillo por las fuerzas actuantes. Se comprueba que es necesario un anillo de cimentación de mayor espesor que el existente.

Por recomendación del API 650 Anexo B cuando se tiene ancho de anillo de cimentación que supere los 0.46m, los anillos de cimentación deberían llevar zapatas.

En la misma norma se indica que la profundidad mínima de cimentación debe ser 0.60 m.

### 3.1.4 Determinación del acero de refuerzo del anillo de cimentación existente

Con la fuerza radial en el anillo se procede a calcular los aceros que requiere el anillo existente de acuerdo al ACI 318-14 Cap. 11. Como se indica en el Anexo B del API 650.

$$T = \frac{367496.00}{1000} = 367.50 \text{ KN}$$

Del informe de 3A1005-5-INSP-2-INF-001 Situación actual de cimentación del tanque 14 se tiene que el refuerzo longitudinal:

As = 11.64 cm<sup>2</sup>, Se escoge el máximo valor 10  $\Phi$  1/2" → Por Cara del anillo 5  $\Phi$  1/2"

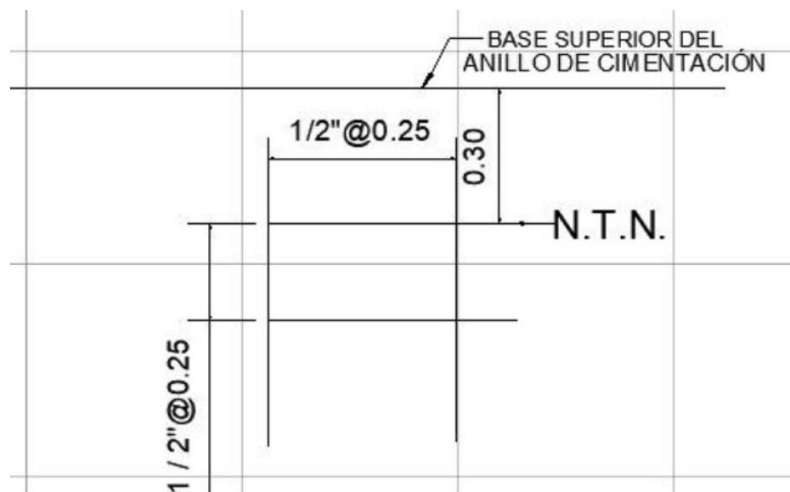
Para el refuerzo transversal se tiene:

As = 3 cm<sup>2</sup>/m, Estribos (mínimo) 1/2" @ 30 cm

En la figura N°-47, se muestra el acero de refuerzo encontrado en el Documento 3A1005-6-INSP-2-E-001 Rev. 0.

### Figura 47

*Distribución de acero de refuerzo en cimentación existente*



El acero transversal estaría cumpliendo la cuantía de diseño. Para el caso del acero de refuerzo longitudinal, se tiene un peralte de anillo de 0.60 m, por cara se tendría 3 fierros de  $\frac{1}{2}'' @ 0.25$  que hace un área de acero de 3.87 cm<sup>2</sup>/cara del anillo.

Lo requerido en el análisis por cara es 6.45 cm<sup>2</sup> (5  $\Phi \frac{1}{2}''$ ), por lo que nos estaría faltando 2.58 cm<sup>2</sup>/por cara de anillo. Es decir, por cara nos faltarían 2 varillas de  $\frac{1}{2}''$ .

La cuantía de diseño para el refuerzo en sentido de la circunferencia o longitudinal que existe en anillo de cimentación no estaría cumpliéndose.

### 3.2 Análisis del asentamiento diferencial del tanque bajo estándar API 653

Se cuenta con los siguientes datos de entrada para el análisis del asentamiento diferencial bajo el estándar API 653 anexo B.

**Tabla 15**

*Parámetros mecánicos para asentamiento diferencial*

Parámetros mecánicos	Nomenclatura	Unidad	Datos
Diámetro de tanque	D	m	21.63
Altura de tanque	H	m	12.80
Número mínimo de puntos de asentamiento		(-)	8*
Número de puntos de asentamiento usados		(-)	8
Ubicación del 1er punto de medición		grados	0
Distancia entre los puntos de asentamiento		m	8.49**
Cedencia del material	Y	N/mm <sup>2</sup>	250
Módulo de Young	E	N/mm <sup>2</sup>	211582

\*Requerido por API653, figura B-1

\*\*Máximo 9.75 m

Nivel de llenado durante la prueba 1.90m

**Tabla 16**

*Resultado de las lecturas de asentamiento diferencial*

Ubicación (grados)	Lectura de asent. (mm)	Elevación relativa (mm)	Inclinación planar (mm)	Asent. (mm)	Desviación (mm)
0	1057	9	4	5.4	7.4
45	1049	1	6	-5.3	-9.4
90	1060	12	9	2.8	8.3
135	1053	5	11	-5.7	-11.2
180	1066	18	10	8.1	12.1
225	1053	5	7	-2.2	-4.1
270	1048	0	4	-4.3	-3.8
315	1052	4	3	1.2	0.7

Fuente: (TECNA-TP/CHIMBOTE-2017-002AVR Asentamiento Diferencial (API653), 2017)

$$|S| = \frac{11 \cdot L^2 \cdot Y}{2 \cdot E \cdot H} * 1000 \dots \text{Ecuac. 35}$$

Ecuac. N°-35. Desviación crítica (mm) del asentamiento diferencial

Desviación crítica 36.6 OK

Donde

S = Desviación crítica (mm)

L = Longitud del arco (m)

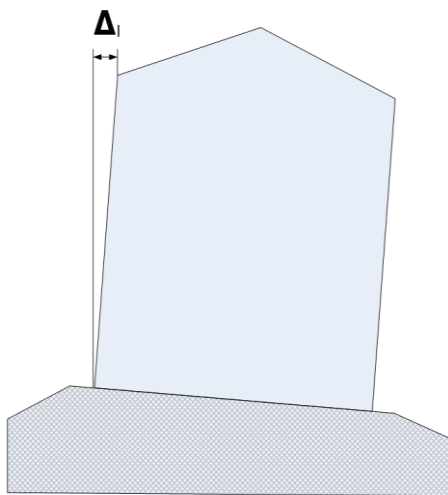
E = Modulo de Young (MPa)

Y = Cedencia (MPa)

H = Altura de tanque (m)

#### Figura 48

*Esquema del ensayo de asentamiento diferencial*



Como resultado de los datos de asentamiento medidos en el cilindro del tanque, se tiene que el tanque presenta asentamiento no planar o asentamiento fuera del plano (out-of-plane settlement). Este tipo de asentamiento se da debido a que el tanque es una estructura

flexible, en donde, debido a la compresión diferencial del terreno sobre el cual reposa el tanque, se crean deformaciones localizadas y, por ende, tensiones de diferentes magnitudes en toda la periferia del cilindro.

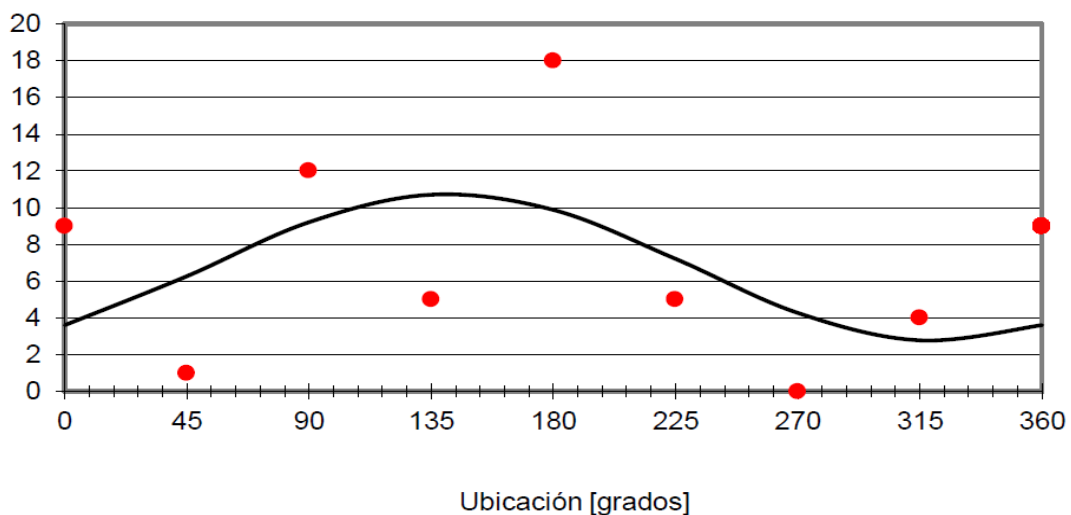
De acuerdo a la información obtenida en campo, y la evaluación realizada siguiendo la metodología descrita en el anexo B del estándar API653, se tiene que el asentamiento no planar del cilindro se encuentra por dentro de los límites permitidos (ver figuras 3.6 y 3.7).

La deflexión crítica para el tanque, calculada por API653 es de 36,6mm. Las desviaciones obtenidas de acuerdo a la curva coseno característica, indican que las desviaciones del cilindro van desde -11,2mm hasta 12,1mm, lo que ubica el asentamiento diferencial en zonas de hasta 1/3 de la desviación crítica.

De acuerdo a las gráficas del asentamiento obtenidas, se tiene que, el tanque se encuentra asentado hacia el costado Sur.

**Figura 49**

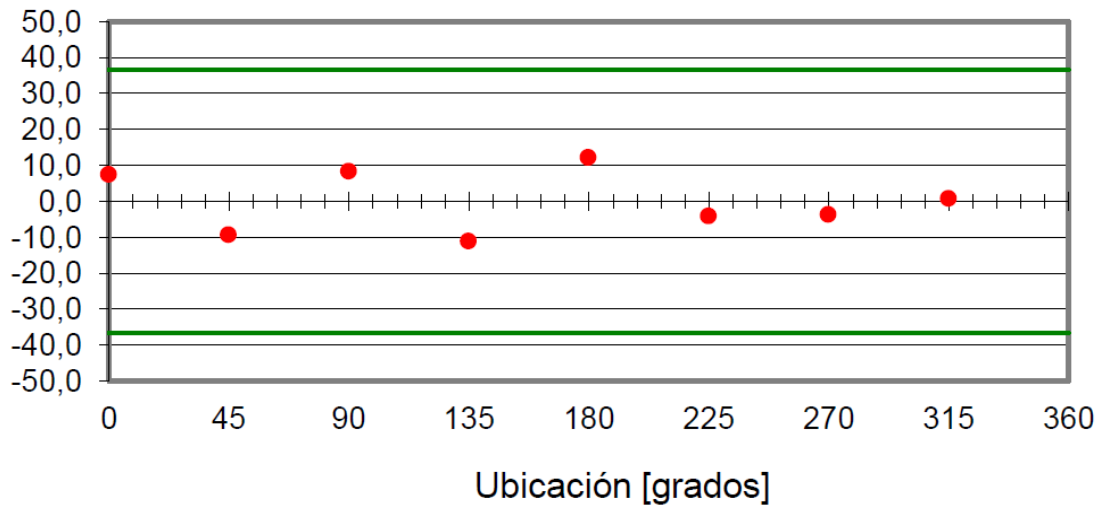
*Gráfica de asentamiento diferencial (mm)*





**Figura 50**

*Gráfica de deflexión de asentamiento del cilindro (mm)*



**Figura 51**

*Medición de asentamiento con estación laser*



### 3.3 Análisis de la verticalidad del tanque bajo estándar API 653

Se cuenta con los siguientes datos de entrada para el análisis del asentamiento diferencial bajo el estándar API 653 sección 10.5.2.1.

**Tabla 17**

*Resultado de las lecturas de verticalidad del tanque*

MP	Techo	Fondo	$\Delta$	% de criterio
N	12	0	12,0	9,4
NE	-7	0	-7,0	5,5
E	31	0	31,0	24,4
SE	-30	0	-30,0	23,6
S	-18	0	-18,0	14,2
SW	23	0	23,0	18,1
W	-7	0	-7,0	5,5
NW	18	0	18,0	14,2

Fuente: (TECNA-TP/CHIMBOTE-2017-002AVR Asentamiento Diferencial (API653), 2017)

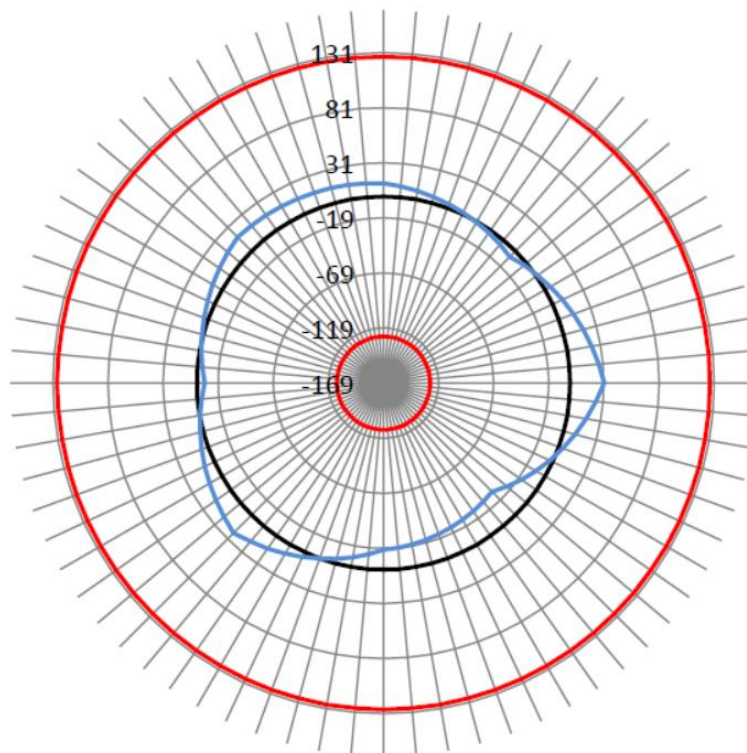
De los datos obtenidos de verticalidad, tomados de la parte alta (extremo superior del 7mo anillo, bajo el ángulo superior de unión techo-cilindro) y baja del cilindro (a 1pie de altura del extremo inferior del 1er anillo), se tiene que, evaluando de acuerdo a la sección 10.5.2.1 (usando el criterio de la altura dividida por cien  $H/100$ ), la verticalidad del tanque está en conformidad con API653.

Revisando el comportamiento de la verticalidad del tanque, de acuerdo a la curva obtenida en la foto 1 (también en el anexo 1) no se observa un patrón de inclinación definido, lo que muestra una buena condición de verticalidad del tanque. Así mismo, los datos de asentamiento diferencial muestran que no hay una tendencia de inclinación del tanque.

Estado del tanque al momento de la medición: lleno con producto a una altura de 1,90m.

**Figura 52**

*Verticalidad del tanque*



Referencia      **—**

Estado actual    **—**

Rechazo         **—**

Fuente: (TECNA-TP/CHIMBOTE-2017-002AVR Asentamiento Diferencial (API653),  
2017)

### 3.4 Estudio geotécnico del suelo de cimentación del tanque

Los ensayos realizados en el estudio de mecánica de suelos antes de la adecuación al D.S-017-2013-EM fueron siguiendo el siguiente programa:

- Ejecución de 02 calicatas a cielo abierto de una profundidad máxima de 3.50 m. para el estudio de capacidad portante.
- Ejecución de 01 ensayo de penetración estándar SPT con recuperación de muestras hasta una profundidad máxima de 8.45 metros.
- Ejecución de 01 ensayo de penetración con cono sin recuperación CTP de muestra hasta los 7.10m de profundidad.
- Ejecución de 03 ensayos de penetración ligera del tipo DPL hasta los 5.60m
- Clasificación manual visual de suelos según norma ASTM D-2487
- Extracción de muestras disturbadas representativas de la estratigrafía identificada.
- Ejecución de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos en muestras alteradas.
  - Análisis Granulométrico Norma ASTM D 422
  - Clasificación de Suelos Norma ASTM D 2487
  - Límite Líquido Norma ASTM D 423
  - Límite Plástico Norma ASTM D 424
  - Contenido de Humedad Natural en Laboratorio Norma ASTM D 2216
  - Contenido de Sales Soluble Totales Norma ASTM D 1889, NTP339.152
  - Ensayo de Cloruros Soluble NTP339.177-2002
  - Ensayo de Sulfato Soluble NTP339.178-2002
  - Ensayo de compactación Proctor Modificado Norma ASTM D 1883
  - Ensayo de CBR Valor relativo de soporte ASTM D 1557
  - Ensayo de Corte Directo Norma ASTM D3080
- Ejecución de análisis químicos de las muestras para la determinación del contenido de sales solubles totales, cloruros, sulfatos y PH.
- Determinación del perfil estratigráfico.

### 3.4.1 Calicatas de exploración

**Tabla 18**

*Perfil estratigráfico de calicata C-01*

Prof. (m)	Tipo	Descripción
0.00-0.50	SP-SM	Material conformado por suelos granulares finos del tipo áreas pobremente gradadas con limos, sueltas, secas, finos no plásticos beige, presencia de restos de raíces, granos de arena de grano medio a fino, no presentan contaminación de derivados de petróleo, el material presenta un contenido de gravas igual a 0.43%, arenas 93.91% y finos 5.66% con contenido de humedad de 7.03%, no presenta límites de consistencia.
0.50-3.50	SP	Material conformado por suelos granulares finos del tipo arenas pobremente gradadas, húmedas, sueltas a medianamente densas, finos de plasticidad nula, marrón claro a beige, arenas de grano grueso a medio, no presenta contaminación de derivados del petróleo, el material presenta un contenido de gravas igual a 0.00%, arenas 96.00% y finos 4.00%, con contenido de humedad de 12.97%, no presenta límites de consistencia.

**Tabla 19**

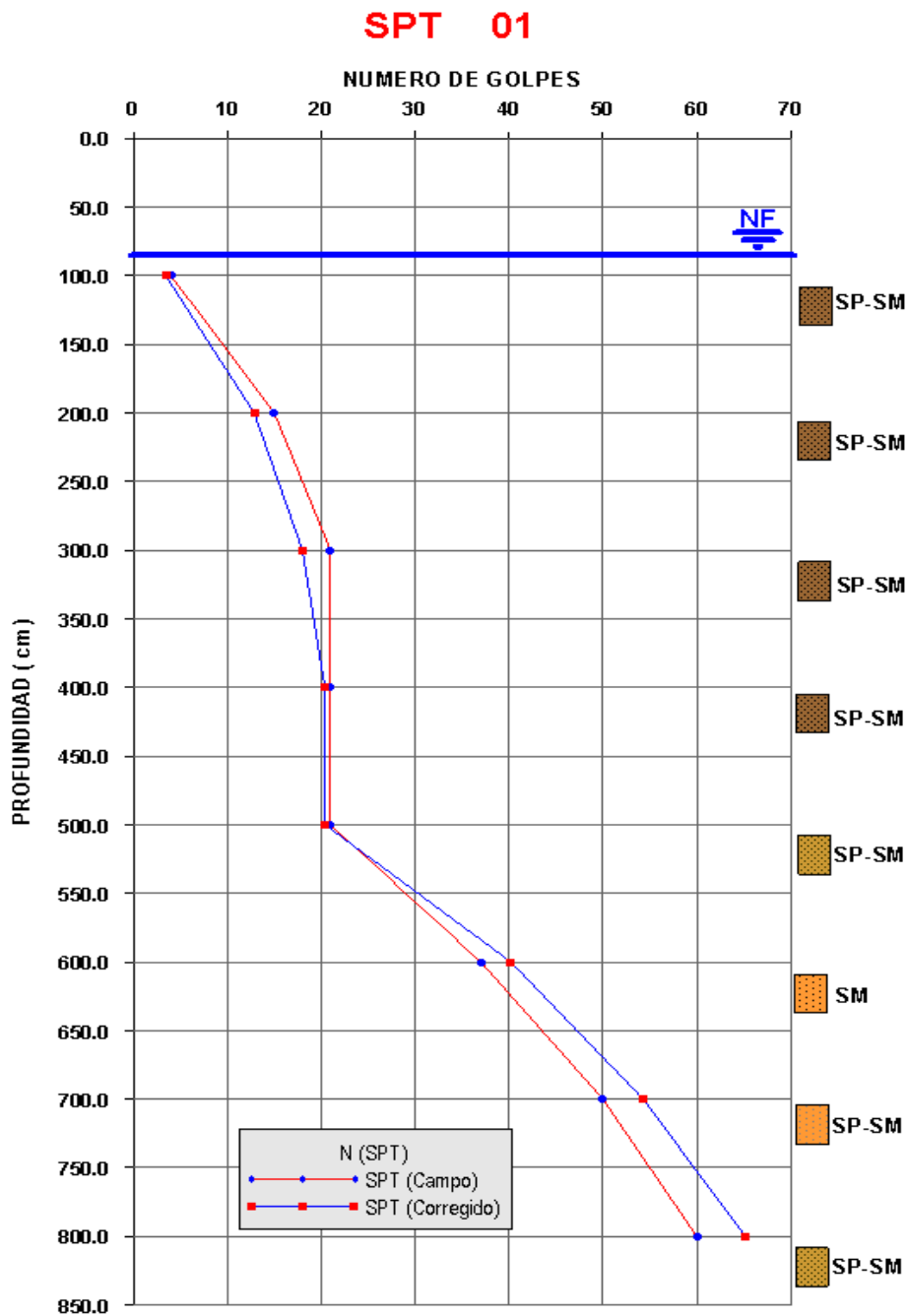
*Perfil estratigráfico de calicata C-02*

Prof. (m)	Tipo	Descripción
0.00-0.30	SP	Material conformado por rellenos del tipo arenas pobremente gradadas, muy sueltas, seca, finos no plásticos, beige claro, arenas de grano medio a fino, el material presenta un contenido de gravas igual a 0.17%, arenas 98.19% y finos 1.64%, con contenido de humedad de 0.83%, no presenta límite de consistencia.
0.30-0.80	SP	Material conformado por rellenos no controlados del tipo arena pobremente gradada, medianamente densa, seca, finos de plásticos, marrón claro, presenta ligera compactación, el material presenta un contenido de gravas igual a 0.00%, arenas 99.26% y finos 0.74% con un contenido de humedad de 1.97%, no presenta límites de consistencia.
0.80-1.00	SP- SM	Lente de arena pobremente gradada, con limos, húmeda, de finos no plásticos, marrón claro a grisáceo, fuerte olor a derivados de petróleo, contaminado, el material presenta un contenido de gravas igual a 0.00%, arenas 93.32%, y finos 6.68%, con contenido de humedad de 11.78%, no presenta límites de consistencia, material conformado por suelos granulares finos del tipos arenas, arenas pobremente gradadas, sueltas a medianamente densa, húmeda a saturada, finos no plásticos, negruzcos, olor a podrido, contaminado con restos de grasas de derivados de petróleo, olor a hidrocarburos, el material presenta un contenido de gravas igual a 0.00%, arenas 95.14% y finos 4.86%, con contenido de humedad de 8.62%, no presenta límites de consistencia.
1.00-1.30	SP	
1.30-3.50	SP- SM	Material conformado por suelos granulares finos del tipo arenas pobremente gradadas con limos, medianamente densa, húmeda, finos no plásticos, grisáceo a marrón claro, el material presenta un contenido de gravas igual a 0.00%, arenas 94.91% y finos 5.09% con contenido de humedad de 9.82%, no presenta límites de consistencia, los parámetros de resistencia obtenido son de fricción de 33.08° y cohesión de 0.12 kg/cm <sup>2</sup> .

### 3.4.2 Ensayo de penetración estándar STP

**Figura 53**

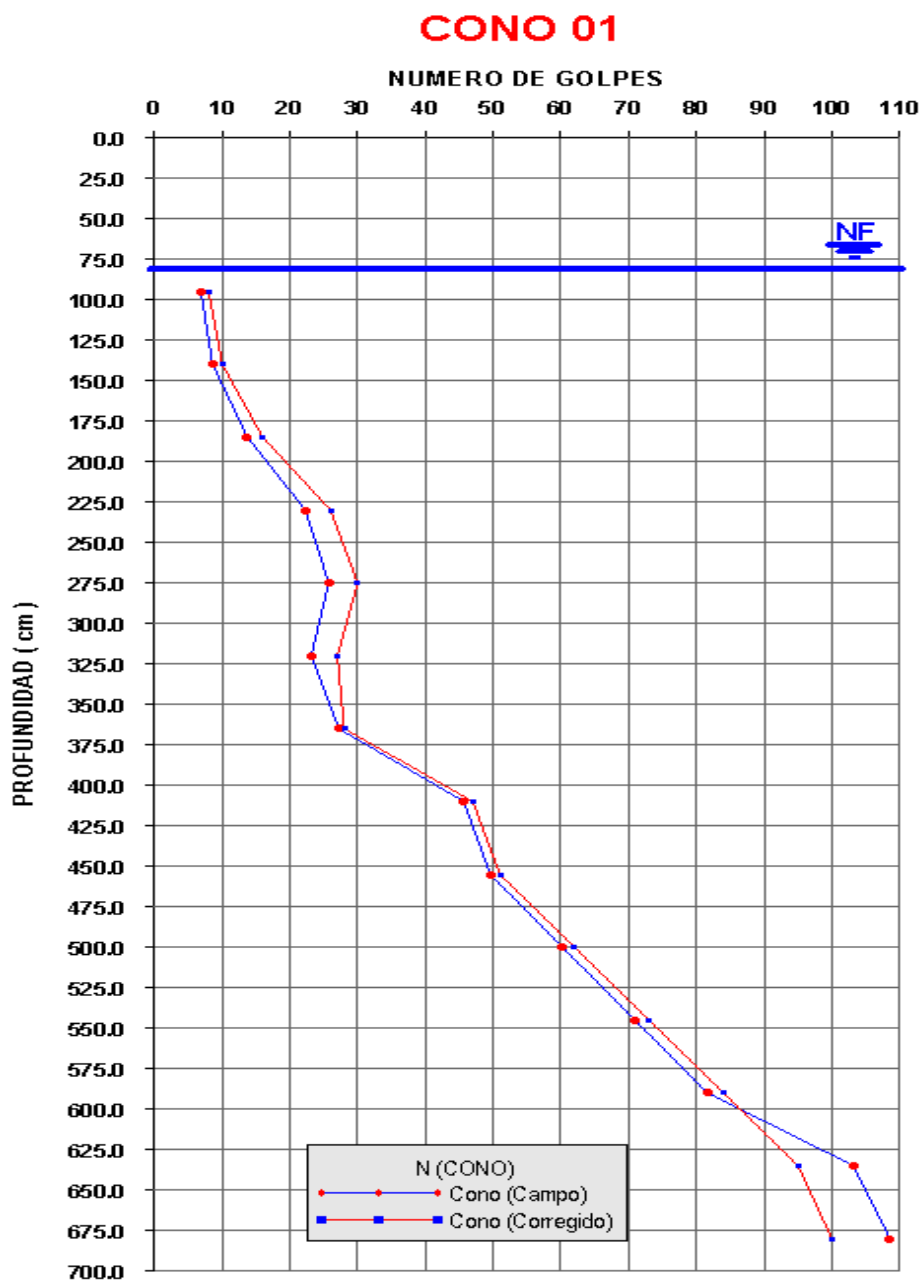
Diagramas de las curvas del número de golpes/pie de N de campo y la curva de los valores de N corregidos normalizados, medidos con la profundidad



### 3.4.3 Ensayo de penetración con cono sin recuperación CTP

**Figura 54**

*Diagramas de las curvas del número de golpes/pie de N de campo y la curva de los valores de N corregidos normalizados para las auscultaciones con el cono, medidos con la profundidad.*

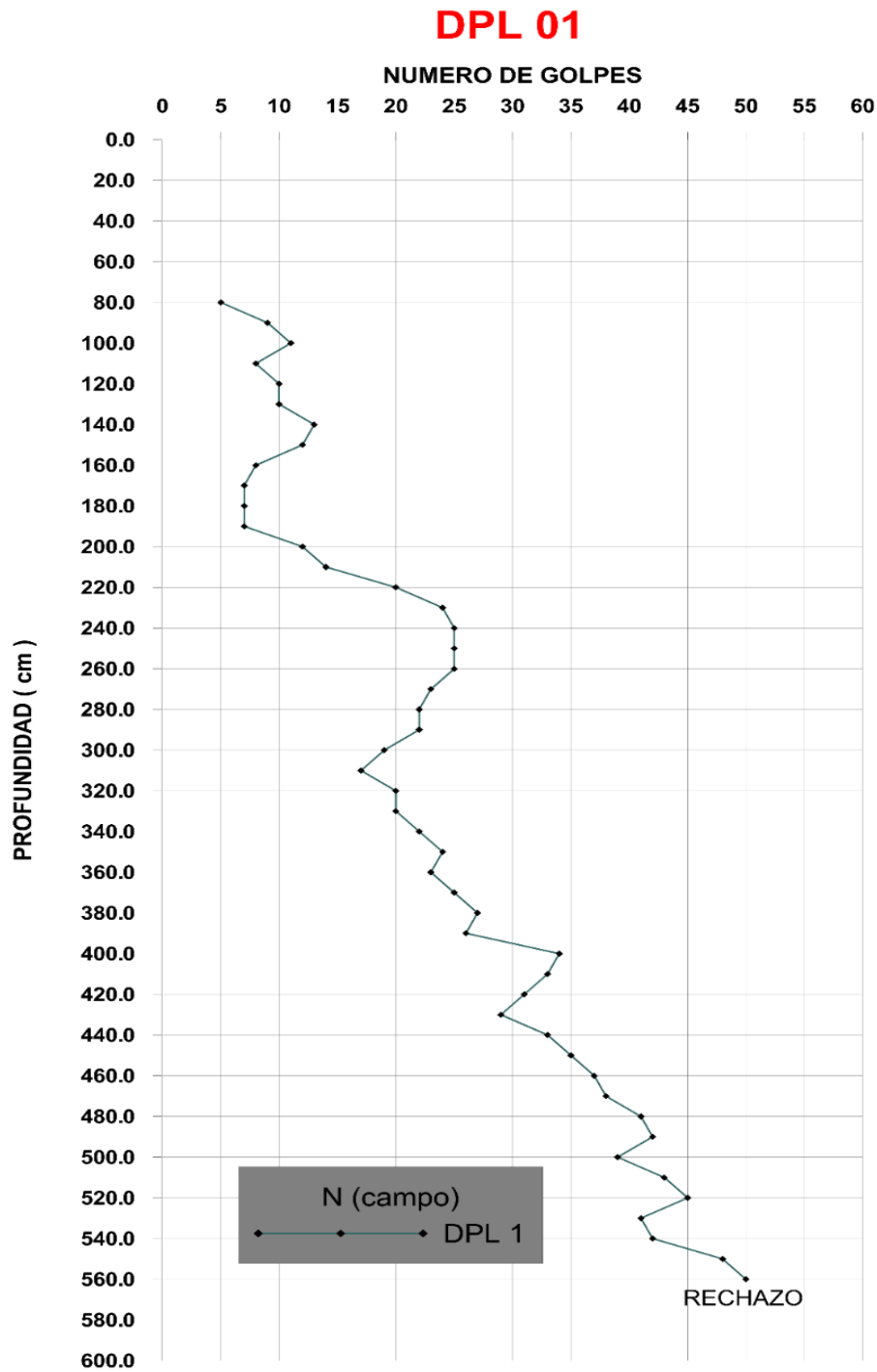




**3.4.4 Ensayo de penetración ligera del tipo DPL**

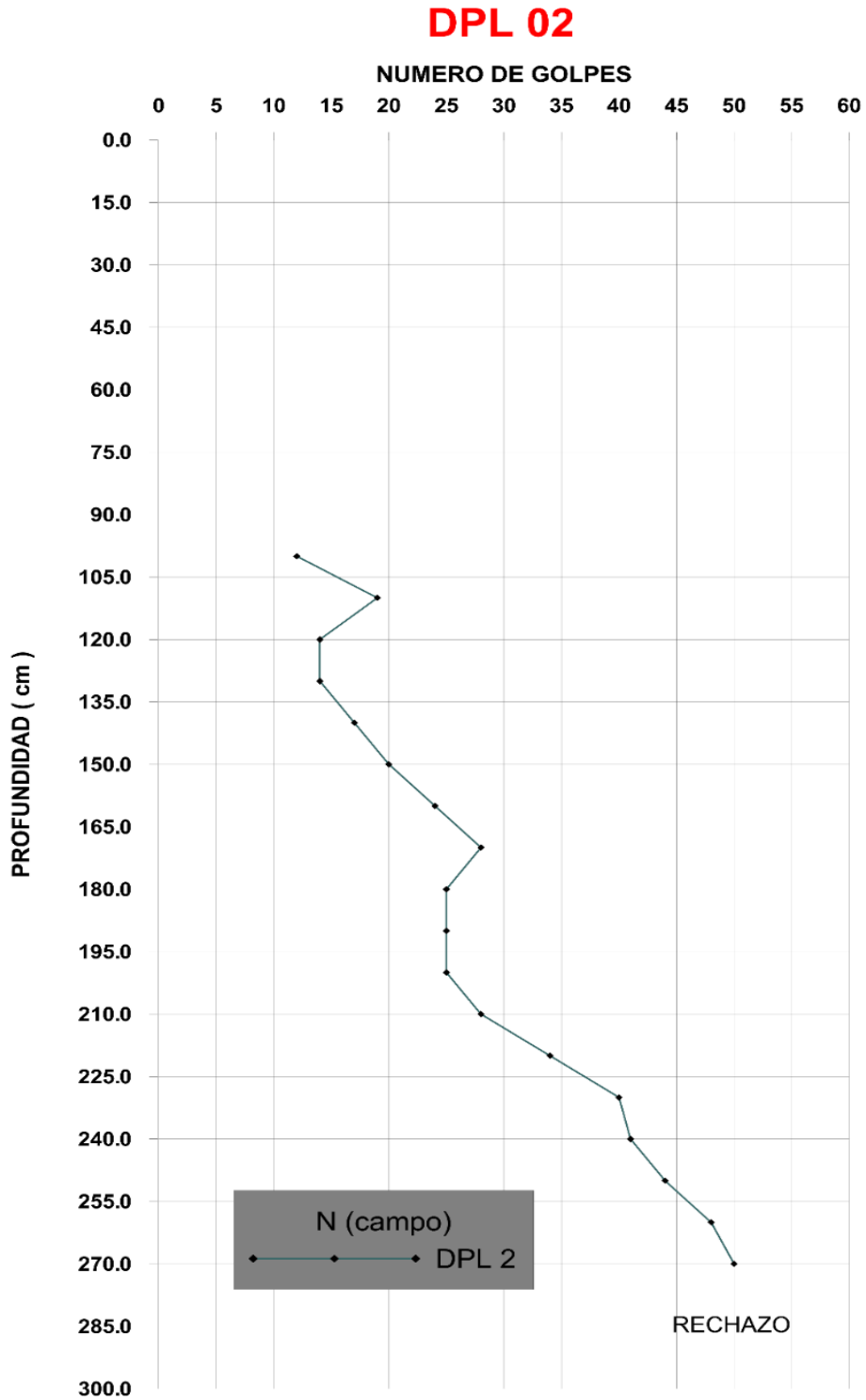
**Figura 55**

*Diagrama del registro continuo de las auscultaciones realizadas con el equipo, DPL 1*



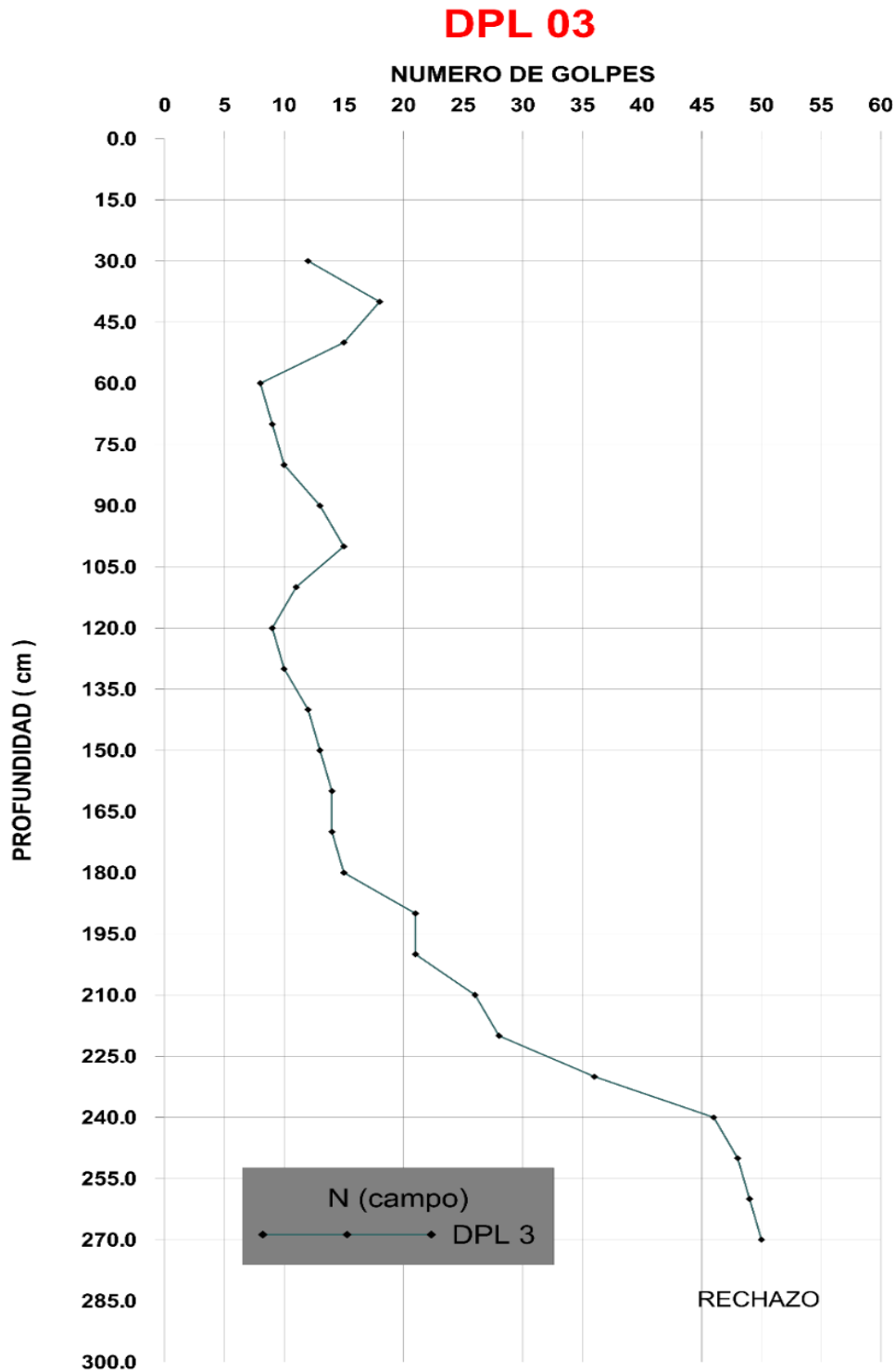
**Figura 56**

*Diagrama del registro continuo de las auscultaciones realizadas con el equipo, DPL 2*



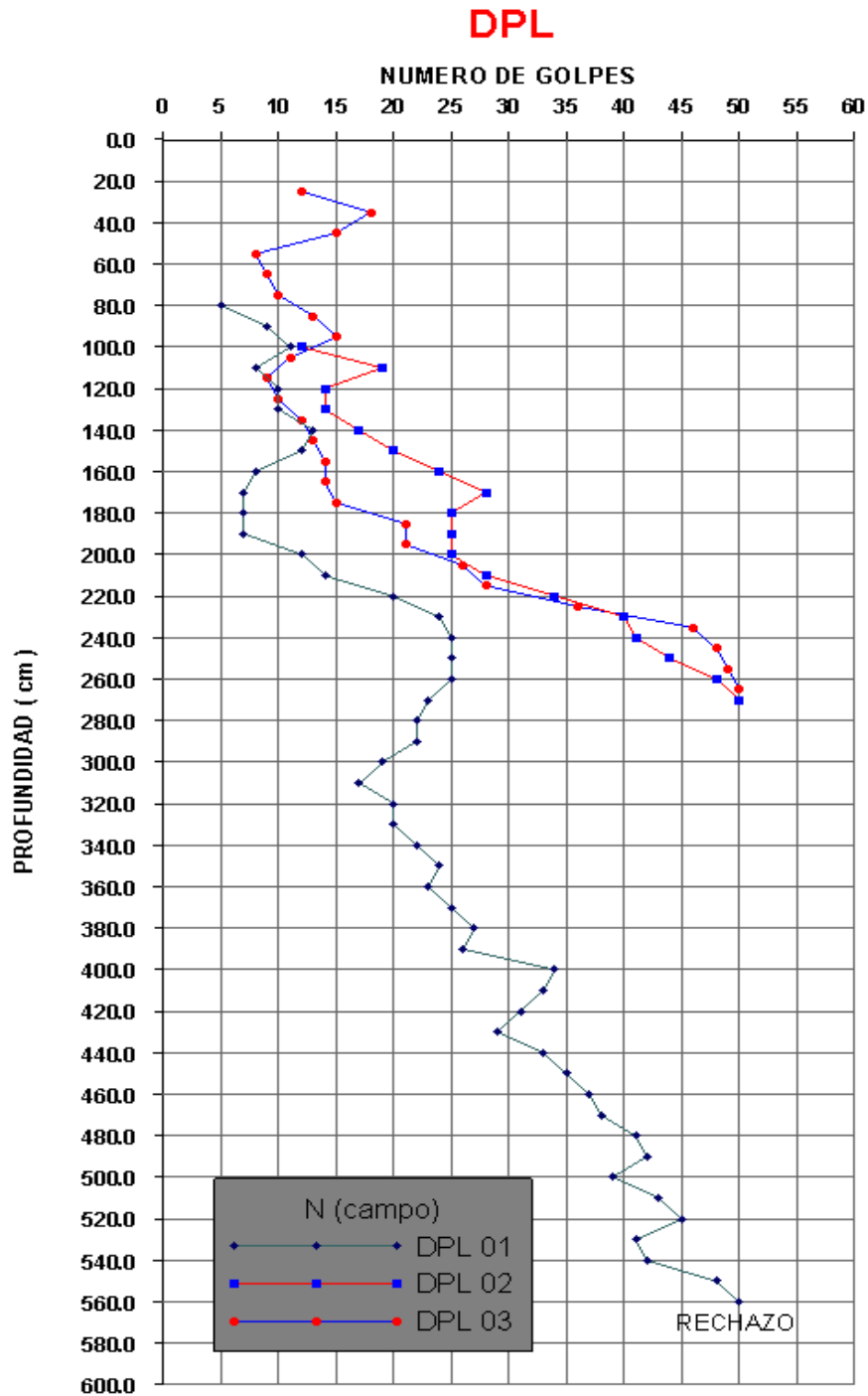
**Figura 57**

*Diagrama del registro continuo de las auscultaciones realizadas con el equipo, DPL 3*



**Figura 58**

*Diagramas de los registros continuos de las auscultaciones realizadas con el equipo de  
DPL en los tres diferentes puntos*



### 3.4.5 Ensayos de laboratorio

#### 3.4.5.1 Análisis granulométrico norma ASTM D-422

Se obtuvieron 15 muestras representativas de los diferentes estratos obtenidos por la clasificación por inspección manual visual a lo largo de todo el perfil estratigráfico, obtenidas de las Calicatas, muestreos con posteadora y sondeos del SPT realizados, ubicada de la siguiente manera:

Siendo realizados los análisis granulométricos de cada muestra en el Laboratorio según la norma ASTM D-422, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 20**

*Resultados de granulometría*

N° Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Granulometría		
				Grava (%)	Arena (%)	Limo/ Arcilla (%)
C-01	M-01	0.00-0.30	SP-SM	0.43	93.91	5.66
	M-02	0.30-0.70	SP	0.00	96.00	4.00
C-02	M-01	0.00-0.30	SP	0.17	98.19	1.64
	M-02	0.30-0.80	SP	0.00	99.26	0.74
	M-03	0.80-1.00	SP-SM	0.00	93.32	6.68
	M-04	1.00-1.30	SP	0.00	95.14	4.86
	M-05	1.30-3.50	SP-SM	0.00	94.91	5.09
SPT-01	SPT-01	1.00-1.45	SP-SM	0.00	94.15	5.85
	SPT-02	2.00-2.45	SP-SM	0.00	93.84	6.16
	SPT-03	3.00-3.45	SP-SM	0.00	94.56	5.44
	SPT-04	4.00-4.45	SP-SM	0.00	94.15	5.85
	SPT-05	5.00-5.45	SP-SM	0.00	92.70	7.30
	SPT-06	6.00-6.45	SM	0.31	84.24	15.45
	SPT-07	7.00-7.45	SP-SM	0.00	91.18	8.82
	SPT-08	8.00-8.45	SP-SM	0.00	89.42	10.58

### 3.4.5.2 Límites de consistencia norma ASTM D-424

De igual forma se calcularon para las muestras representativas de las calicatas ejecutadas y de los sondeos SPT realizados los Límites de Consistencia, siendo estos el Límite Líquido y el Límite Plástico. Debido a que los suelos son granulares y limpios todas las muestras no presentan límites de consistencia.

Las siguientes tablas muestran los valores de los límites de consistencia obtenidos de las muestras de las calicatas ejecutadas.

**Tabla 21**

Resultados del ensayo de consistencia

N° Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Contenido Humedad (%)
C-01	M-01	0.00-0.30	SP-SM	7.03
	M-02	0.30-0.70	SP	12.97
C-02	M-01	0.00-0.30	SP	0.83
	M-02	0.30-0.80	SP	1.97
	M-03	0.80-1.00	SP-SM	11.78
	M-04	1.00-1.30	SP	8.62
	M-05	1.30-3.50	SP-SM	9.82
SPT-01	SPT-01	1.00-1.45	SP-SM	18.49
	SPT-02	2.00-2.45	SP-SM	20.68
	SPT-03	3.00-3.45	SP-SM	20.54
	SPT-04	4.00-4.45	SP-SM	12.14
	SPT-05	5.00-5.45	SP-SM	22.70
	SPT-06	6.00-6.45	SM	23.51
	SPT-07	7.00-7.45	SP-SM	15.94
	SPT-08	8.00-8.45	SP-SM	23.06

### 3.4.5.3 *Contenido de humedad natural ASTM D-2216*

Realizadas las calicatas y los sondeos a percusión y evaluado los perfiles estratigráficos que mostraba cada uno de ellos, se tomaron muestras representativas de los estratos para obtener su contenido de humedad natural con la que podemos definir si el suelo se encuentra en estado húmedo o saturado y así evaluar los parámetros en su condición más desfavorable (caso saturado) si así el suelo se presentara.

Las tablas siguientes muestran los resúmenes de los valores de las humedades naturales obtenidas de cada estrato obtenido.

**Tabla 22**

*Resultados del ensayo de humedad natural*

N° Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Contenido Humedad (%)
C-01	M-01	0.00-0.30	SP-SM	7.03
	M-02	0.30-0.70	SP	12.97
C-02	M-01	0.00-0.30	SP	0.83
	M-02	0.30-0.80	SP	1.97
	M-03	0.80-1.00	SP-SM	11.78
	M-04	1.00-1.30	SP	8.62
	M-05	1.30-3.50	SP-SM	9.82
SPT-01	SPT-01	1.00-1.45	SP-SM	18.49
	SPT-02	2.00-2.45	SP-SM	20.68
	SPT-03	3.00-3.45	SP-SM	20.54
	SPT-04	4.00-4.45	SP-SM	12.14
	SPT-05	5.00-5.45	SP-SM	22.70
	SPT-06	6.00-6.45	SM	23.51
	SPT-07	7.00-7.45	SP-SM	15.94
	SPT-08	8.00-8.45	SP-SM	23.06

#### 3.4.5.4 Ensayos químicos en suelo y agua

Para determinar la agresión química del suelo y el agua que entran en contacto con la cimentación del Tanque 14, al concreto, se realizaron ensayos químicos de contenido de Sales Solubles Totales, Contenido de iones de sulfatos y Contenido de iones de cloruros, la tabla siguiente muestra los valores encontrados.

**Tabla 23**

*Resultados del ensayo químico en suelo y agua*

Calicata	Muestra	Ensayo	Profundidad (m)	SST (ppm)	CL (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	pH
C-01	M-01	Agua	0.70	6370.00	803.08	1299.80	7.00
C-02	M-05	Suelo	1.30 – 3.50	2055	132.01	709.53	7.87

SST: Sales solubles totales, CL: Cloruros, SO<sub>4</sub>: Sulfatos



### 3.4.5.5 Ensayos de proctor modificado norma ASTM D-1883

A partir de las muestras obtenidas de la calicata, se procedió a la ejecución de ensayos de Proctor Modificado con la finalidad de obtener la relación entre el contenido de agua y Peso Unitario Seco del suelo de fundación.

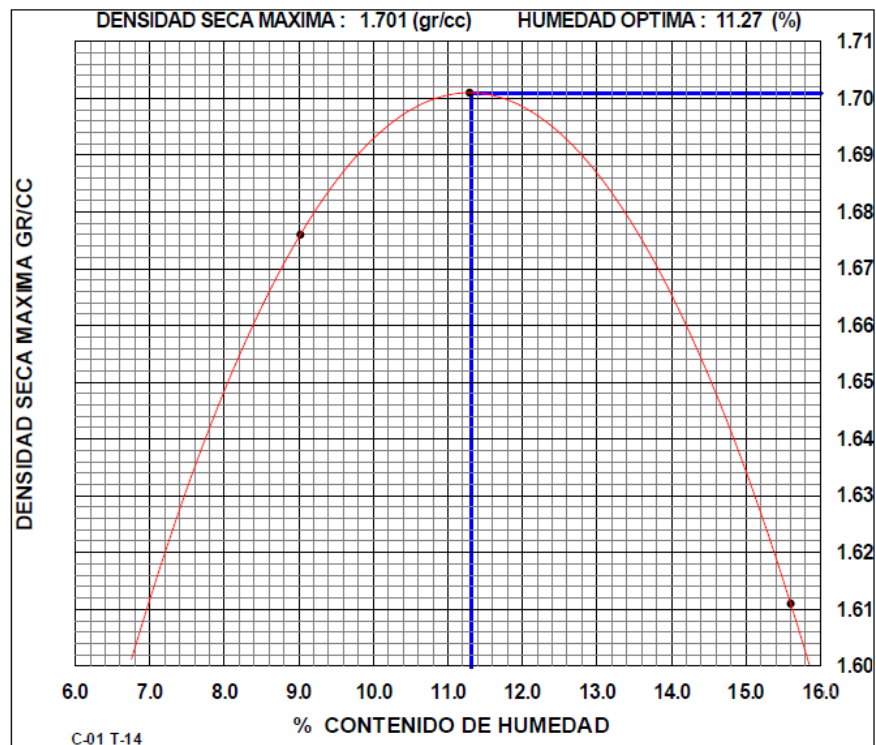
**Tabla 24**

*Resultados del ensayo de proctor modificado*

N° Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Humedad óptima (%)	Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
C-01	M-02	0.30-3.50	11.27	1.701
C-02	M-05	1.30-3.50	13.60	1.630

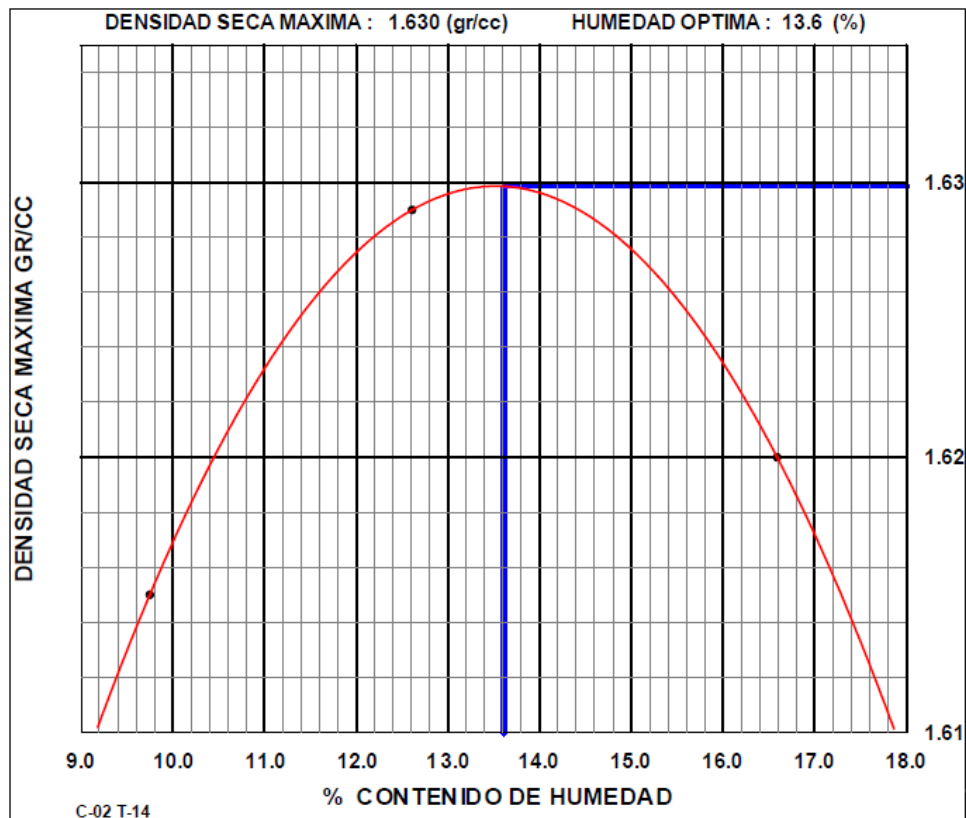
**Figura 59**

Resultado del ensayo de proctor modificado calicata C-01



**Figura 60**

*Resultado del ensayo de proctor modificado calicata C-02*



#### 3.4.5.6 *Ensayo de CBR valor relativo de soporte norma ASTM D-1557*

Se procedió a la ejecución de ensayos de CBR, a partir de las muestras obtenidas durante los trabajos de excavación de calicatas, con la finalidad de determinar la resistencia al corte del suelo de fundación bajo condiciones de humedad y densidad controladas, el cuadro siguiente resume los resultados de los ensayos.

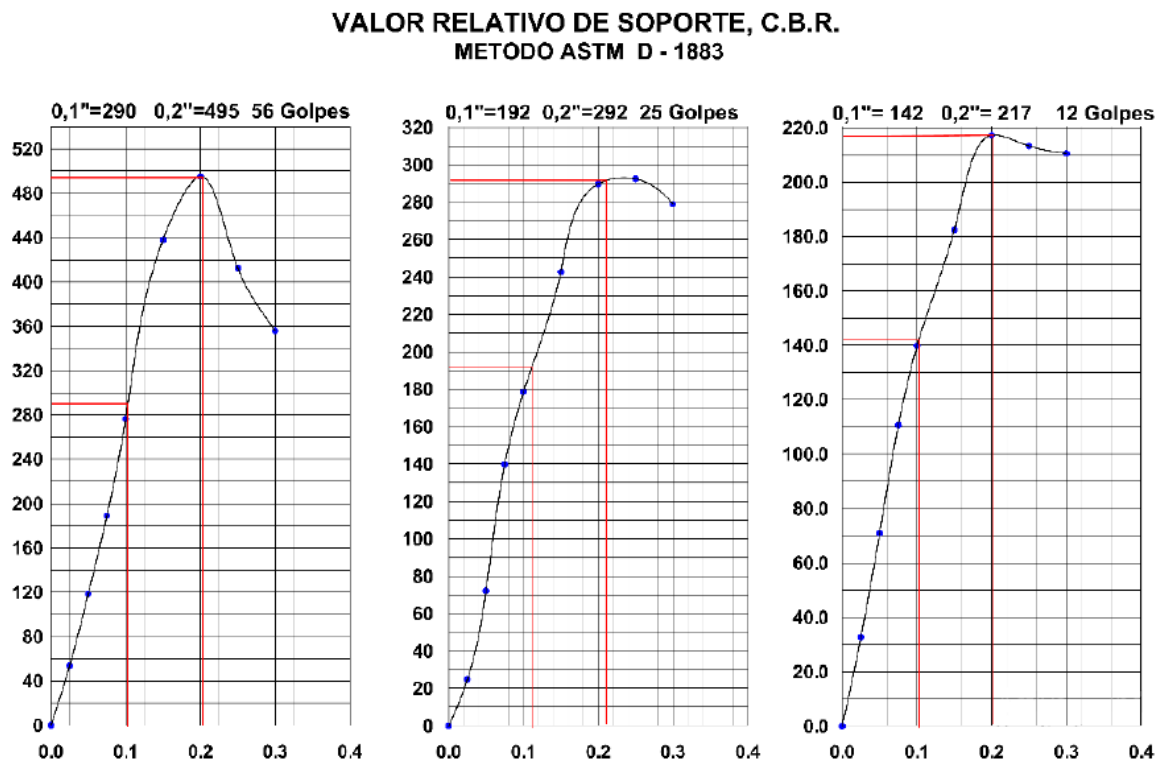
**Tabla 25**

Resultados del ensayo de CBR

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	SUCS	CBR al 95% MDS 0.1"	CBR al 95% MDS 0.2	CBR (%)
C-01	M-02	0.30-3.50	SP	10.5	11.4	11.0
C-02	M-05	1.30 – 3.50	SP-SM	6.8	9.4	9.0

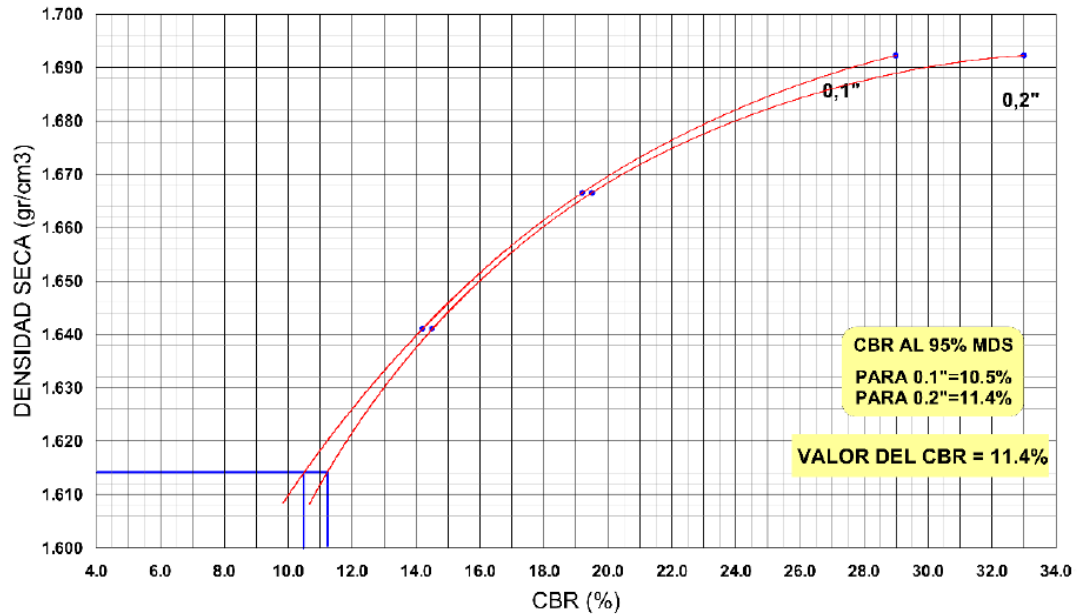
**Figura 61**

Resultado de valores relativos de soporte CBR de C-01



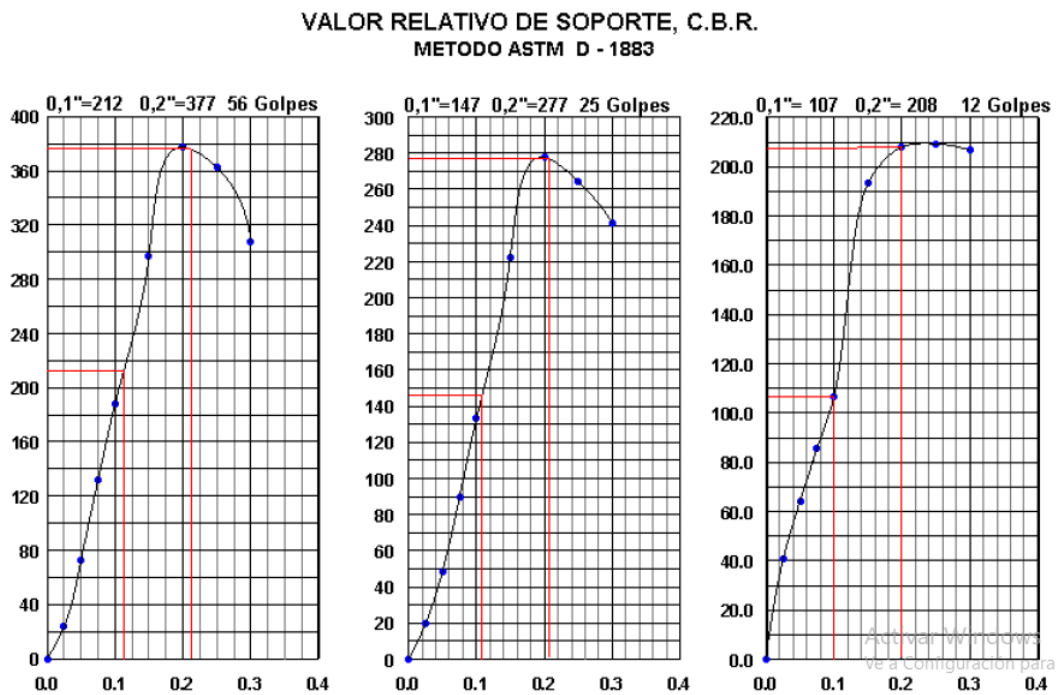
**Figura 62**

*Resultado del ensayo CBR C-01*



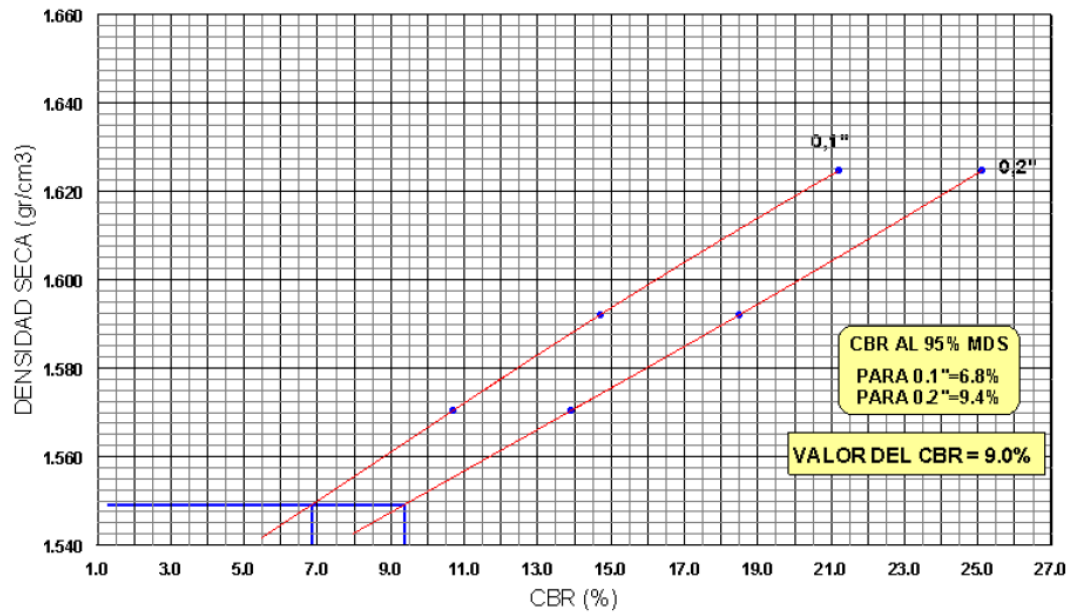
**Figura 63**

*Resultado de valores relativos de soporte CBR de C-02*



**Figura 64**

*Resultado del ensayo CBR C-02*



### 3.4.5.7 Ensayo de corte directo norma ASTM D-3080

Una vez obtenidas las muestras representativas para su análisis en el laboratorio se prosiguió a ejecutar un ensayo de resistencia del tipo Corte Directo según la norma ASTM D 3080 en una muestra y remoldeada.

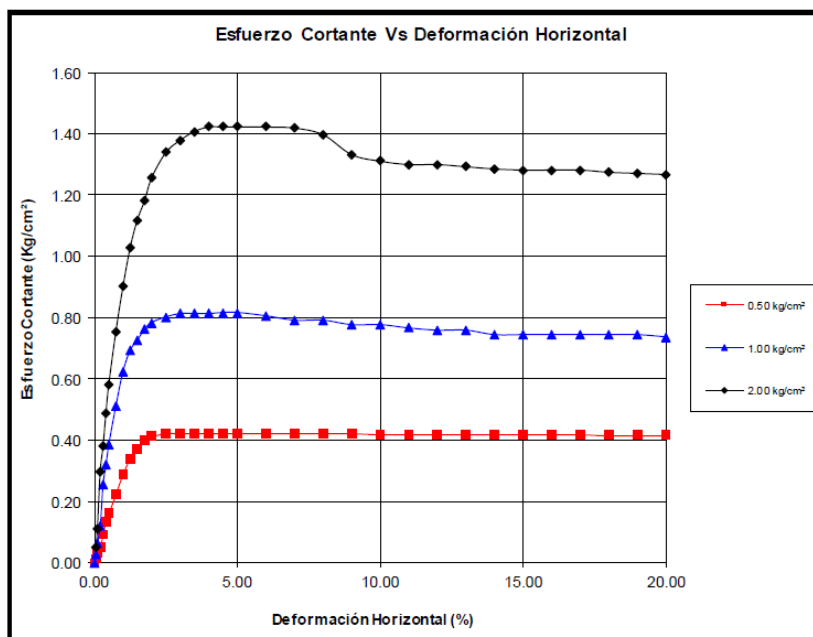
**Tabla 26**

*Resultados del ensayo de corte directo*

N° Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Corte directo	
				Esfuerzos efectivos	
				Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	Angulo de fricción (°)
C-02	M-05	1.30-3.50	SP-SM	0.12	33.08

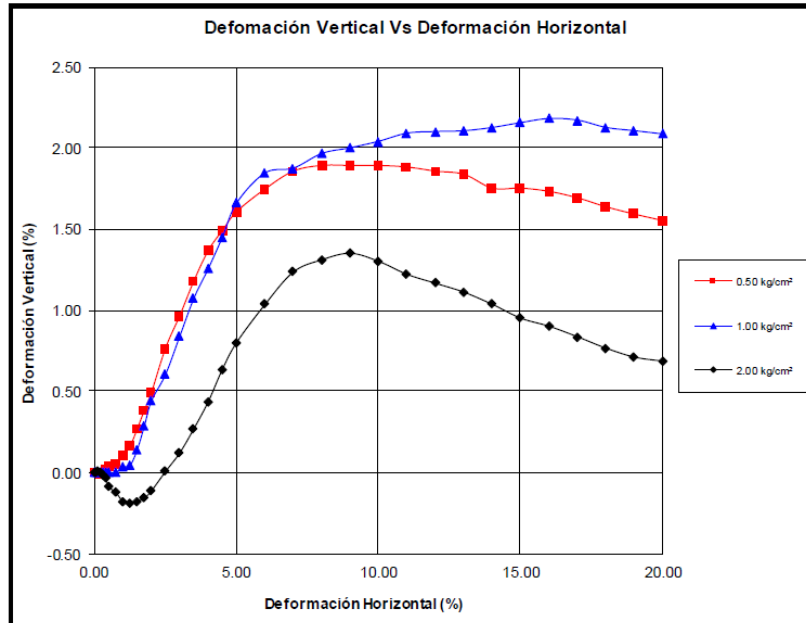
**Figura 65**

*Corte directo, curvas esfuerzo cortante vs deformación horizontal*



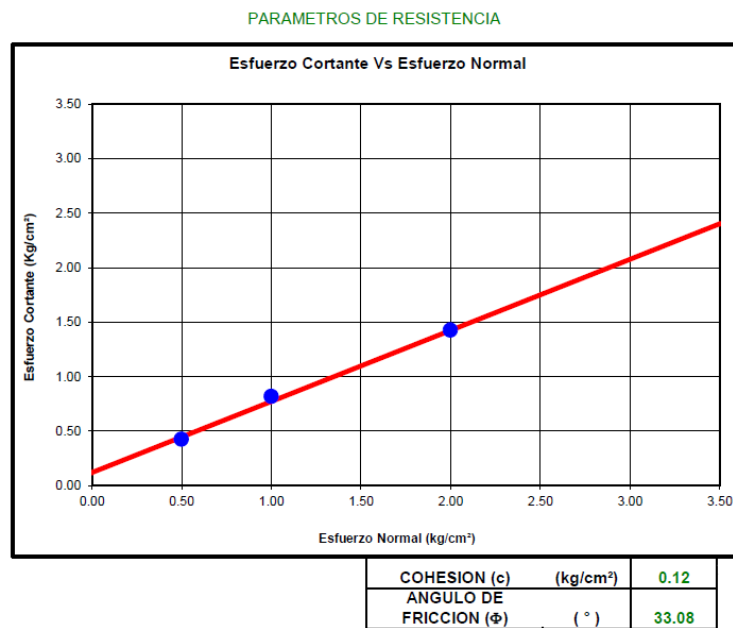
**Figura 66**

*Corte directo, curvas deformación vertical vs deformación horizontal*



**Figura 67**

*Resultados del ensayo de corte directo*



### 3.5 Determinación de las condiciones del suelo de cimentación del tanque 14

Como resultado de los trabajos de campo basados en calicatas y sondeos a percusión del tipo SPT y Cono, las dos primeras técnicas de exploración con recuperación de muestras se determinó en forma general que el área investigada presenta una estratigrafía heterogénea, conformada inicialmente hasta los 0.80m de profundidad por material de rellenos no controlados, formados de arenas con gravas con mezclas de limos que no presentan plasticidad, que se encuentra con desechos orgánicos.

Considerando el tipo de cimentación superficial existente para el Tanque 14, formado de un anillo de cimentación de 0.60m de altura empotrado en el suelo 0.40m de profundidad en promedio y ancho de 0.40m, tanque de 21.63m de diámetro y 12.75m de altura que almacena Diesel B5 de densidad 0.87 gr/cm<sup>3</sup>, donde el suelo de cimentación corresponde a las arenas pobremente graduadas con limos del tipo SP-SM.

#### 3.5.1 Profundidad de cimentación

Para la evaluación del Tanque 14 en el Terminal Chimbote, según el tipo, forma y geometría de la cimentación existente y considerando el perfil estratigráfico y las características geotécnicas de los suelos encontrados se harán la evaluación del suelo de cimentación considerando la siguiente profundidad de cimentación:

Profundidad de Df = 0.60m. (Suelo de apoyo SP-SM)

Por lo que el suelo de apoyo para la cimentación del Tanque 14 de almacenamiento de diésel B5, se analizó considerando que se encuentra saturado y que inicialmente está suelto.

En vista de lo mencionado se analizó los parámetros de resistencia del suelo de cimentación del tipo arenas pobremente graduadas con limos del tipo SP-SM, en estado medianamente denso en su condición más crítica (saturado) por la presencia del Nivel freático a 0.70m, obteniéndose la resistencia del suelo última y admisible por los métodos conocidos de capacidad de carga.



### 3.5.2 Nivel freático

El Nivel Freático fue alcanzado a la profundidad de 0.70m, para la Calicata 01 y 0.95m para la Calicata 02, así mismo en el sondaje SPT a los 0.70m, donde los suelos encontrados a ese nivel corresponden a depósitos de arenas pobremente gradadas con limos (SP-SM) que son susceptibles a licuar, fenómeno que será analizado considerando los resultados de los ensayos SPT.

### 3.5.3 Determinación de la capacidad portante

Considerando que la falla que podría producirse sería del tipo falla localizada debido a la condición del suelo en estado semi denso y al estar en estado saturado, sujeto a presentar asentamientos instantáneos elásticos a corto plazo y pudiendo generarse también asentamientos por reacomodos de las partículas producto de transmisión de cargas o sollicitaciones dinámicas, se tendrá que trabajar con parámetros de resistencia reducidos, por tratarse el suelo de cimentación del tipo arenas mal gradadas con mezcla de limos que presentan fricción y cohesión, según los ensayos de corte directo.

Utilizando la formula general siguiente:

$$q_{ult} = 0.5\gamma_2xBxN_sxS_\gamma + \gamma_1xD_fxN_qS_q + CxN_cxSc \dots \text{Ecuac. 36}$$

Ecuac. N°-36. Capacidad portante ultima

$$q_{adm} = \frac{q_{ult}}{FS} \dots \text{Ecuac. 37}$$

Ecuac. N°-37. Capacidad portante admisible

Considerando falla localizada se reducen los parámetros de resistencia.

$$C' = \frac{2}{3C} \dots \text{Ecuac. 38}$$

Ecuac. N°-38. Parámetros de resistencia por falla localizada C'

$$\phi' = \arctg\left(\frac{2}{3tg\phi}\right) \dots \text{Ecuac. 39}$$

Ecuac. N°-39. Parámetros de resistencia por falla localizada  $\Phi'$

Según los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio para el suelo de cimentación, encontramos que para LOS TIPOS DE SUELOS encontrados como suelo de apoyo los parámetros de resistencia son:

$$\phi = 33.08^\circ$$

$$C = 0.12 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_1 = 1.70 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma_2 = 1.75 \text{ ton/m}^3$$

$$E_s = 150 \text{ kg/cm}^2 \quad E = 10(7.5 + (0.50N_{spt}))N_{spt} = 15 \text{ golpes/pie}$$

$$\mu = 0.35$$

$$D_f = 0.60 \text{ m}$$

B = Variable de cimentación

$$FS = 3$$

$S_c, S_\gamma, S_q$  = Factores de forma

### Desarrollo

Reemplazando en (3.4) y (3.5)

$$C' = 0.80 \text{ ton/m}^2$$

$$\phi' = 23.47^\circ$$

Obteniéndose:

$$N'c = 18.64 \quad N'q = 9.09 \quad N'g = 8.77$$

Para cimentación corrida

$$qult = 0.5 g_2 * B * N'g * Sg + g_1 * Df * N'q * Sq + C' * N'c * Sc$$

$$qult = 0.5 * 0.75 * B * 8.77 * 1.0 + 1.70 * 0.60 * 9.09 * 1 + 0.8 * 18.64 * 1.00$$

$$qult = 3.289 * B \text{ Ton/m}^2 + 24.18 \text{ Ton/m}^2$$

$$qult = 0.3289 * B + 2.418 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (B en metros)}$$

Considerando para diferentes anchos de cimentación la tabla siguiente muestra los valores de capacidad portante obtenidos:

El factor de seguridad contra falla por capacidad de carga debe ser del orden de 3, encontrándose el valor de la capacidad portante Admisible o de diseño siguiente:

**Tabla 27**

*Resultados de Qadm en cimientos corridos*

Ancho de cimentación (m)	Df (m)	Qd (kg/cm <sup>2</sup> )	Qadm (kg/cm <sup>2</sup> )
0.40	0.60	2.55	0.85
0.50	0.60	2.58	0.86
0.60	0.60	2.62	0.87
			0.86

Obteniéndose para este tipo de Cimentación apoyado sobre las arenas finas saturadas, un valor de capacidad portante admisible promedio de 0.86 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 28**

*Resumen de resultados del método*

Tipo de cimentación	Profundidad de cimentación (m)	Ancho de cimentación mínima	Tipo de suelo	Capacidad admisible Qamd (kg/cm <sup>2</sup> )
Corrida	0.6	SP-SM	0.45	0.86

Debiéndose comparar estos resultados de capacidad portante admisible con el valor del esfuerzo transmitido de la cimentación al suelo y verificar lo siguiente:

- $Q \text{ transmitido} > Q \text{ admisible}$  El suelo falla por corte
- $Q \text{ transmitido} < Q \text{ admisible}$  El suelo NO falla por corte

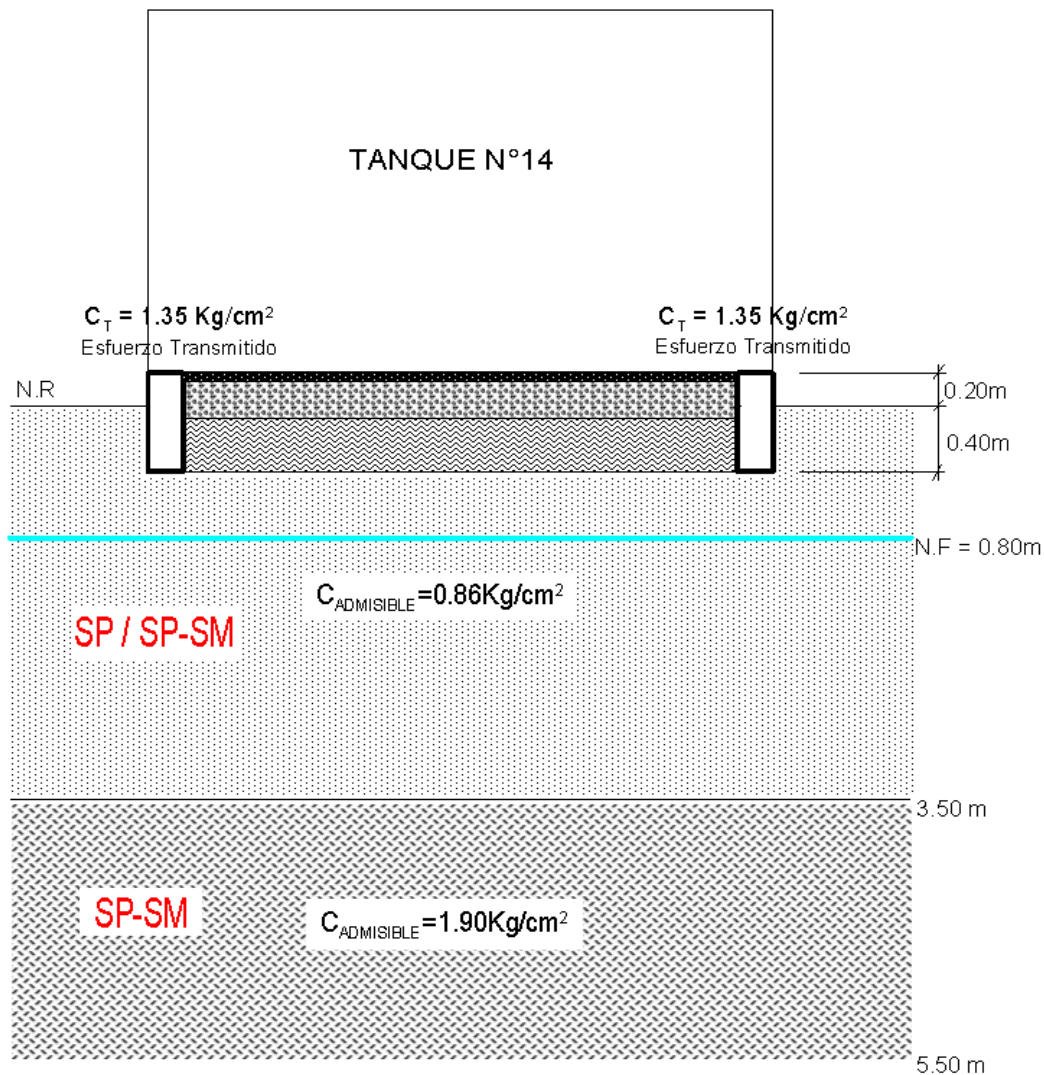
De la información proporcionada de la memoria de cálculo del tanque 14, el tanque transmite 1.35 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que hace que el suelo de apoyo en las condiciones actuales no soporta a la estructura.

$1.35 > 0.86$  el suelo falla por corte - cimentación sub dimensionada

De acuerdo a los resultados obtenidos para el suelo de apoyo de la cimentación del Tanque 14, del tipo SP-SM, se observa que la capacidad portante admisible es media a baja, considerando que se trata de suelos granulares saturados arenas pobremente gradadas con limos, que se encuentran en estado semi denso, además se debe considerar que los asentamientos que se producirían son mínimos ya que el tanque está construido más de 40 años, sin embargo el problema a evaluar es el riesgo de licuefacción.

**Figura 68**

*Grafica del esquema actual de Cadmisble y tipo de suelo debajo de la cimentación del tanque 14*



### 3.5.4 Módulo de elasticidad

Donde el valor de N promedio es de 11 golpes/pie, para lo cual se muestra la siguiente tabla, para la profundidad de cimentación de  $D_f = 0.60\text{m}$ .

### Tabla 29

Valor de  $N$  promedio es de 11 golpes/pie, para la profundidad de cimentación de  $D_f = 0.60m$ .

	Zona 01	Zona 02	Zona 03
$N_{70}$ Promedio	11	20	53
Profundidad	1.45m – 3,45m	4.45m – 5.45m	6.45m – 8.45m

$$E_s = 10 \cdot (7.5 + (0.50 \cdot N_{SPT})) = 130 \text{ kg/cm}^2$$

#### 3.5.5 Módulo de corte

La prueba de penetración estándar se usa ampliamente en los programas de exploración de suelos granulares. El número de penetración estándar ( $N$  en golpes/pie) se usa en los proyectos de cimentación. El número de penetración estándar puede correlacionarse (Seed et al, 1986) con la siguiente fórmula para predecir el módulo de corte máximo:

$$G_{max} \approx 35 \times 1000 N_{60}^{0.34} (\sigma_v)^{0.4} \dots \text{Ecu. 40}$$

Ecuac. N°-40. Módulo de corte máximo

**Tabla 30**

*El Módulo de corte obtenido a partir del ensayo SPT*

Sondaje	N° de ensayo	Prof. de ensayo (m)		$\gamma$ In situ effective stress (Kpa)	(N1) <sub>70</sub>	Módulo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )
		De	A			
SPT-01	01	1.00	1.45	16.82	3	261
	02	2.00	2.45	23.69	13	469
	03	3.00	3.45	27.81	18	560
	04	4.00	4.45	34.51	20	637
	05	5.00	5.45	41.41	20	686
	06	6.00	6.45	48.41	40	919
	01	7.00	7.45	55.62	54	1076
	02	8.00	8.45	62.49	65	1199
Módulo de Corte promedio para Df=0.6m						430

### 3.5.6 Coeficiente de Balasto

Terzaghi propuso para la placa de (1pie\*1pie) unos valores de k30 en función de la compacidad del material, dando los siguientes valores medios para arenas secas o húmedas.

**Tabla 31**

*Valores medios para arenas secas o húmedas*

Tipo de Arena	Ks1 (Kg/cm <sup>3</sup> )
Arena floja	1.28
Arena media	4.15
Arena densa	15.97

Así mismo teniendo en cuenta la compacidad de la arena, se tiene el siguiente cuadro:

**Tabla 32**

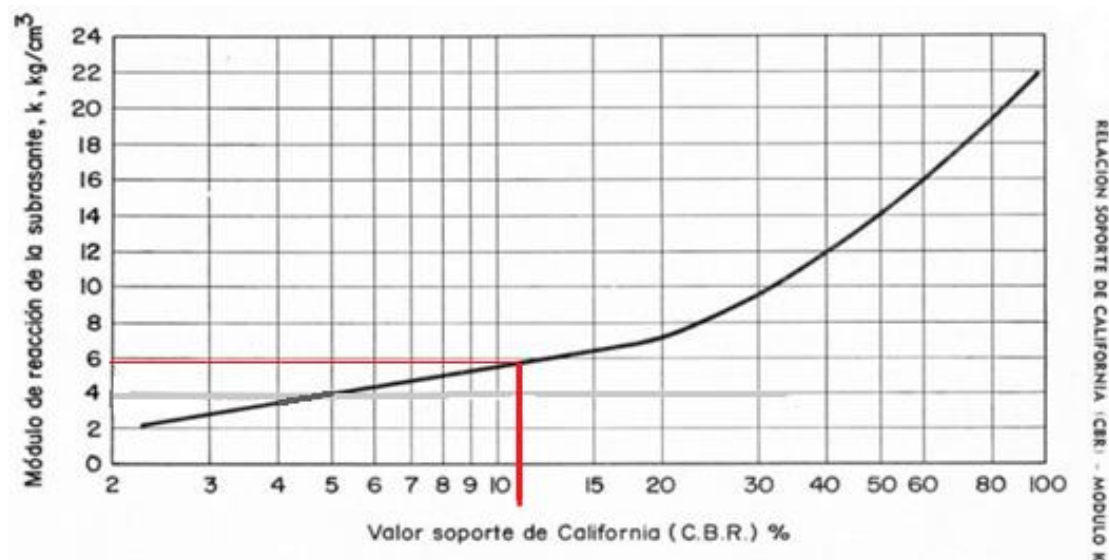
*Resultados Balasto – Compacidad de la arena*

Tipo de arena	N golpes/pie	Ks1 (kg/cm3)
Arena floja	<10	0.64 a 1.92
Arena media	10 a 30	1.92 a 9.58
Arena densa	30 a 50	9.58 a 31.95
Arena muy densa	> 50	> 31.95

Del gráfico de correlación entre el valor de soporte de California (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante (k) se obtiene, para el CBR de 11% al 95% de su MDS le corresponde un valor de k de 5.80 kg/cm<sup>3</sup>.

**Figura 69**

*Correlación entre el valor de soporte de California (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante (k)*



Con un CBR de 11.0% para el 95% del MDS se obtendrá un (k) módulo de reacción de 5.80 Kg/cm<sup>3</sup>.



### 3.5.7 Estimación del asentamiento diferencial

Los asentamientos que podrían presentarse en los suelos granulares son considerados del tipo a corto plazo o “instantáneos” y que se desarrollan durante la construcción de la obra, por lo que no se espera que se produzcan asentamientos a largo plazo por consolidación por no haber suelos finos en la zona explorada, además que el Tanque 14 al estar funcionando hace más de 40 años, el suelo de apoyo ya sufrió el reacomodo y asentamiento elástico.

Las deformaciones verticales iniciales e instantáneas se ha calculado utilizando la Teoría elástica para el asentamiento bajo carga uniforme.

$$\rho i = \frac{\Delta q_s * B * (1 - \mu^2) * I_p}{E_s} \dots \text{Ecuac. 41}$$

Ecuac. N°-341. Teoría elástica para el asentamiento bajo carga uniforme

Donde:

- $\rho i$  = Asentamiento instantáneo (cm)
- $\mu$  = Relación de Poisson (0.35)
- $E_s$  = Modulo de Elasticidad (130 Kg/cm<sup>2</sup>)
- $\Delta q_s$  = Esfuerzo neto transmitido (0.95 Kg/cm<sup>2</sup>)
- $B$  = Ancho de la Cimentación (45 cm)
- $I_p$  = factor de influencia que depende de la relación de B/L (1.78)

$$\rho i = \frac{0.95 * 45 * (1 - 0.35^2) * 1.78}{130} = 0.51 \text{ cm}$$

Nota: El cálculo se realizó antes de aperturar el tanque y evidenciar que el ancho del anillo de cimentación es de 40 cm y tomando el esfuerzo neto transmitido para  $D_f = 0.60\text{m}$  que es de 0.86 kg/cm<sup>2</sup>.

$$\rho_i = \frac{0.86 * 40 * (1 - 0.35^2) * 1.78}{130} = 0.49 \text{ cm}$$

Las propiedades elásticas del suelo de cimentación fueron correlacionadas a partir de informaciones publicadas con valores de los parámetros geotécnicos para el tipo de suelo existente donde se encuentra cimentada la estructura obteniéndose en todos los casos un valor de asentamiento inferior a 2,5 cm que es lo máximo permisible para el tipo de estructura que se está estudiando.

### **3.6 Reparación del anillo de cimentación**

#### **3.6.1 Reparación de fisuras**

En la reparación del anillo de cimentación se evidencio patologías del concreto tales como:

- Desprendimiento de concreto y mortero en diversas zonas del anillo y cara superior
- Existencia de reparaciones antiguas
- Presencia de ladrillo incrustado dentro del anillo
- Existencia de fisuras pasantes en anillo
- Estructura del acero con alto grado de corrosión, afectando la integridad estructural al haberse reducido los espesores del acero

**Figura 70**

*Patologías encontradas en la cimentación del tanque*



Se realizó un tratamiento de reparación de todas las patologías y deficiencias encontradas, con el fin de rehabilitar el anillo para posteriormente proteger el concreto con un buen sistema de impermeabilización y/o recubrimiento

- Retirar toda reparación antigua
- Sellar grietas pasantes con resinas epóxicas.
- Retirar cualquier imperfección en el concreto nativo
- Nivelar el anillo con grout epóxico.
- Reforzar el anillo existente construyendo un anillo de refuerzo exterior.
- Impermeabilizar el concreto nuevo.

Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

- a) Realizar una evaluación estructural al anillo de cimentación con un detector de metales para descartar posibles deficiencias en el acero de refuerzo.
- b) Identificar fisuras encontradas realizando levantamiento topográfico.
- c) Realizar el tratamiento de fisuras por método de inyección con uso de resina epóxica (SikaDur®-35) y sellado superficial de fisuras (SikaDur®-31).
- d) Realizar trabajos de reparación en anillo para el caso de desprendimientos de concreto, realizando un repicado superficial de 2 a 3 cm, aplicar un puente de adherencia epóxico como el Sikadur®-32 y seguidamente la aplicación de un mortero de reparación SikaRep®-350 o similar.
- e) Realizar la nivelación del anillo aplicando un mortero de nivelación con SikaGrout®-212 previamente retirando todo el mortero de reparación antiguo, realizar un repicado en el concreto y aplicar el mortero autonivelante (grouting).
- f) Realizar reparación estructural en zona de incrustación de ladrillo de arcilla retirando el ladrillo, encofrar el elemento y rellenar con SikaGrout®-110 o similar (utilizar gravilla de tamaño máximo de 20 mm en proporción de 1 parte en peso de SikaGrout®-110 por 0.50 partes de gravilla).
- g) Se recomienda aplicar recubrimiento de protección epóxico con SikaGard® 63N en todo el anillo.

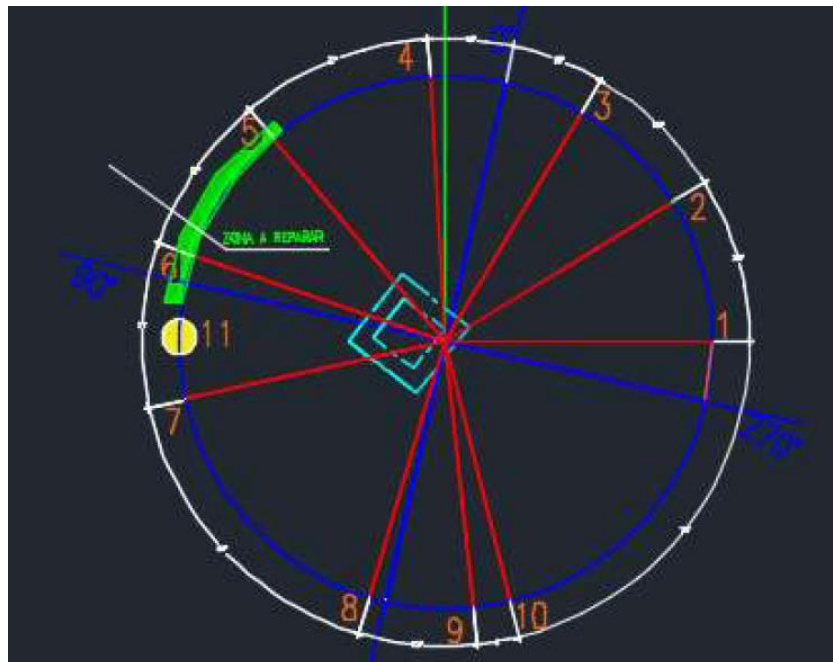
**Tabla 33**

*Coordenadas de fisuras 1 – 10 y coordenada ubicación inserto de ladrillo*

Punto	Coordenadas					
	Teórico		Real		Desviación	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
1			8992508.553	767709.813		
2			8992514.126	767708.227		
3			8992517.707	767704.577		
4			8992519.176	767698.486		
5			8992516.669	767692.228		
6			8992512.004	767689.031		
7			8992506.224	767688.701		
8			8992498.305	767696.046		
9			8992497.886	767700.248		
10			8992498.106	767701.695		
11			8992508.740	767688.387		

**Figura 71**

*Ubicación de las zonas a reparar*



Fuente: (Contrato Marco de Adecuación al DS-017-2013-EM de Tanques de Almacenamiento de Combustibles en Terminales Centro y Norte, 2020)

### 3.6.2 Inyección de resina en anillo de cimentación

- Aditivo utilizado: Sikadur 35/Sikadur 31
- Cantidad de fisuras: 10 fisuras internas/externas
- Puntos de perforación para la inyección: 36 puntos para inyectar
- Metrado: 9m

**Tabla 34**

*Inspección de aplicación de inyección de resina en cimentación*

DESCRIPCIÓN	RESULTADO		
	SI	NO	NA
<b>VERIFICACIÓN PRELIMINAR</b>			
1. Superficie libre de polvo, grasa, concreto	X	---	---
2. Escarificado y/o corte de superficie	X	---	---
3. Perforación y posicionamiento de los inyectoros (Packers)	X	---	---
4. Eliminación de polvo del corte (Soplador eléctrico)	X	---	---
5. Sellado de fisuras (Superficial)	X	---	---
6. Recepción de los materiales	X	---	---
7. Correcta dosificación de los materiales	X	---	---
8. Correcta aplicación de la resina	X	---	---
9. Correcto curado	X	---	---
10. Correcto acabado final	X	---	---

### 3.6.3 Ensayo de compresión de zona reparada 20° - 32°

**Tabla 35**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de sección del anillo reparado*

Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Resistencia diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Presión max (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	%
07/08/2020	04/09/2020	310	56320	318.71	102.81

### 3.7 Memoria de cálculo del refuerzo de cimentación

#### a. Estructura metálica

- Perfiles y planchas de Acero ASTM A36
- Módulo de Elasticidad del acero  $E = 29000 \text{ ksi} = 2.04.E+06 \text{ kg/cm}^2$
- Esfuerzo de fluencia ASTM A36  $F_y = 36 \text{ ksi} = 2530 \text{ kg/cm}^2$

#### b. Concreto armado

- Peso Específico del Concreto Reforzado  $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$
- Resistencia a la compresión a los 28 días (Considerando el existente, conservadoramente para efectos de cálculo, pero en concreto nuevo se usará la relación  $f'_c = 310 \text{ kg/cm}^2$ ):  $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$
- Fluencia del acero corrugado ASTM A615 Gr. 60  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad del Concreto Reforzado  $E_c = 218820 \text{ kg/cm}^2$

#### c. Criterios y consideraciones de diseño

- Estructura Metálica:
  - No es parte del alcance la verificación estructural del tanque.
  - Se considerará la carga actuante del tanque sobre la cimentación.
- Cimentación anular (Base de concreto):
  - No se considera la verificación de esfuerzos en terreno bajo cargas de servicio, por ser como refuerzo para una cimentación existente.
  - La verificación de cuantías de refuerzo será por cargas últimas, mediante un análisis estimado y referencial. El anillo perimetral y concéntrico a la cimentación existente, es básicamente una estructura de refuerzo y no representa en ningún caso, como una solución definitiva de cimentación, para el tanque; de acuerdo a lo mencionado no se garantiza el comportamiento de la cimentación existente y el refuerzo, como una solución integral de cimentación, sin embargo, se considerará el cumplimiento de cuantías mínimas de refuerzos principales requeridas, teniendo en cuenta las cargas radiales actuantes sobre la cimentación.
  - Se considerará combinaciones de cargas últimas, según el ASCE/SEI 7.

- Se considerará, que la cimentación existente se asumirá 1/3 del refuerzo longitudinal requerido (Por efectos de corrosión encontrada) y la nueva cimentación adyacente y concéntrico exterior asumirá los 2/3 del refuerzo requerido.
- Parámetros de Suelo para Verificación de Refuerzos
  - Capacidad Portante (No se verificará presiones en suelo, debido a que solo se está reforzando el perímetro exterior de la cimentación existente).
  - Profundidad de Cimentación (Asumido por cimentación existente):  $D_f = 0.50\text{m}$
  - Se definirá el parámetro de suelo de relleno en interior de cimentación, actuando sobre dicha la cimentación, para lo cual se asumen las siguientes características del material, teniendo en cuenta una base ingenieril conservadora.

**Tabla 36**

*Parámetros de suelos para verificación de refuerzos*

Material de relleno		
$\gamma_s$	(Tnf/m <sup>3</sup> )	2.00
$\Phi$	(Deg)	27.00
	(Rad)	0.47

Nota:

- Peso de suelo sobre cimentación y anillo (Asumido)
- Angulo de fricción interna del material (Asumido)

#### **d. Cargas actuantes**

- Carga muerta



- [ Peso de tanque + Peso de cimentación + Peso de rellenos + Peso de fluido] → D =  
 $\sum D_i$
- En el siguiente cuadro, se aprecia el peso estimado del tanque:

**Tabla 37**

*Peso estimado del tanque para efectos de cálculos*

DATOS DEL TANQUE						ESPESOR CONSIDERADO		PESO	PESO PARCIAL
ÍTEM	PARTE DE TANQUE	UBICACIÓN	MATERIAL	Hi (m)	H (m)	(mm)	(in)	(kg)	(kg)
1.00	TECHO	Techo	ASTM A36			5.00	3/16	14843.76	14843.76
2.00	CILINDRO	7mo Anillo	ASTM A36	1.800	1.800	6.35	1/4	6101.33	54439.59
3.00		6to Anillo	ASTM A36	1.800	3.600	6.35	1/4	6101.33	
4.00		5to Anillo	ASTM A36	1.800	5.400	6.35	1/4	6101.33	
5.00		4to Anillo	ASTM A36	1.800	7.200	6.35	1/4	6101.33	
6.00		3ro Anillo	ASTM A36	1.800	9.000	8.00	5/16	7686.72	
7.00		2do Anillo	ASTM A36	1.800	10.800	9.50	3/8	9127.98	
8.00		1er Anillo	ASTM A36	1.950	12.750	12.70	1/2	13219.56	
10.00	FONDO	Fondo	ASTM A36			8.00	5/16	23356.47	23356.47
									<b>92639.82</b>

- Para efectos de verificación se considerará, el peso específico del agua (P.H.), carga de fluidos  $Y_w = 1.00$  (Tnf/m<sup>3</sup>), peso específico de fluido.
- Según lo indicado, se considera la siguiente geometría del tanque y cargas estimadas y referenciales, para la verificación de refuerzos en la cimentación:

**Tabla 38**

*Geometría del tanque y cargas estimadas para efectos de cálculos*

DATOS GEOMÉTRICOS :					
D =	21.645	m =	71.01	pies	Díametro nominal de tanque
R =	10.8225	m =	35.51	pies	Radio nominal del tanque
HT =	12.750	m =	41.83	pies	Altura nominal de tanque
hop =	12.750	m =	41.83	pies	Altura de operación (Para efectos de cálculo HT = hop)
CARGAS ACTUANTES EN TANQUES:					
CARGA MUERTA DE SUPERESTRUCTURA (D)		D =	232,935.80	lb =	105,639.82 kg
CARGA MUERTA DE TECHO		DR =	32,730	lb =	14,843.76 kg
CARGA MUERTA DE CILINDRO		DS =	120,039	lb =	54,439.59 kg
CARGA MUERTA DE PLANCHAS DE FONDO		DB =	51,501	lb =	23,356.47 kg
CARGA MUERTA POR ACCESORIOS		D1 =	11,025	lb (Estimado) =	5,000.00 kg
CARGA MUERTA POR OTRAS ESTRUCTURAS		D2 =	17,640	lb (Estimado) =	8,000.00 kg
CARGA POR PRUEBA HIDROSTÁTICA		Ht =	10,344,841	lb =	4,691,538.09 kg
LIQUIDO ALMACENADO		F =	8,793,115	lb =	3,987,807.37 kg

- Nota: Para efectos de cálculo, se considera conservadoramente el peso de líquido por P.H.
- Carga Viva:
  - Se considerará una carga viva en techo de tanque según API 650 de 20 lb/ft<sup>2</sup>  $\diamond$  101.94 kg/m<sup>2</sup>  $\rightarrow L = \sum L_i$
  - Sobrecargas del techo: pL1: 101.94 kgf/m<sup>2</sup> = 1.00 kpa (Carga viva del techo)
- Empuje de tierras
  - Se considera un coeficiente de empuje de reposo en suelos:  $K_{on(adm)} = 0.55$  (coeficiente de empuje en reposo de suelos, en el supuesto que el suelo es normalmente consolidado. (Das, 2001):  $K_o = 1 - \sin\phi$ )

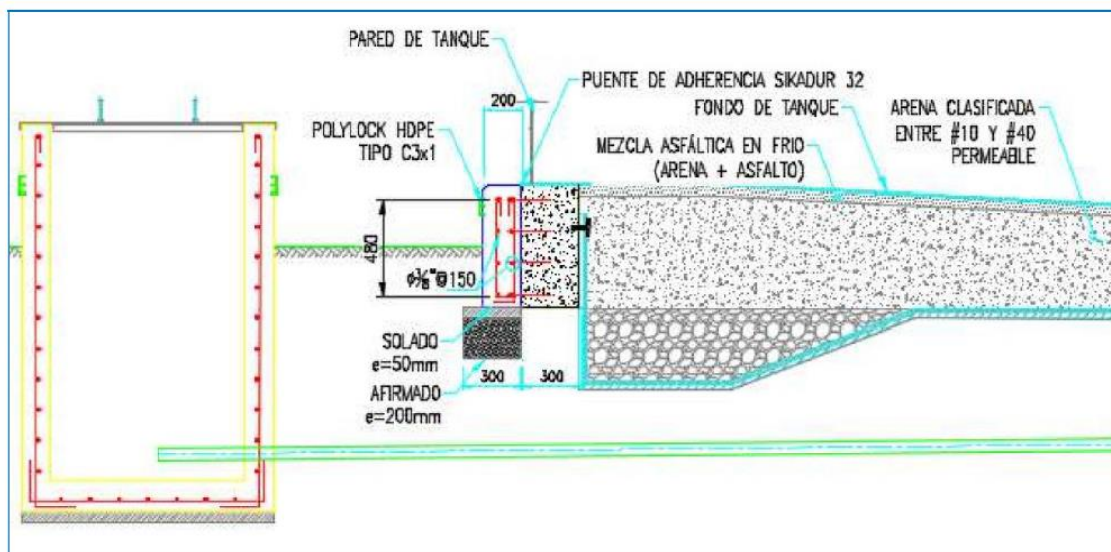
#### **e. Análisis y verificación en bases de concreto**

La base de concreto armado (Tipo anular circunferencial), tendrá una geometría de sección, conformada por un anillo de concreto existente de 600 mm de altura (Aproximadamente) y un ancho de 300 mm y un anillo de concreto nuevo concéntrico al existente, de una altura

similar al existente y un ancho de 200 mm, estos anillos se unirán mediante dowels y un puente de adherencia epóxica, tal como se muestra en el siguiente esquema:

**Figura 72**

*Sección típica de cimentación (nueva y existente)*

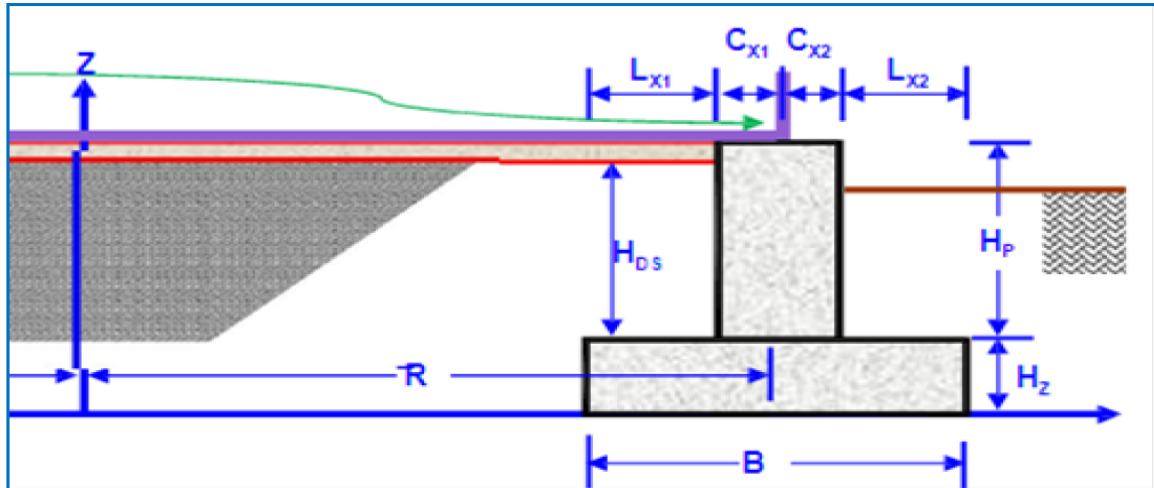


#### f. Datos y modelo matemático para verificación (DCL)

- Datos Geométricos y Especificaciones
  - En la Fig. N°-3.7 y cuadro respectivo, se muestran los datos geométricos y especificaciones de entrada para verificación de cuantías de refuerzo, asimismo en la Fig. N°-3.8, se muestra el modelo matemático de cargas radiales, actuando sobre cimentación:

**Figura 73**

*Sección referencial de cimentación (para efectos de cálculo)*



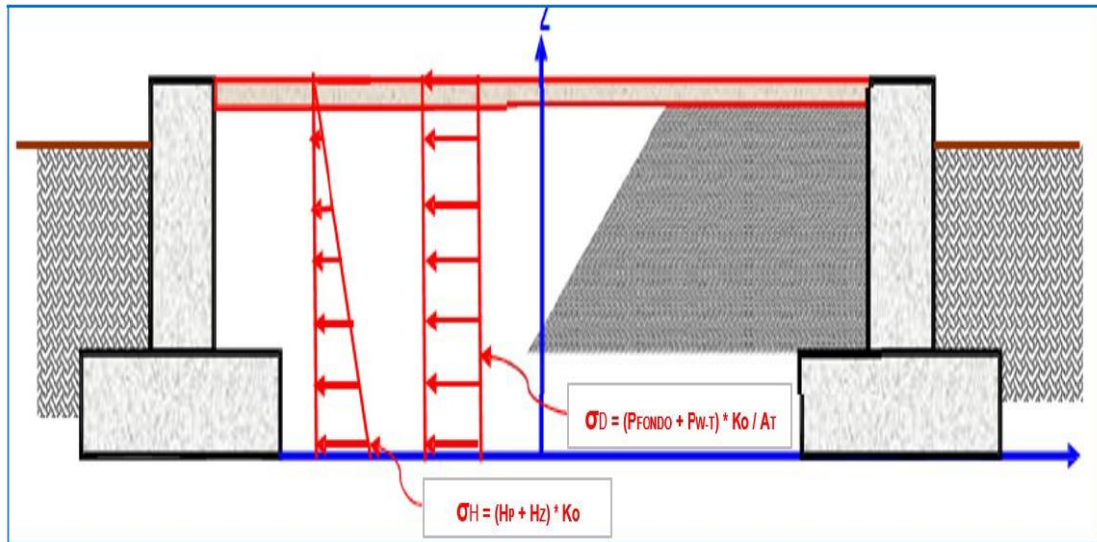
**Tabla 39**

*Dimensiones de la zapata y resistencias para efectos de cálculos*

Dimensiones de la Zapata y Resistencias			(Ver Fig. 3)		
R	[m]	10.823	Radio de tanque		
B	[m]	0.500	Ancho de cimentación		
AT	[m <sup>2</sup> ]	367.964	Área Interior de tanque		
AN	[m <sup>2</sup> ]	34.000	Área del anillo a nivel de cimentación		
Lx1	[m]	0.000	(Ver Fig. 3)		
Lx2	[m]	0.000	(Ver Fig. 3)		
H <sub>z</sub>	[m]	0.000	Altura de zapata de cimentación		
H <sub>p</sub>	[m]	0.600	Altura de anillo de cimentación (Pedestal)		
H <sub>DS</sub>	[m]	0.600	Altura de suelo sobre zapata (Similar en interior y exterior de pedestal)		
C	[m]	0.500	Dimensión transversal del soporte en Dir. X		
C <sub>x1</sub>	[m]	0.250	Dimensión transversal del soporte en Dir. X		
C <sub>x2</sub>	[m]	0.250	Dimensión transversal del soporte en Dir. X		
r	[m]	0.075	Recubrimiento del concreto		
d	[m]	N.A.	Peralte efectivo de zapata (d = H <sub>z</sub> - r)		
D	[m]	22.145	Diámetro exterior del pedestal de cimentación ( D = 2 * ( R + C <sub>x2</sub> + L <sub>x2</sub> ) )		
I <sub>o</sub>	[m <sup>4</sup> ]	1992.21	Momento de inercia en planta de cimentación respecto a centro		
f' <sub>c</sub>	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	210.00	Resistencia a la compresión del concreto		
f <sub>y</sub>	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	4,200.00	Esfuerzo de fluencia de acero de refuerzo		

**Figura 74**

*Modelo matemático de cargas radiales sobre cimentación (D.C.L.)*



**g. Metrados de carga**

Se tiene el siguiente resumen de cargas para verificación de cuantías de refuerzos en cimentación:

**Tabla 40**

*Tabla de Metrados de cargas para efectos de cálculos*

Cargas Muertas Cimentación			
PD_P	[Tonf]	48.96	Peso Propio de Anillo de cimentación
			$P_{D\_P} = (C \cdot H_p + B \cdot H_z) \cdot R \cdot 2\pi \cdot \gamma_c$
PSD	[Tonf]	0.00	Carga por suelo sobre cimentación
			$P_{SD} = H_{DS} \cdot L_{x1} \cdot \left( R - C_{x1} - \frac{L_{x1}}{2} \right) \cdot 2\pi \cdot \gamma_s$

Cargas de Tanque y Estructuras			
P <sub>SHELL</sub>	[Tonf]	54.44	Peso del Shell del tanque por Mecánica
P <sub>TECHO</sub>	[Tonf]	14.84	Peso del Techo por Mecánica
P <sub>FONDO</sub>	[Tonf]	23.36	Peso del fondo por Mecánica
P <sub>ACC.+ESTR.</sub>	[Tonf]	13.00	Peso de Accesorios y otras estructuras por Mecánica
P <sub>TQ</sub>	[Tonf]	105.64	Total peso del tanque vacío

Carga del Contenido del Tanque sobre Anillo			
h <sub>op</sub>	[m]	12.75	Nivel máximo de operación por Mecánica
Y <sub>w</sub>	[Ton/m <sup>3</sup> ]	1.000	Peso específico del agua (Fluido)

P <sub>w_t</sub>	[Tonf]	4,691.54	Total peso del fluido almacenado	$P_{w-T} = \gamma_w \cdot h_{op} \cdot R^2 \cdot \pi$
------------------	--------	----------	----------------------------------	---

Empuje De Cargas Muertas			
σ <sub>D</sub>	[Tonf / m <sup>2</sup> ]	7.00	Presión Uniforme Lateral de Contenido del Tanque
			$\sigma_D = \frac{P_{FONDO} + P_{w-T}}{A_T} \cdot K_D$

Empuje De Cargas Muertas			
σ <sub>HZ</sub>	[Tonf / m <sup>2</sup> ]	0.66	Presión Lateral de Suelos en zapata → $\sigma_H = \gamma_s \cdot (H_p + H_z) \cdot K_s$
σ <sub>Hp</sub>	[Tonf / m <sup>2</sup> ]	0.66	Presión Lateral de Suelos en pedestal → $\sigma_H = \gamma_s \cdot (H_p) \cdot K_s$

Carga Viva			
q <sub>L</sub>	[Tonf/m <sup>2</sup> ]	0.10	Carga viva sobre techo inclinado del tanque
P <sub>L</sub>	[Tonf]	37.51	Total de carga viva → $P_L = \pi \cdot R^2 \cdot q$

## h. Análisis de tensiones circunferenciales

Teniendo en cuenta el comportamiento de este tipo de estructuras, donde el refuerzo circunferencial tomará los efectos de tensión por la presión radial última, calculada a partir de las tensiones radiales actuantes en la cara interior de la base de concreto armado (Cimentación). Se realizará el análisis de este efecto como el problema clásico de tubo delgado a presión uniforme.

Cabe indicar que este análisis es estimado y referencial teniendo en cuenta, que se requiere una estructura para nivelación del tanque, pero es necesario datos de tensiones, para verificar las cuantías mínimas de refuerzo en dicha base de concreto.

En el siguiente cuadro se tiene un resumen de las tensiones actuantes en la base de concreto (Cimentación):

**Tabla 41**

*Resumen de las tensiones actuantes en la base de cimentación*

Empuje Lateral Último					
Ri = R - C	[m]	10.32	Radio de tanque		
H <sub>z</sub>	[m]	0.00	Altura de zapata de cimentación		
H <sub>p</sub>	[m]	0.60	Altura de anillo de cimentación (Pedestal)		
σ <sub>D</sub>	[Tonf / m <sup>2</sup> ]	7.00	Presión Uniforme Lateral de Contenido del Tanque		
σ <sub>H<sub>z</sub></sub>	[Tonf / m <sup>2</sup> ]	0.66	Presión Lateral de suelos en zapata		
σ <sub>H<sub>p</sub></sub>	[Tonf / m <sup>2</sup> ]	0.66	Presión Lateral de Suelos en anillo		
FD <sub>Z</sub> + FD <sub>P</sub>	[Tonf]	43.33	Fuerza de empuje total por contenido del tanque en zapata y pedestal		
FH <sub>Z</sub> + FH <sub>P</sub>	[Tonf]	2.03	Fuerza de empuje total lateral de suelos en zapata y pedestal		
FD <sub>Z</sub>	[Tonf]	0.00	Fuerza de empuje por contenido del tanque en zapata		
FH <sub>Z</sub>	[Tonf]	0.00	Fuerza de empuje lateral de suelos en zapata		
FD <sub>P</sub>	[Tonf]	43.33	Fuerza de empuje por contenido del tanque en pedestal		
FH <sub>P</sub>	[Tonf]	2.03	Fuerza de empuje lateral de suelos en pedestal		
TU <sub>Z</sub>	[Tonf]	0.00	Tensión última circunferencial en la zapata		
TU <sub>P</sub>	[Tonf]	55.24	Tensión última circunferencial en el pedestal		
$F_D = \sigma_D * (H_i) * R_i$		$F_H = \sigma_H * (H_i) / 2 * R_i$		$T_u = 1.2 * F_D + 1.6 * F_H$	

En este caso no se tiene zapata, por tanto, la carga actuante sobre esta, No aplica, es nula

**i. Verificación de refuerzos en base de concreto (Cimentación)**

- Verificación de acero de refuerzo longitudinal en pedestal:

De acuerdo al análisis se requieren 12 Φ 3/8"; por tanto, se considera que la cimentación existente asume 1/3 del refuerzo requerido (4 Φ 3/8") y la nueva cimentación adyacente y concéntrico exterior asume los 2/3 del refuerzo requerido (8 Φ 3/8").

**Tabla 42**

*Verificación de acero de refuerzo longitudinal en pedestal*

Diseño por Tensión en Anillo (Pedestal)					
C	[m]	0.50	Ancho de anillo		
f <sup>c</sup>	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	210.00	Resistencia a la compresión del concreto		
f <sub>y</sub>	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	4200.00	Fluencia del acero corrugado		
TU=TU_P	[Tonf]	55.24	Tensión última circunferencial en el anillo y zapata		
As_min	[cm <sup>2</sup> ]	7.50	Considerando: As_min = 0.0025*C*Hp (Según API 650-B.4.2.3.d)		
db	[pulg]	3/8	Diámetro nominal del acero (Propuesto)		
N° varillas	[und]	12.00	Cantidad de barras en sección (Propuesto) - <b>Ver nota Inferior.</b>		
N° capas	[und]	2.00	Cantidad de capas en sección (Propuesto)		
As (> As_min)	[cm <sup>2</sup> ]	17.10	Acero de diseño (Propuesto)		
φ	[Adim]	0.90			
φ Tn	[kgf]	64,643.21	Tensión nominal resistente	$\phi T_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y$	
φ Tn	[Tonf]	64.64			
Raño (D/C)	[%]	85	Raño de Demanda Vs Capacidad D/C =	TU / φ Tn	
Verifica	φ Tn ≥ TU	OK!...	Verificación de resistencia a la Tensión		

- Verificación de acero de refuerzo vertical en pedestal (Estribos):

**Tabla 43**

*Verificación de acero de refuerzo vertical en pedestal*

Acero Mínimo Vertical (Transversal)					
Lw	[m]	1.00	Considerando el diseño por un metro de longitud de arco del anillo		
As_min	[cm <sup>2</sup> ]	7.50	Considerando: As_min = 0.0015*C*Lw (Según API 650-B.4.2.3.e)		
db	[pulg]	3/8	Diámetro nominal del acero (Propuesto)		
N° varillas	[und]	6.50	Cantidad de barras en sección (Propuesto)		
N° capas	[und]	2.00	Cantidad de capas en sección (Propuesto)		
As (> As_min)	[cm <sup>2</sup> ]	9.26	Acero de diseño (Propuesto)		
Raño (D/C)	[%]	80.97	Raño de Demanda Vs Capacidad D/C =	As / As_min	
Verifica	As ≥ As_min	OK!...	Verificación de resistencia		
S	[cm]	15	Espaciamiento uniforme del acero		

- Teniendo en cuenta las consideraciones del caso y de que la cimentación existente presenta defectos en la base de concreto y corrosión de acero de refuerzo, se ha



planteado en obra construir un anillo exterior de concreto nuevo, concéntrico y de una altura similar al existente, con un ancho de 200 mm, estos anillos se unirán mediante dowels y un puente de adherencia epóxica, tal como se muestra en la Fig. 3.6.

- De acuerdo con lo verificado, se requiere 8 varillas de  $3/8''\Phi$ , como refuerzo longitudinal en el nuevo anillo concéntrico, considerando que esta toma los  $2/3$  del acero requerido y que la existente toma  $1/3$  del acero requerido. Para acero transversal o estribos, se requiere varillas de  $3/8''\Phi$ , distribuidos cada 150 mm, y para los dowels, considerar 4 varillas de  $3/8''\Phi$  (Mínimo), distribuidos cada 150 mm aproximadamente.

### 3.8 Ensayo de resistencia a compresión del refuerzo del anillo de cimentación y nivelación de grout epóxico

**Tabla 44**

*Resultados de ensayo a la compresión del anillo de refuerzo de cimentación*

Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Días	Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	%
27/10/2020	03/11/2020	7	310	298.16	96.18
				311.58	100.51
	10/11/2020	14	310	342.78	110.57
				361.32	116.55
	24/11/2020	28	310	417.75	134.76
				399.06	128.73

**Tabla 45**

*Resultados de ensayo a la compresión de grout en nivelación del anillo*

Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Días	Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	%
14/08/2020	16/08/2020	2	310	230	74.19
	21/08/2020	7	310	368	118.71
	11/09/2020	8	310	639	206.13

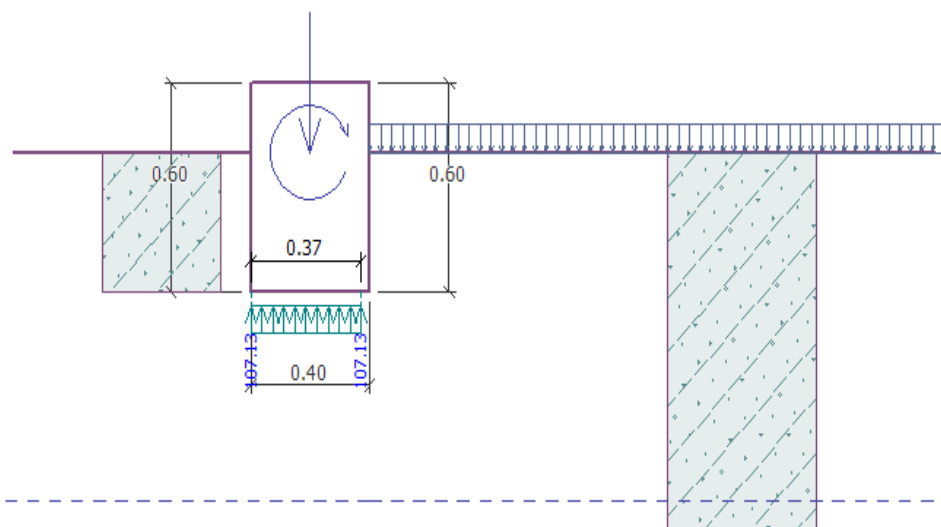
### 3.9 Verificación de excentricidad, resistencia al volcamiento y deslizamiento del anillo de cimentación

#### 3.9.1 Evaluación del anillo de cimentación existente 0.40x0.60

##### 3.9.1.1 Evaluación de tensiones actuantes

**Figura 75**

*Grafica de tensiones actuantes S/C 135 KN/M<sup>2</sup>*



**Tabla 46**

*Carga de diseño actuando en el centro del fondo de la zapata*

N°	Momento (KNm/m)	Fuerza Normal (KN/m)	Resistencia al corte (KN/m)	Excentricida d (-)	Tensión (KPa)
1	0.56	39.83	10.56	0.035	107.13

**Tabla 47**

*Carga de servicio en el centro de la zapata*

N°	Momento (KNm/m)	Fuerza Normal (KN/m)	Resistencia al corte (KN/m)
1	0.56	39.83	10.56

### 3.9.1.2 Verificación de la capacidad portante del terreno de cimentación

- Fuerza horizontal activa  $H_{act} = 10.56 \text{ KN/m}$
- Factor de seguridad  $= 1.94 > 1.50$
- Muro para deslizamiento **ES SATISFACTORIA**

**Tabla 48**

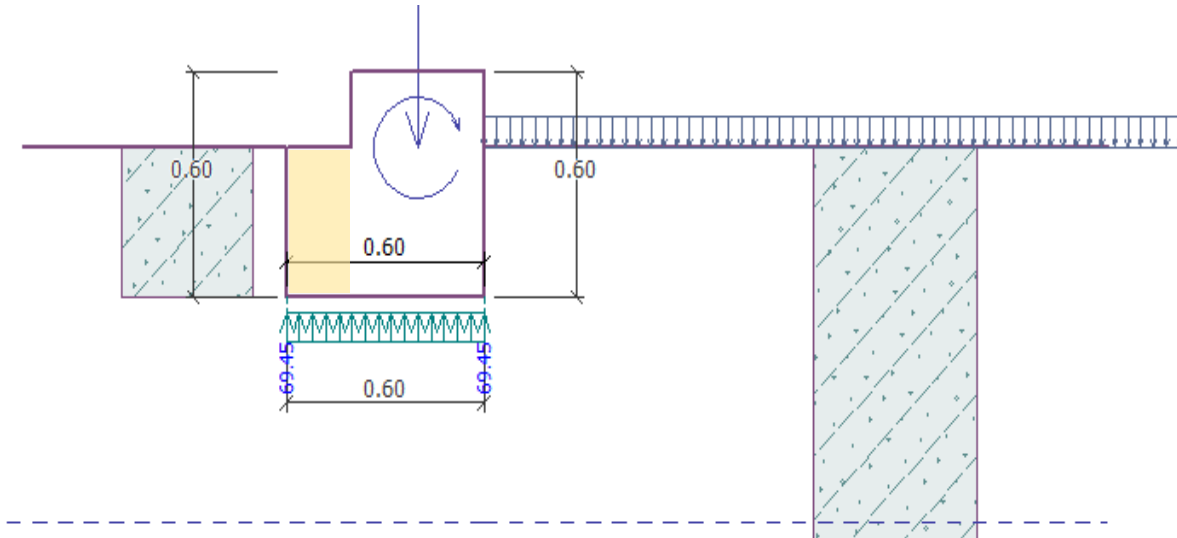
*Datos de fuerza para análisis*

Nro.	Fuerza	$F_x$ [kN/m]	$F_z$ [kN/m]	Pto. aplicación	
				x [m]	z [m]
> 1	Peso - Muro	0.00	5.52	0.20	-0.30
2	Resistencia del frente	3.83	0.00	0.00	-0.17
3	Presión activa	0.00	0.00	0.40	-0.40
4	Presión de agua	0.00	0.00	0.40	-0.40
5	S/C	-14.38	7.31	0.40	-0.19
6	27	0.00	27.00	0.20	-0.40
7	M	0.00	0.00	0.20	-0.40

### 3.9.2 Evaluación del anillo de cimentación reforzado 0.60x0.60

**Figura 76**

*Tensiones actuantes deseables S/C 135 KN/M2*



**Tabla 49**

*Carga de diseño actuando en el centro del fondo de la zapata*

N°	Momento (KNm/m)	Fuerza Normal (KN/m)	Resistencia al corte (KN/m)	Excentricida d (-)	Tensión (KPa)
1	-3.05	41.67	10.56	0.00	69.45

**Tabla 50**

*Carga de servicio en el centro de la zapata*

N°	Momento (KNm/m)	Fuerza Normal (KN/m)	Resistencia al corte (KN/m)
1	-3.05	41.67	10.56

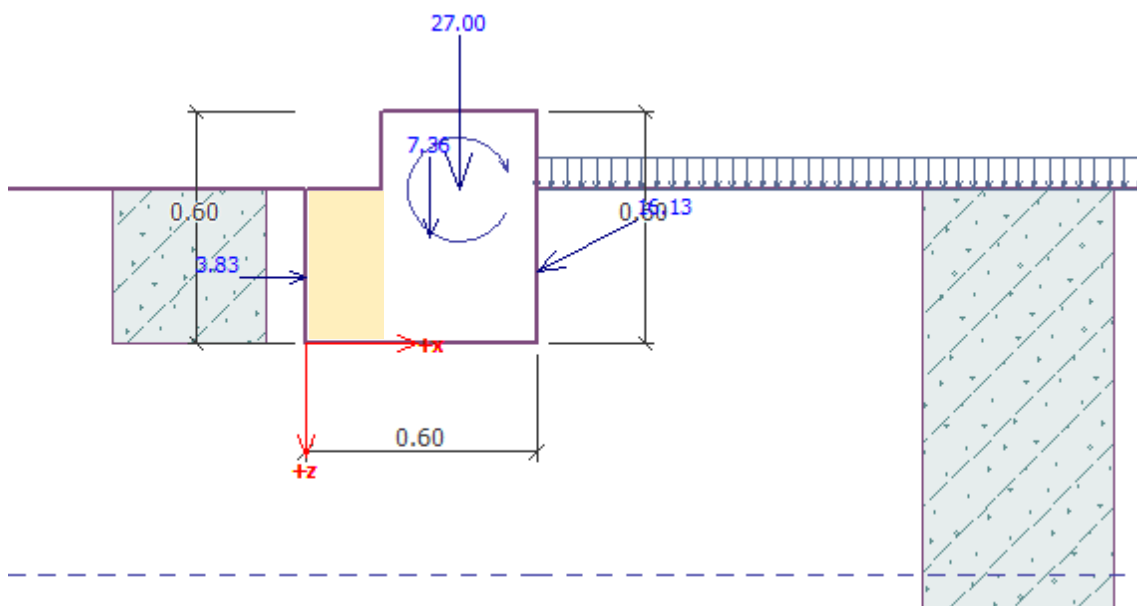
### 3.9.2.1 Verificación de la capacidad portante del terreno de cimentación

- Tensión en el fondo de la zapata: Rectángulo
- Verificación de la excentricidad
- Max. Excentricidad de la fuerza  $e = 0.000$
- Max. Excentricidad permitida  $e_{alw} = 0.333$
- Excentricidad de la fuerza NORMAL ES SATISFACTORIA
- Verificación de la capacidad portante del fondo de la zapata
- Max. Tensión en el fondo de la zapata  $\sigma = 69.45 \text{ KPa}$
- Capacidad portante del terreno de cimentación  $R_d = 86.00 \text{ KPa}$
- Factor de seguridad  $= 0.80 < 1.50$

### Verificación de volteo

**Figura 77**

*Verificación de volteo*



- Momento estabilizador  $M_{res} = 17.59 \text{ KNM/m}$
- Momento de vuelco  $M_{ovr} = 2.03 \text{ KNm/m}$
- Factor de seguridad =  $8.65 > 1.80$
- Muro para vuelco **ES SATISFACTORIA**
- Verificación de deslizamiento
- Fuerza horizontal resistente  $H_{es} = 22.43 \text{ KN/m}$
- Fuerza horizontal activa  $H_{act} = 10.56 \text{ KN/m}$
- Factor de seguridad =  $2.12 > 1.50$
- Muro para deslizamiento **ES SATISFACTORIA**
- **Verificación completa – MURO ES SATISFACTORIA**

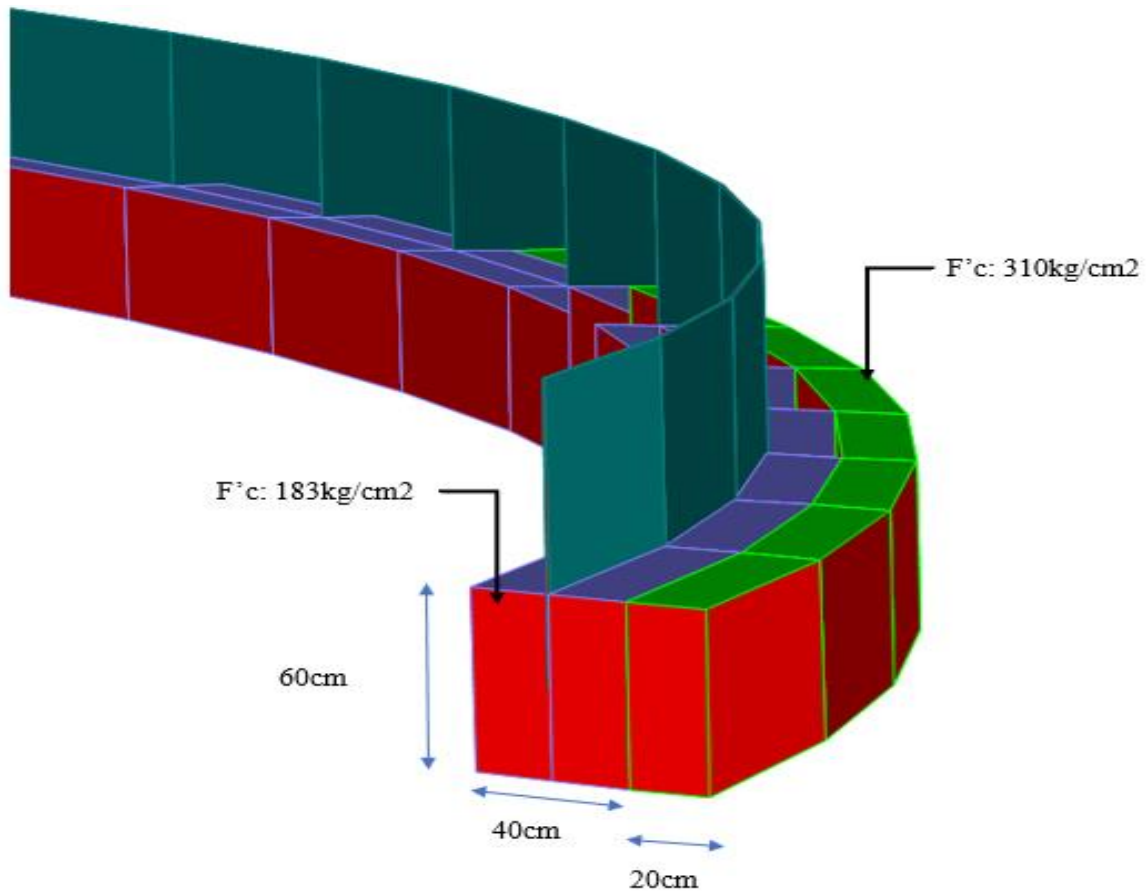
**Tabla 51**

*Datos de fuerza para análisis*

Nro.	Fuerza	$F_x$ [kN/m]	$F_z$ [kN/m]	Pto. aplicación	
				x [m]	z [m]
> 1	Peso - Muro	0.00	7.36	0.33	-0.28
2	Resistencia del frente	3.83	0.00	0.00	-0.17
3	Presión activa	0.00	0.00	0.60	-0.40
4	Presión de agua	0.00	0.00	0.60	-0.40
5	S/C	-14.38	7.31	0.60	-0.19
6	27	0.00	27.00	0.40	-0.40
7	M	0.00	0.00	0.40	-0.40

**Figura 78**

Esquema final de la cimentación existente más el reforzamiento lado exterior



### 3.10 Resumen de datos de entrada de las evaluaciones realizadas

Características del tanque			
HT	12750	m	altura total
H	12205	m	altura máxima del liquido
D	21.63	m	diámetro nominal
Características del contenido			
$\partial_a$	9806.65	N/m <sup>3</sup>	densidad del agua-test
G	0.870		gravedad específica del contenido
$\partial_l$	8531.79	N/m <sup>3</sup>	densidad del contenido
Características de los materiales			
f <sub>c</sub>	17.95 (183.00)	Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )	resistencia del concreto
f <sub>y</sub>	420 (4,200)	Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )	resistencia del acero
$\sigma_t$	0.86	kg/cm <sup>2</sup>	presión admisible del suelo (estudio de suelos)
$\partial_s$	1.70	gr/cm <sup>3</sup>	densidad del suelo (estudio de suelos)
$\phi$	33.08	°	ángulo de fricción interna del suelo (Del estudio de suelos)
D <sub>f</sub>	0.40	Mpa	profundidad de desplante (estudio de suelo)
K <sub>o</sub>	0.45		coeficiente presión suelo
$\partial_c$		N/m <sup>3</sup>	
arm	23,535.72 (2399156)	(kg/cm <sup>2</sup> )	densidad del concreto
$\partial_c$		N/m <sup>3</sup>	
cicl	22,555.07 (2299191)	(kg/cm <sup>2</sup> )	densidad del concreto ciclópeo
$\sigma_t$	0.084	Mpa	presión admisible ultima del suelo (estudio de suelos)
$\partial_s$	16,671.14	N/m <sup>3</sup>	densidad del suelo (estudio de suelos)
Resultados del software (Memoria de cálculo mecánico)			
W <sub>s</sub>	534,029.50 (14,323.75)	N (kg/cm <sup>2</sup> )	peso paredes del tanque
W <sub>r</sub>	140,515.95 (14,323.75)	N (kg/cm <sup>2</sup> )	peso del techo
W <sub>f</sub>	277,194.87 (28,256.36)	N (kg/cm <sup>2</sup> )	peso del fondo
Mr <sub>w</sub>	34,306,132.42 (3,497,057.33)	N-m (kg-m)	momento de volteo máximo probable anillo
wt	8,771.01 (894.09)	N-m (kg-m)	peso de paredes y techo por longitud de tanque
A <sub>v</sub>	0.551		aceleración sísmica vertical (2/3)*0.7*SDS
W <sub>2</sub>	627,000.03 (63,914.38)	N (kg)	peso corroído de la cubierta y cualquier accesorio
N	36.00		número de pernos de anclaje

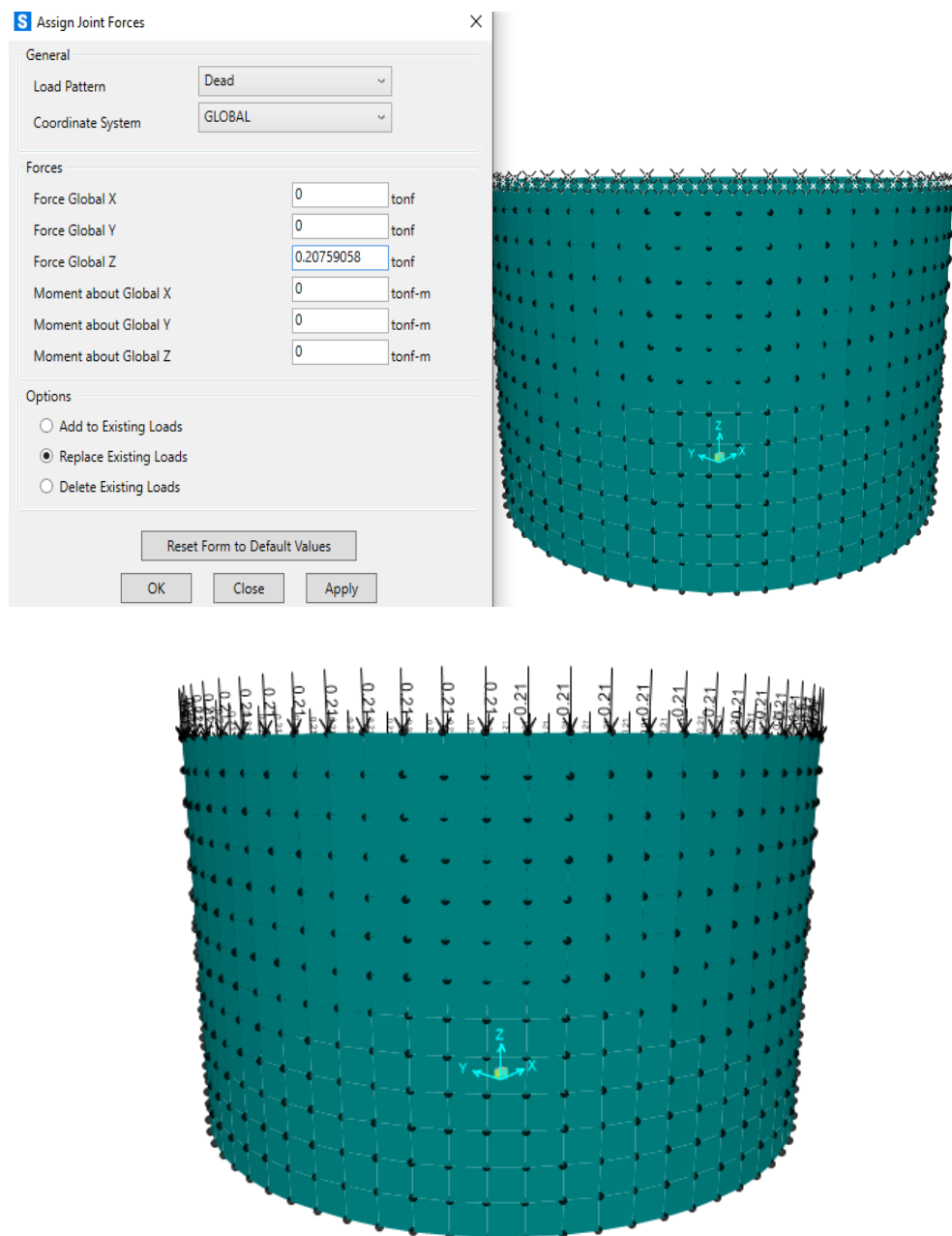


### 3.11 Modelamiento computacional

#### a) Cálculos en SAP 2000

##### Figura 79

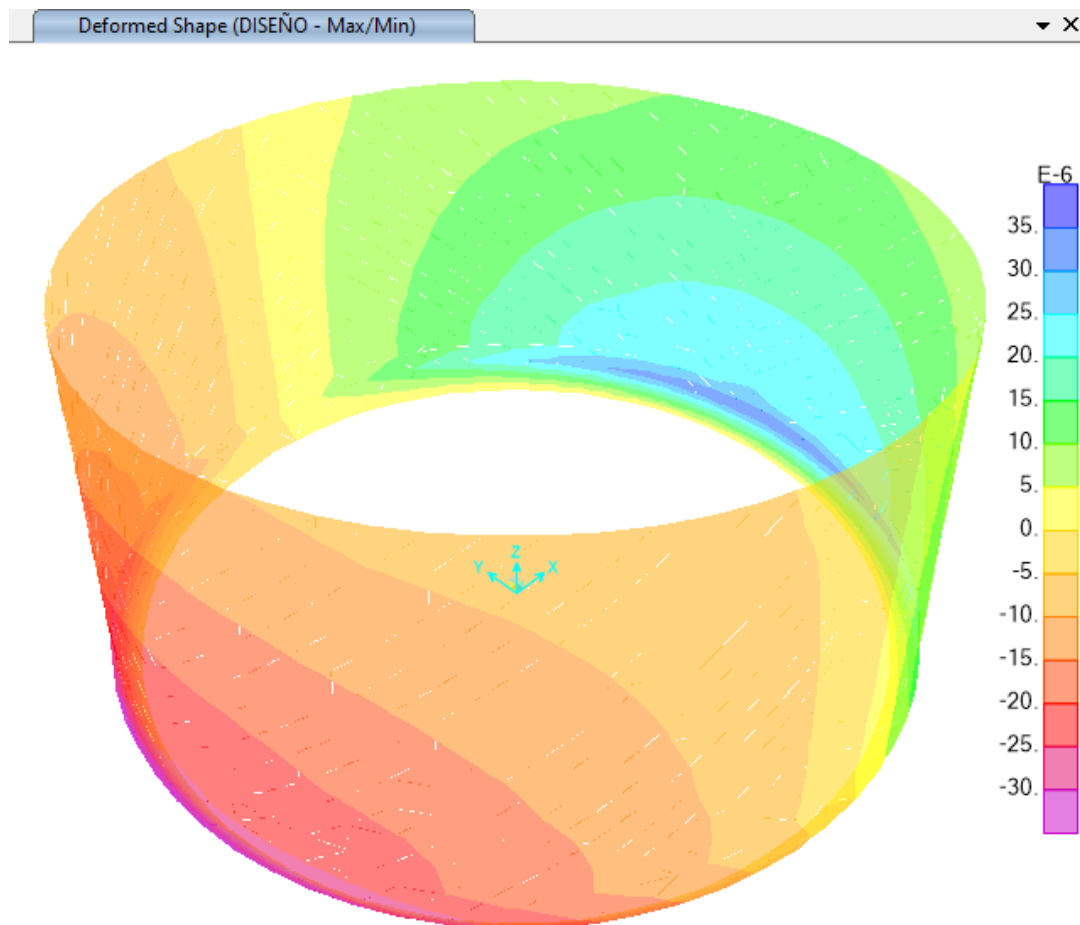
*Modelo computaciones de los cálculos SAP2000*



**b) Deformada de diseño, resultados en metros**

**Figura 80**

*Deformada de diseño, resultados en metros*

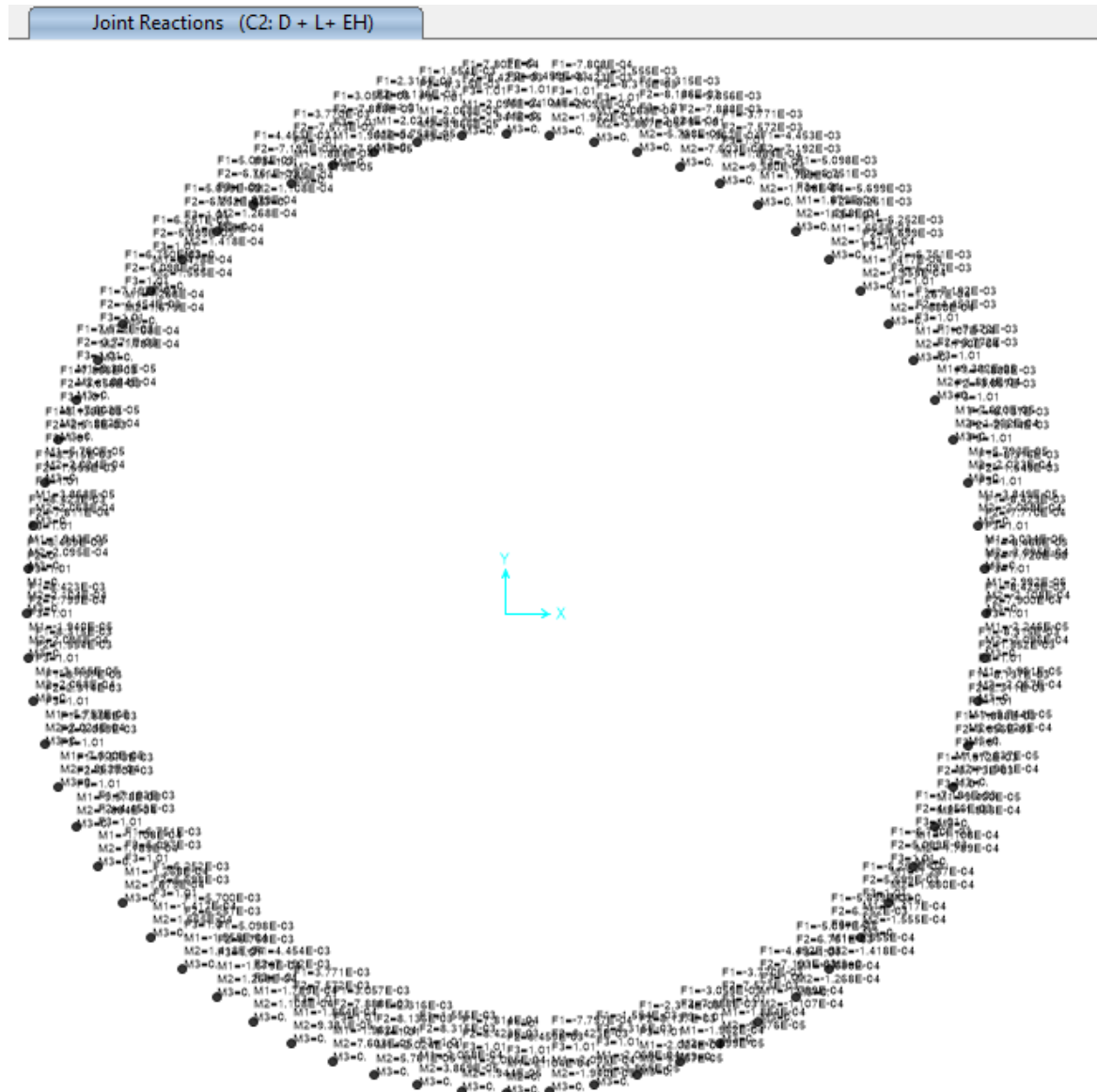


En la imagen se visualiza las Deformaciones horizontales perpendicular a la cara del anillo, se encuentra en el orden de -0.030mm hasta 0.035mm, pudiendo visualizar los resultados a nivel global, con medición en la parte derecha mediante una barra con unidad en metros.

c) Transmisión de cargas calibración del Excel con el software (TONF)

Figura 81

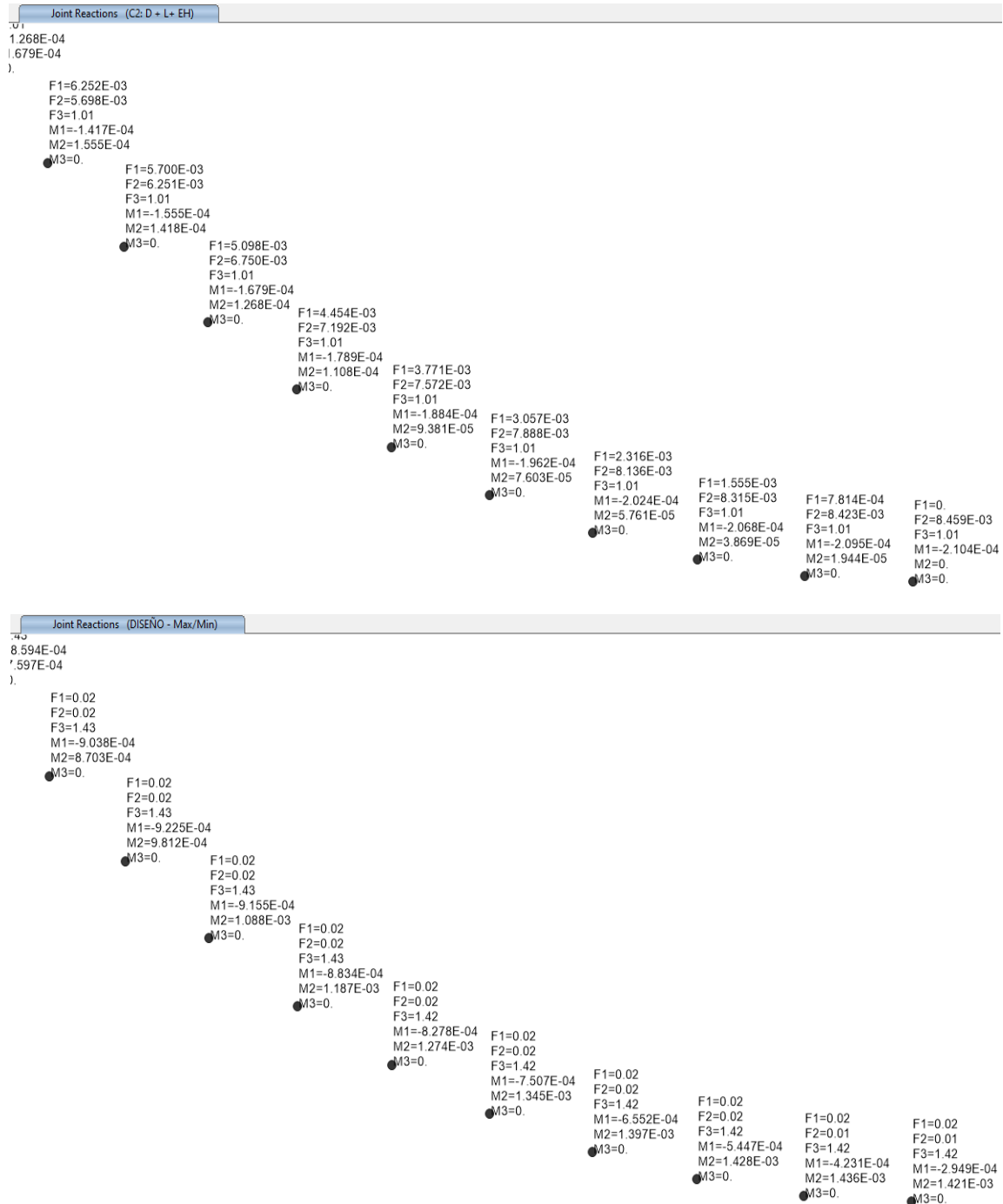
Transmisión de cargas con TONF



d) Resultados máximos a cada metro (TONF-M)

Figura 82

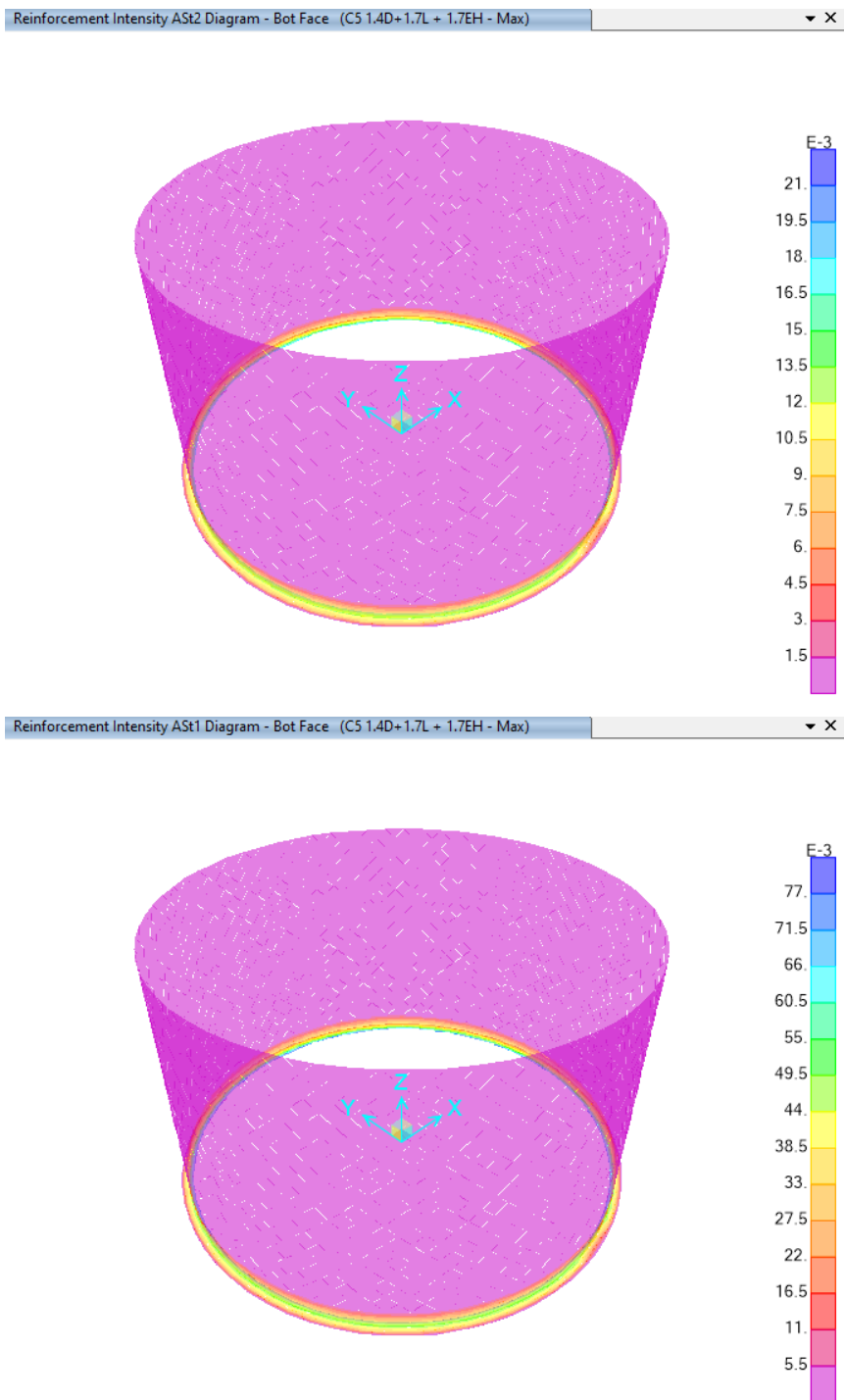
Resultados máximos a cada metro (TONF-M)



e) Acero de refuerzo

**Figura 83**

*Diagrama de intensidad de reforzamiento del acero*



## CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

El objetivo principal de la investigación es realizar la evaluación estructural del anillo de cimentación del tanque 14, como parte de la adecuación al DS-017-EM-2013 para cumplir las disposiciones establecidas en el DS-052-93-EM.

Los resultados obtenidos en la evaluación estructural del anillo de cimentación del tanque 14 específicamente en los artículos 33a y 33ab donde detallan requisitos para la adecuación en la parte de fundaciones, se cumplieron en ambas secciones a excepción de lo que se excluye en la presente investigación, por lo que se valida la hipótesis general que establece que, al realizar la adecuación del anillo de cimentación, cumpliremos con parte de las disposiciones establecidas con el decreto supremo DS-052-93-EM.

Se excluye de la presente investigación según los artículos citados elaborar la memoria de cálculo del tanque por API 650 numeral 5.2 (Design Considerations), verticalidad por API 653 numeral 10.5.2, diseño sísmico con el anexo E de API 650, diseño de cimentación en conformidad con el numeral 5.3.1 Foundations del estándar API 650 ya que no forma parte de la investigación en curso.

En el estudio de mecánica de suelo de manera general en el perfil estratigráfico, los suelos de cimentación corresponden a materiales granulares del tipo arenas de granos medios a finos con mezclas de limos del tipo SP-SM, con intercalaciones de arenas limpias mal graduadas del tipo SP, que se encuentran saturados por presencia de nivel freático y de acuerdo con la RNE vigente E-0.30 diseño sismorresistente y el predominio del suelo bajo la cimentación, es caracterizado como S2 y se recomienda usar para el diseño sísmico pertinente.

El suelo en donde descansa la cimentación a una profundidad ( $D_f = 0.60\text{m}$ ) en donde se ha realizado el estudio, obtuvimos la resistencia del suelo última y admisible (capacidad portante) por los métodos conocidos de capacidad de carga la cual es de  $0.86\text{ kg/cm}^2$  por ensayo de corte directo y las cargas transmitidas al suelo del tanque 14 según estudio

mecánico del tanque es de 1.35 kg/cm<sup>2</sup> por lo que en este escenario el suelo fallaría por corte cimentación sub dimensionada por lo que se realiza un rediseño de cimentación optando ampliar el área de cimentación con un reforzamiento lateral exterior de cimentación de 20x40 cm<sup>2</sup> de perímetro; no se modifica la profundidad de cimentación por que el decreto supremo DS-017-2013-EM especifica adecuación de tanques en servicio y no construcciones nuevas ya que este no es el fin del decreto supremo y considerando que el tanque se encuentra en operación desde ya hace más de 40 años (año de construcción del tanque 1972), donde no se han tenido problemas de fallas de las estructuras por problemas del suelo de cimentación, pero si se evidencia grietas en la cimentación producidas posiblemente por asentamiento diferencial a corto plazo.

También se infiere que no se espera que se produzcan asentamientos a largo plazo por consolidación por no haber suelos finos en la zona explorada, además que el Tanque 14 al estar funcionando hace más de 40 años, el suelo de apoyo ya sufrió el reacomodo y asentamiento elástico.

Para realizar la reparación de las grietas y volver a la performance del cimiento se aplicó un tratamiento por sistema de inyección y sellado superficial de un adhesivo epóxico de alta resistencia con baja viscosidad, insensible a la humedad.

Realizando el estudio de diamantina y escaneo a la cimentación existente de determino la resistencia a la compresión en la cimentación existente de 183 kg/cm<sup>2</sup>, así como la cimentación de reforzamiento realizada de 310 kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia a la compresión obtenida tuvo incidencia en el cumplimiento según las normas API 650, 653 así como en el RNE E 0.60 concreto armado cumpliendo con el valor requerido para el cumplimiento estructural del anillo de cimentación.

Los cálculos para el reforzamiento de la cimentación de analizaron las propiedades del acero de refuerzo y el diseño de concreto, todos los cálculos fueron conservadores, así como las cargas actuantes y se considera el cumplimiento de cuantías mínimas de refuerzos principales requeridos teniendo en cuenta las cargas radiales actuantes sobre la cimentación.

Referente a las interacciones con los antecedentes, según el informe de adecuación del tanque 14 (Zúñiga Liñán, Melgarejo Pinzón, 2016) determinó los incumplimientos al DS-052-93-EM en los artículos 33a y 33ab, los cuales pedían realizar: Cálculos de volcamiento, evaluación de la cimentación actual del tanque, realizar cálculo de cargas, realizar estudios de asentamientos, realizar diseño sísmico del tanque.

Dicha tesis guarda relación con la investigación de (Contreras Contreras, Guadaña Chacón, 2018) en la tesis “Diseño de cimentación para tanques atmosféricos bajo la norma API 650 y bajo la norma UNE-EN 14015 en la refinería la Pampilla 2018” en la que logra determinar que el diseño propuesto por la norma API-650 se asemeja para la zona peruana, lo cual contribuye significativamente al diseño de cimentaciones de tanques atmosféricos, debido a que proporcionan parámetros y condiciones para un buen diseño. Esto coincide con los requerimientos del DS-052-93-EM en la presente tesis, ya que estos se hicieron principalmente en conformidad con la norma API.

También se plantea que, al ser una estructura con muchos años de antigüedad, el anillo de concreto de cimentación del tanque N°- 14 no satisface los parámetros establecidos por el DS. Tras la evaluación estructural se confirma lo antes mencionado, ya que principalmente no cuenta con el ancho mínimo requerido y en consecuencia la cuantía de acero no es la suficiente, además de no contar con ningún cálculo necesario para su evaluación.

A diferencia de (Sánchez Pizarro, 2017) en su tesis “Modificación del tanque N°-08 de almacenamiento de hidrocarburos - PI 500 de 29,379 BLS planta de PETROPERÚ-Chimbote”, la cual indica que como parte de la adecuación de dicho tanque al DS-017-2013-EM para el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el DS-052-93-EM, realizaron la demolición del anillo existente para realizar uno nuevo de 50cm de ancho y 30cm de alto, a su vez con una zapata de 150cm de ancho y un peralte de 40cm. Esta contrasta con la solución planteada en nuestra investigación, ya que en este caso se opta por corregir las patologías del concreto en el anillo existente con el fin de rehabilitarlo, posterior a ello reforzarla construyendo un anillo exterior con la misma altura y un ancho de 20cm, unidos mediante dowels y un puente de adherencia epóxica, de esta manera alcanzamos los requerimientos para la adecuación en cuanto a la cimentación. Adicional a



ello se propuso otra alternativa más económica que también cumple con los parámetros de la adecuación, en el cual el anillo de refuerzo cuenta con un ancho de 20cm y una altura de 40 cm que llega al nivel de terreno natural.

En la presente tesis se realizaron los estudios suficientes para conocer el estado estructural del anillo existente y a su vez permitió cumplir con parte del requerimiento para la adecuación, dado que (Zúñiga Liñán, Melgarejo Pinzón, 2016) en el “Informe de adecuación del tanque 14”, presentó la observación de que el tanque no contaba con dossier de construcción ni data de diseño, así mismo no tenía estudios de suelo. Todo ello permitió obtener información y datos del anillo para así proceder con el diseño sísmico.

## 4.2 Conclusiones

- Se realizó la evaluación estructural del anillo de cimentación, obteniendo como resultado general que efectivamente no cumplía con los parámetros para continuar en funcionamiento según lo exigido en el DS-017-2013-EM.
- Se determinó que la condición del anillo de cimentación existente, donde se evidenció patologías en el concreto como desprendimiento en algunas zonas del anillo, evidencia de reparaciones antiguas, presencia de elementos incrustados ajenos a la estructura, acero con alto grado de corrosión.
- La carbonatación presente en la fundación no es relevante para la estructura metálica (corrosión) dado que el valor más crítico se encontró a 34 mm de profundidad y la estructura está a una profundidad promedio de 50 mm.  
El tanque presenta asentamiento diferencial dentro de los límites permisibles, el valor máximo de desviación encontrado fue 12,1 mm vs 36,6 mm desviación crítica calculado
- Se recopiló información del estudio geotécnico del suelo de la cimentación con lo cual se pudo determinar que: La capacidad portante admisible del suelo es de 0.86 kg/cm<sup>2</sup> a los 60cm de profundidad, los perfiles estratigráficos de las calicatas arrojaron que los suelos encontrados son del tipo SM (arena limosa) y SP (arena mal graduada) siendo esta última la más predominante.

- Se considera en el análisis un espectro hidrodinámico para obtener el máximo momento flector en el anillo.
- Se obtuvo la resistencia a compresión promedio del concreto a usar para la evaluación del anillo es de 183 kg/cm<sup>2</sup> y para el anillo de refuerzo es de 310 kg/cm<sup>2</sup> según el diseño.
- Se analizó el anillo de cimentación existente en cual se logró conocer sus dimensiones, siendo estas de 0.40m x 0.60m por lo que se concluyó que la máxima tensión en fondo de zapata ( $\sigma=107.13$  KPa) supera a la capacidad portante del terreno de cimentación ( $R_d=86.00$  KPa, también se pudo conocer que la cuantía del acero transversal si cumplía a diferencia de la longitudinal que no se estaba cumpliendo. Todo lo anterior llevó a reforzarlo con un anillo exterior de 0.20m x 0.60m que se unieron mediante una adherencia epóxica y dowels, esto hizo que la estructura de la cimentación se analizara como uno solo haciendo un anillo de cimentación de 0.60m x 0.60m, lo cual permitió que la máxima tensión en fondo de zapata ( $\sigma=69.45$  KPa) sea menor a la capacidad portante del terreno de cimentación ( $R_d=86.00$  KPa), y a su vez se cumpliera con la cuantía del acero tanto transversal como longitudinal.
- Se realizó el modelamiento computacional con la metodología de elementos finitos con malla de 1.00mx1.00m en ambas direcciones mediante el programa SAP2000.
- Se realizó la verificación de excentricidad (e) del anillo existente dando como resultado 0.035 la cual es menor a 0.333 que es la máxima permitida, de igual manera se obtuvo el resultado de excentricidad del anillo reforzado que dio 0.00 la cual es menor a 0.333 que es la máxima permitida. Se verificó la resistencia al volcamiento, en el anillo existente obtuvimos un factor de seguridad de 4.64 mayor a 1.80 que es el mínimo admisible, en el anillo reforzado obtuvimos un factor de seguridad de 8.65 mayor a 1.80 que es el mínimo admisible. Se verifico el deslizamiento, en el anillo existente obtuvimos un factor de seguridad de 1.94 mayor a 1.50 que es el mínimo admisible, en anillo reforzado obtuvimos un factor de seguridad de 2.12 mayor a 1.50 que es el menor admisible.

- Verificando el anillo por estabilidad de vuelco para las dimensiones actuales en campo (0.40x0.60), se obtiene un factor de seguridad de 4.64 siendo menor de 1.80 como valor admisible.
- Verificando las tensiones actuantes para las dimensiones actuales en campo (0.40x0.60), son de 1.07kg/cm<sup>2</sup>, siendo mayor valor admisible de 0.86kg/cm<sup>2</sup>.
- Para el refuerzo incrementar el área de contacto en la zona de intradós del muro, teniendo como ancho final de 60cm, para transmitir tensiones actuantes menores al admisible de 0.86kg/cm<sup>2</sup>.
- Incrementar el área de contacto teniendo como dimensiones finales de 60cmx60cm, considerando en la zona de intradós del muro un refuerzo final de 20cmx60cm con resistencia de  $f'c:310 \text{ kg/cm}^2$ .
- El refuerzo para el puntal en la zona de intradós del muro será una malla inferior de varilla de 3/8" cada 15cm.
- Finalmente concluimos que tras la rehabilitación del anillo existe y posteriormente reforzándolo con un anillo exterior de las dimensiones ya descritas, se logra alcanzar los parámetros estructurales que satisfacen como parte en la adecuación al DS-017-2013-EM.

## REFERENCIAS

- Alva Hurtado, Meneses Loja, Guzmán León. (1984). *Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú*. Ponencia presentada en el V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Centro Regional de Sismología para América del Sur, Tacna. Retrieved 11 01, 2020, from [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17\\_a.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf)
- API 650. (2020). *Welded Tanks for Oil Storage*. Institute, American Petroleum.
- API 653. (2020). *Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction*. Institute, American Petroleum.
- Aranda Burckhardt. (2011). *Diseño de tanques de acero soldado apoyados sobre el suelo para almacenamiento de hidrocarburos*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Ricardo Palma, Facultad de ingeniería, Lima. Retrieved 03 15, 2020, from <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/549>
- Archenti Zegarra, J. F. (2018). *Zonificación de la capacidad portante del suelo en la localidad de Lagunas distrito de Lagunas, Alto Amazonas - región de Loreto*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Tarapoto. Retrieved 12 01, 2020, from <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3139/CIVIL%20-%20Joel%20Felipe%20Archenti%20Zegarra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Benites Carvajal. (2019). *IDOCPUB*. Universidad Nacional Micaela Bastidas De Apurímac, Escuela Académico Profesional De Ingeniería Civil, Apurímac. Retrieved 11 11, 2020, from <https://idoc.pub/documents/determinacion-del-empuje-hidrostatico-en5km5o3jkno>
- Bermudez Mejia. (2020). *GESTRUC-E-01-TK-A Análisis y diseño hidrodinámico de anillos de tanque tk diesel, sector industria*. Informe de cálculo estructural, GESTRUC SAC, Trujillo. Retrieved 11 01, 2020
- Carranza Morales, Ponce Torres. (2017). *Estudio de zonificación geotécnica en el sector III del centro poblado el milagro para el diseño de cimentaciones superficiales*. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero Civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Trujillo. Retrieved 12 1, 2020, from <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/3559>
- Carrasco Villa. (2019). *Impermeabilización de área estanca y construcción del dique de contención de tanques de refinería*. Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Civil, Iquitos. Retrieved 05 04, 2020, from [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4095/TSP\\_ICI\\_015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4095/TSP_ICI_015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Carreño Vásquez, Hernández Luna. (2008). *Diseño y calculo de un tanque de almacenamiento para nafta con diametro de 70ft x 30ft de altura bajo la norma API 650*. Tesis Para Obtener El Título De Ingeniero Mecánico, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, Mexico DF. Retrieved 12 12, 2020, from <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/2699/1/DISENOYCALCULOODEUNTANQUE.pdf>
- Chero Morales. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento del agua en un reservorio elevado durante un evento sísmico*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico de fluidos, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas - Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Lima. Retrieved 12 10, 2020, from [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15567/Chero\\_mp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15567/Chero_mp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- (2020). *Contrato Marco de Adecuación al DS-017-2013-EM de Tanques de Almacenamiento de Combustibles en Terminales Centro y Norte*. Solicitud de cambio, Haug, Gerencia de proyectos, Chimbote. Retrieved 11 04, 2020
- Contreras Contreras, Guadaña Chacón. (2018). *Diseño de cimentación para tanques atmosféricos bajo la norma API 650 y bajo la norma UNE-EN 14015 en la refinería la Pampilla 2018*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Lima. Retrieved 04 25, 2020, from [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/34382/GUADA%c3%91A\\_CHA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/34382/GUADA%c3%91A_CHA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Conzabay Carvajal. (2019). *Analisis y diseños de cimentación para tanques metálicos de almacenamiento de derivados del petróleo y para base de bomba, de suelos característicos de la refinería La Libertad*. Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, La Libertad. Retrieved 05 26, 2020, from <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5266/1/UPSE-TIC-2020-0002.pdf>
- Crespo Villalaz. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Vol. 5ta Edición). Mexico: LIMUSA S.A. Retrieved 12 12, 2020, from <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>
- De León Arreaga, D. (2010). *uía para el diseño estructural de cimientos y anclajes de tanques de almacenamiento tipo API 650*. Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería , Guatemala. Retrieved 09 15, 2020, from [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3131\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3131_C.pdf)
- Diario Oficial El Peruano. (2013, 06 01). *Normas Legales*. Retrieved 07 14, 2020, from <https://minem.gob.pe/archivos/legislacion-6zu03zzz8bz60zo-2013.pdf>

- Ecolex*. (n.d.). Retrieved 06 12, 2020, from El portal del derecho ambiental:  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per125155.pdf>
- Edificaciones, R. N. (2018). *E.050*. Retrieved 12 01, 2020, from  
<http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/53%20E.050%20SUELOS%20Y%20CIMENTACIONES.pdf>
- Estuardo Son. (2018). *Conexiones De Placa De Ala Empernada (BFP) En Marcos De Acero Y Su Comportamiento Bajo La Influencia De Asentamientos Diferenciales*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad De San Carlos De Guatemala, División De Ciencias De La Ingeniería Civil, Quetzaltenango. Retrieved 11 20, 2020, from  
<http://www.ingenieria.cunoc.usac.edu.gt/portal/articulos/e38820787a1780f0910123537eec7fd166ae7bc1.pdf>
- Filippi Arriaga. (2012). *Proceso constructivo del anillo de cimentación, para tanques de almacenamiento de hidrocarburos*. Trabajo de graduación para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala. Retrieved 05 05, 2020, from  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3461\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3461_C.pdf)
- Flores castro, Burgos Espinoza. (2018). *3A1005-6-INSP-2-E-001 Ingenierías específicas para adecuación de tanques al DS-017-2013-EM*. Estudio de diamantina y escaneo de cimentación existente del tanque 14, Inspectra, Chimbote. Retrieved 08 14, 2020
- Flores Castro, Cuadro Rojas. (2018). *3A1005-5-INSP-2-EMS-001 Ingenierías específicas para adecuación de tanques al DS-017-2013-EM*. Estudios de suelos complementarios para el tanque 14, Inspectra, Chimbote. Retrieved 08 11, 2020
- Gonza Sánchez. (2014). *Diseño y cálculo de un tanque para almacenamiento de petróleo para 3000 BBLs*. Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba. Retrieved 10 2020, 12, from  
<http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3711/1/15T00581.pdf>
- Gonzabay Carvajal. (2019). *Análisis y diseño de cimentación para tanques metálicos de almacenamiento de derivados del petróleo y para base de bomba, de suelos característicos de la refinería la Libertad*. Proyecto de investigación previo a la obtención del título de ingeniero Civil, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, La Libertad. Retrieved 12 1, 2020, from  
<https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/5266/UPSE-TIC-2020-0002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gu Quian, León Tatiana, Mateo Unchupaico, Yupanqui Mario. (2016). *Planeamiento estratégico de la industria de combustibles líquidos en el Perú*. Tesis para obtener el grado de magíster en Administración de Negocios Globales, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado, Lima. Retrieved 04 25, 2020, from

[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14699/LEON\\_QUI  
AN\\_PLANEAMIENTO\\_COMBUSTIBLES.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14699/LEON_QUI<br/>AN_PLANEAMIENTO_COMBUSTIBLES.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Guilcapi Alomoto. (2008). *Manual para el diseño de cimentaciones de recipientes horizontales*. Tesis para la obtención del título de ingeniero civil, Escuela Politécnica del Ejército, Escuela de Ingeniería Civil, Sangolquí. Retrieved 11 10, 2020, from <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/1785/T-ESPE-017086.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hidalgo Piña, Rios Heller. (2019). *Análisis Dinámico Modal Espectral Y Estático Equivalente De Tanques De Almacenamiento De Petróleo*. Tesis Para Optar El Título Profesional De Ingeniero Civil, Universidad Científica Del Perú, Programa Académico De Ingeniería Civil, Iquitos. Retrieved 11 20, 2020, from <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/926>
- José Leoni. (2020). *Apunte de coeficiente de balasto*. Universidad Nacional de la Plata, Laboratorio de mecánica de suelos, La Plata. Retrieved 12 12, 2020, from <http://materias.fi.uba.ar/7411/curso/teoria/balasto/leoni.pdf>
- Martín Lopez. (2017). *Optimización de cimentaciones para depósitos de gran diametro*. Trabajo fin de grado para el Grado en Ingeniería Civil, Universidad de Sevilla, Departamento de estructuras de edificación e ingeniería del terreno, Sevilla. Retrieved 05 25, 2020, from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91586/fichero/MEMORIA+TFG.pdf>
- Mayorga Toala. (2013). *Inspección Física y Análisis Estructural para determinar operatividad de un tanque cilíndrico vertical para almacenamiento de Fuel Oil de acuerdo a norma API 653 luego de un siniestro*. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica Del Litoral , Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción, Guayaquil. Retrieved 10 01, 2020, from <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25223/1/Tesis%20de%20Graduaci%C3%B3n.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (n.d.). *Ministerio de Economía y Finanzas*. Retrieved julio 01, 2020, from <https://www.mef.gob.pe/es/normatividad-sp-1449>
- Morales Curo. (2018). *Alternativas de cimentaciones superficiales para edificaciones cimentadas en terreno con asentamiento diferencial*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero Civil, Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, Huancayo. Retrieved 11 12, 2020, from <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4839>
- Olmo. (2019). *empuje hidrostático - Hyperphysics*. Retrieved from <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/pbuoy.html>

- Osinermin. (n.d.). *Osinermin*. Retrieved julio 01, 2020, from [https://www.osinermin.gob.pe/seccion/institucional/acerca\\_osinermin/quienes\\_somos#](https://www.osinermin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinermin/quienes_somos#)
- Paucar Teniente. (2016). *Análisis comparativo en la determinación de la capacidad admisible por los métodos de Terzagui y Meyerhof, para el diseño de cimentaciones superficiales según las características del suelo de Inquilpata del distrito de Anta*. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Andina del Cusco, Facultad de ingeniería y arquitectura, Cusco. Retrieved 11 01, 2020, from [http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/708/1/Adin\\_Tesis\\_bachiller\\_2016.pdf](http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/708/1/Adin_Tesis_bachiller_2016.pdf)
- Pupiales Valdivieso. (2013). *Análisis de la interacción - fluido estructura en el diseño sísmico de tanques cilíndricos de acero según las normas: americana, neozeladesa, ecuatoriana y métodos simplificados*. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, Quito. Retrieved 04 26, 2020, from <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2405/1/107099.pdf>
- Quispe Quispe, Aguilar Tejada. (2019). *Diseño de Tanque de Almacenamiento de Petroleo de 10 0000 galones segun la Norma Api 650*. Tesis Para Obtener El Grado De Bachiller En Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Del Perú, Facultad De Ingeniería, Lima. Retrieved 10 05, 2020, from [http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/2362/1/Nelson%20Quispe\\_Anthoni%20Aguilar\\_Trabajo%20de%20Investigacion\\_Bachiller\\_2019.pdf](http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/2362/1/Nelson%20Quispe_Anthoni%20Aguilar_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2019.pdf)
- Requena Nacho. (2007). *Determinacion del coeficiente de balasto en cimentaciones*. Retrieved 10 05, 2020, from <https://pdfslide.net/documents/determinacion-del-coeficiente-de-balasto-en-cimentaciones.html>
- Sánchez Pizarro. (2017). *Modificación del tanque N°-08 de almacenamiento de hidrocarburos - PI 500 de 29,379 BLS planta de PETROPERÚ-Chimbote*. Informe de experiencia laboral para optar el título profesional de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, Chimbote. Retrieved 05 12, 2020, from [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/4263/S%c3%81NCHEZ%20PI ZARRO\\_PREGRADO\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/4263/S%c3%81NCHEZ%20PI ZARRO_PREGRADO_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sánchez S y Vargas O. (2011). *Análisis sísmico de tanques cilíndricos de almacenamiento*. Paper de investigación, Instituto Politécnico Nacional, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIA, Mexico D.F. Retrieved 06 11, 2020, from <https://docplayer.es/32897899-Analisis-sismico-de-tanques-cilindricos-de-almacenamiento-sanchez-s-h-vargas-o-s.html>
- Santa Cruz Perales. (2018). *Zonificación de la capacidad portante del suelo de la localidad de Soritor del distrito de Soritor – provincia de Moyobamba – región San Martín*. Tesis



- para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Martín , Facultad de ingeniería Civil y Arquitectura , San Martín - Tarapoto. Retrieved 10 15, 2020, from <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2928/CIVIL%20-%20Tesis%20Dennis%20Santa%20Cruz%20Perales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sayan Garcia. (n.d.). *Garcia Sayan Abogados*. Retrieved 06 13, 2020, from <http://www.garciasayan.com/blog-legal/2013/06/03/adequacion-de-las-instalaciones-para-almacenamiento-de-hidrocarburos-preexistentes-a-las-disposiciones-establecidas-en-el-decreto-supremo-n%C2%B0-052-93-em/>
- (2017). *TECNA-TP/CHIMBOTE-2017-002AVR Asentamiento Diferencial (API653)*. Informe bajo la norma API 653, Tecna Perú SAC, Ingeniería, Chimbote. Retrieved 10 05, 2020
- Teniente Paucar. (2016). *Análisis comparativo en la determinación de la capacidad admisible por los métodos de Terzagui y Meyerhof, para el diseño de cimentaciones superficiales según las características del suelo de Inquilpata del distrito de Anta*. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Andina del Cusco , Facultad de ingeniería y arquitectura , Cusco. Retrieved 11 01, 2020, from [http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/708/1/Adin\\_Tesis\\_bachiller\\_2016.pdf](http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/708/1/Adin_Tesis_bachiller_2016.pdf)
- Tirenti, J. (2005). *Tanques de Almacenamiento: Norma Api 650-Parte I*. Retrieved 12 01, 2020, from <https://arvengrtraining.com/wp-content/uploads/2016/02/STI-NOTAS-DE-ESTUDIO-PRUEBA-1.pdf>
- Titenti Javier. (n.d.). *Api 650 - tanques de almacenamiento, parte III: Techo flotante, techo fijo, estructura interna, acciones sísmicas, pernos de anclaje*. Retrieved 11 01, 2020, from <https://arvengrtraining.com/wp-content/uploads/2018/02/STIII-NOTAS-DE-ESTUDIO-PRUEBA.pdf>
- Villavicencio Ugarte. (n.d.). *Villavicencio Ugarte*. Retrieved 11 01, 2020, from <https://waltervillavicencio.com/reglamento-nacional-de-edificaciones-rne-actualizado-con-texto-copiable/>
- Zúñiga Liñán, Melgarejo Pinzón. (2016). *TECNA-TP/ CHIMBOTE-2016- 066 AD INFORME DE ADECUACIÓN AL D.S. 052-93-EM TANQUE 14 TERMINAL CHIMBOTE*. Informe de Adecuación al Decreto Supremo 052-93-EM del tanque de almacenamiento de combustible TK-14 , Tecna Perú SAC, Chimbote. Retrieved 06 15, 2020
- Zúñiga Liñán, Melgarejo Pinzón. (2016). *TECNA-TP/CHIMBOTE-2016- 002P Reporte final de inspección api-653 fuera de servicio TK-14*. Inspección de tanques, Tecna Perú SAC, Chimbote. Retrieved 06 05, 2020

## ANEXOS

Anexo 1. Estudio de mecánica de suelos

Anexo 2. Estudio de diamantina y escaneo de cimentación existente

Anexo 3. Análisis de asentamiento diferencial bajo API 653

Anexo 4. Análisis de verticalidad bajo API 653

Anexo 5. Resultados de reparación de fisuras

Anexo 6. Ensayos de resistencia a la compresión de probetas de grout y reforzamiento de anillo de cimentación

Anexo 7. Reporte fotográfico

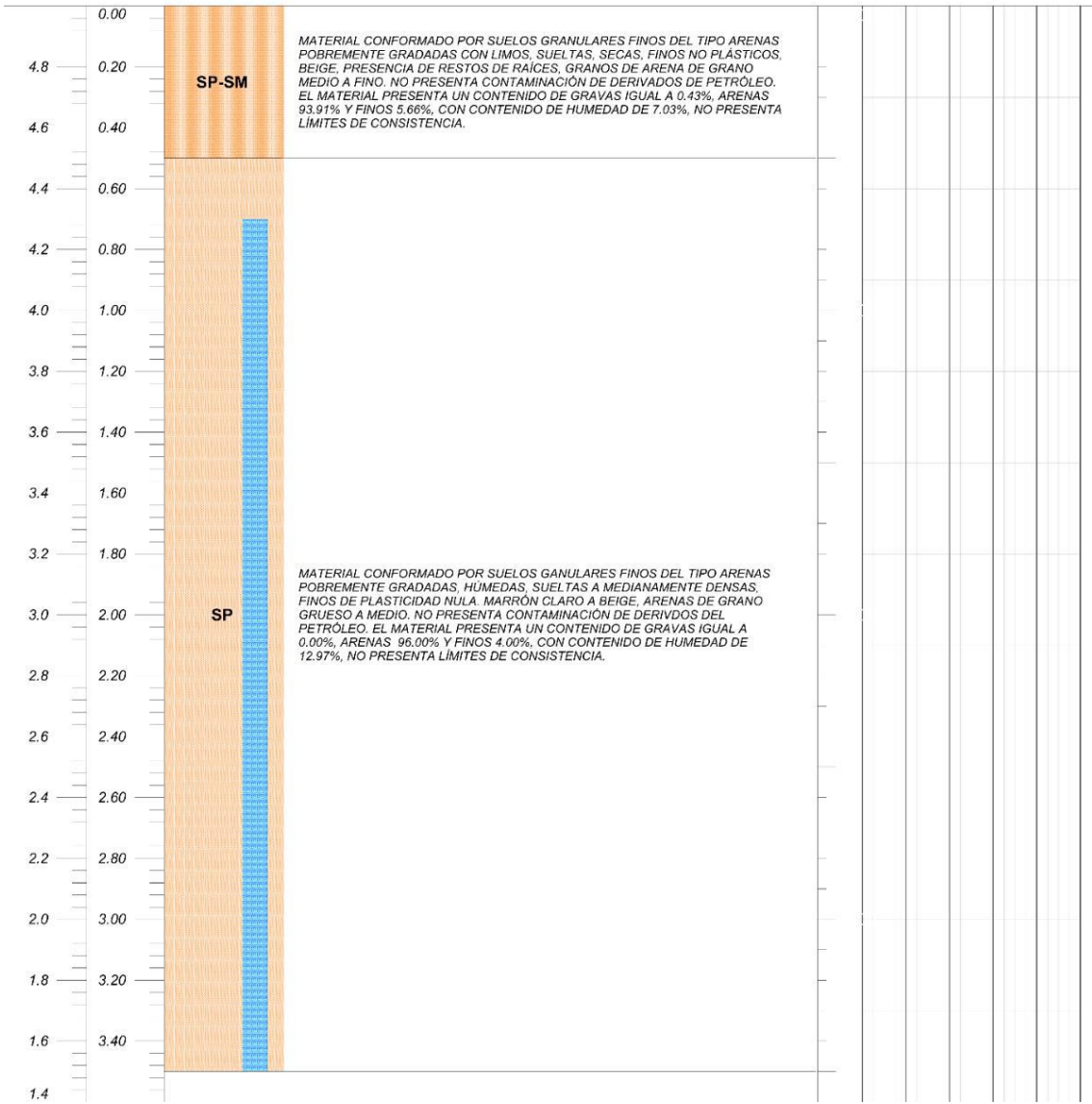
## **Anexo 1. Estudio de mecánica de suelos**

# PERFIL ESTRATIGRÁFICO **C-01**

CLIENTE: <b>INSPECTRA</b>	UBICACION: <b>TANQUE 14 - TERMINAL CHIMBOTE -</b>	
PROYECTO: <b>ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES DE CIMENTACION - TERMINALES DEL PERÚ - CHIMBOTE - TANQUE 14</b>		
TIPO DE SONDAJE: <b>Excavación Manual - Calicata</b>	FECHA: <b>17 11 2018</b>	LAMINA No: <b>1</b>
COORDENADAS: <b>E:</b> <b>N:</b>	NIVEL FREÁTICO: <b>0.70m</b>	PAGINA: <b>1 de 1</b>
REGISTRADO: <b>F.O.M.</b>	REVISADO: <b>M.H.A.</b>	

COTA (msnm)	PROF. (m)	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION	
-------------	-----------	------------	-------------	--

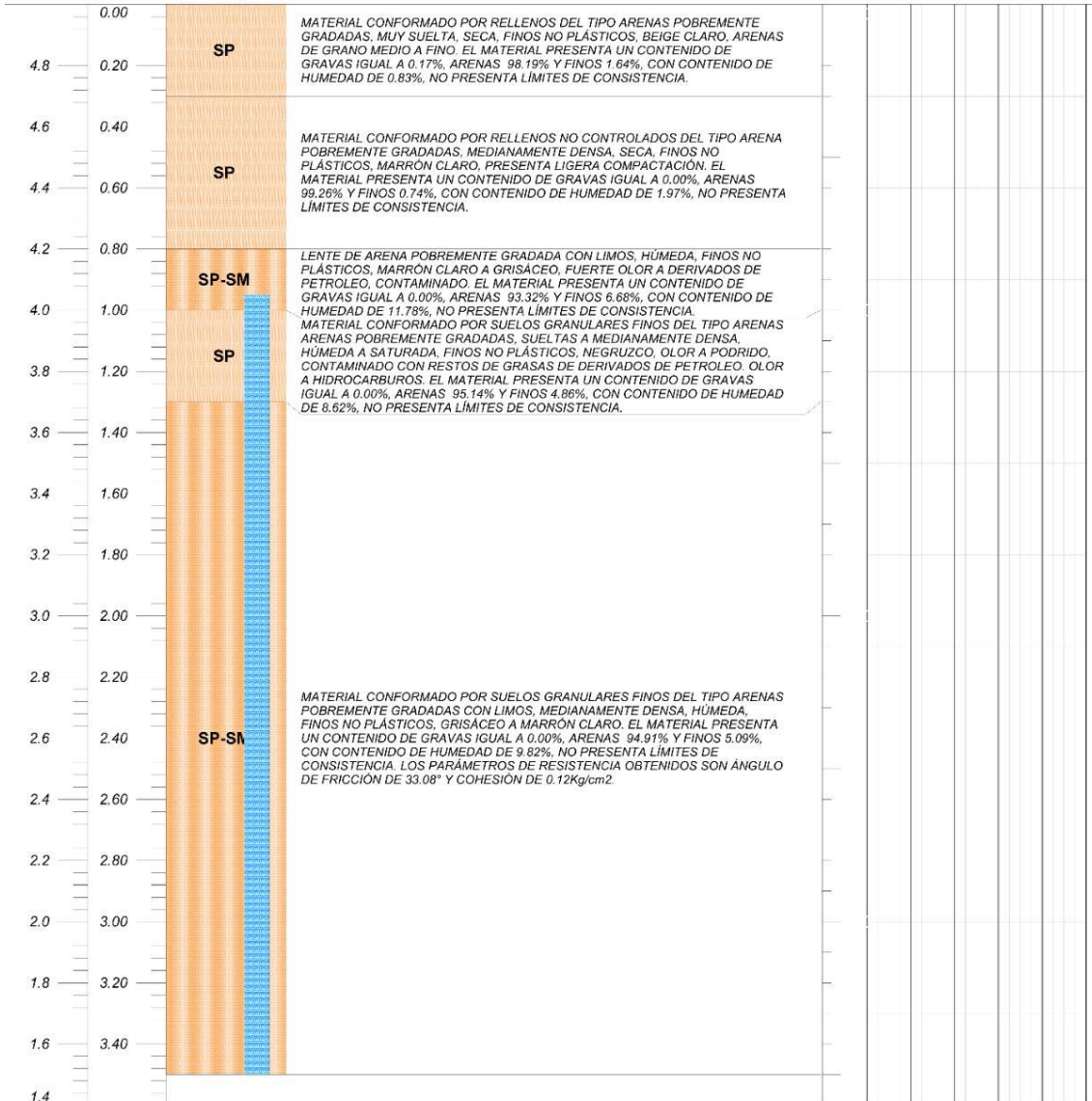
N10: Número de Golpes por 0.10m



# PERFIL ESTRATIGRÁFICO C-02

CLIENTE: <b>INSPECTRA</b>	UBICACION: <b>TANQUE 14 - TERMINAL CHIMBOTE -</b>	
PROYECTO: <b>ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES DE CIMENTACION - TERMINALES DEL PERÚ - CHIMBOTE - TANQUE 14</b>		
TIPO DE SONDAJE: <b>Excavación Manual - Calicata</b>	FECHA: <b>19 11 2018</b>	LAMINA No: <b>1</b>
COORDENADAS: <b>E: N:</b>	NIVEL FREATICO: <b>0.95m</b>	
REGISTRADO: <b>F.O.M.</b>	REVISADO: <b>M.H.A.</b>	PAGINA: <b>1 de 1</b>

COTA (msnm)	PROF. (m)	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION	N10: Número de Golpes por 0.10m



## Registro de sondeos realizados para los ensayos de suelo para de la adecuación

STP-01						
Código	Desde	Hasta	n1	n2	n3	N
STP-01	1	1.45	1	2	2	4
STP-02	2	2.45	2	7	8	15
STP-03	3	3.45	7	9	12	21
STP-04	4	4.45	7	10	11	21
STP-05	5	5.45	7	9	12	21
STP-06	6	6.45	12	15	22	37
STP-07	7	7.45	12	21	29	50
STP-08	8	8.45	15	16	35	60

CTP-01 (CONO)	
Profundidad	Golpes
0.95	3
1.10	4
1.25	4
1.40	5
1.55	5
1.70	5
1.85	5
2.00	6
2.15	10
2.30	10
2.45	15
2.60	11
2.75	16
2.90	14
3.05	16
3.20	15
3.35	13
3.50	14
3.65	17
3.80	15
3.95	13
4.10	20
4.25	22
4.40	25
4.70	25
4.85	26
5.00	28
5.15	28
5.30	34
5.45	34
5.60	35
5.75	38
5.90	37
6.05	45
6.20	39
6.35	46
6.50	47
6.65	48
6.80	46
6.95	50
7.10	50

DPL-01	
Profundidad	Golpes
0.80	5
0.90	9
1.00	11
1.10	8
1.20	10
1.30	10
1.40	13
1.50	12
1.60	8
1.70	7
1.80	7
1.90	7
2.00	12
2.10	14
2.20	20
2.30	24
2.40	25
2.50	25
2.60	25
2.70	23
2.80	22
2.90	22
3.00	19
3.10	17
3.20	20
3.30	20
3.40	22
3.50	24
3.60	23
3.70	25
3.80	27
3.90	26
4.00	34
4.10	33
4.20	31
4.30	29
4.40	33
4.50	35
4.60	37
4.70	38
4.80	41
4.90	42
5.00	39
5.10	43
5.20	45

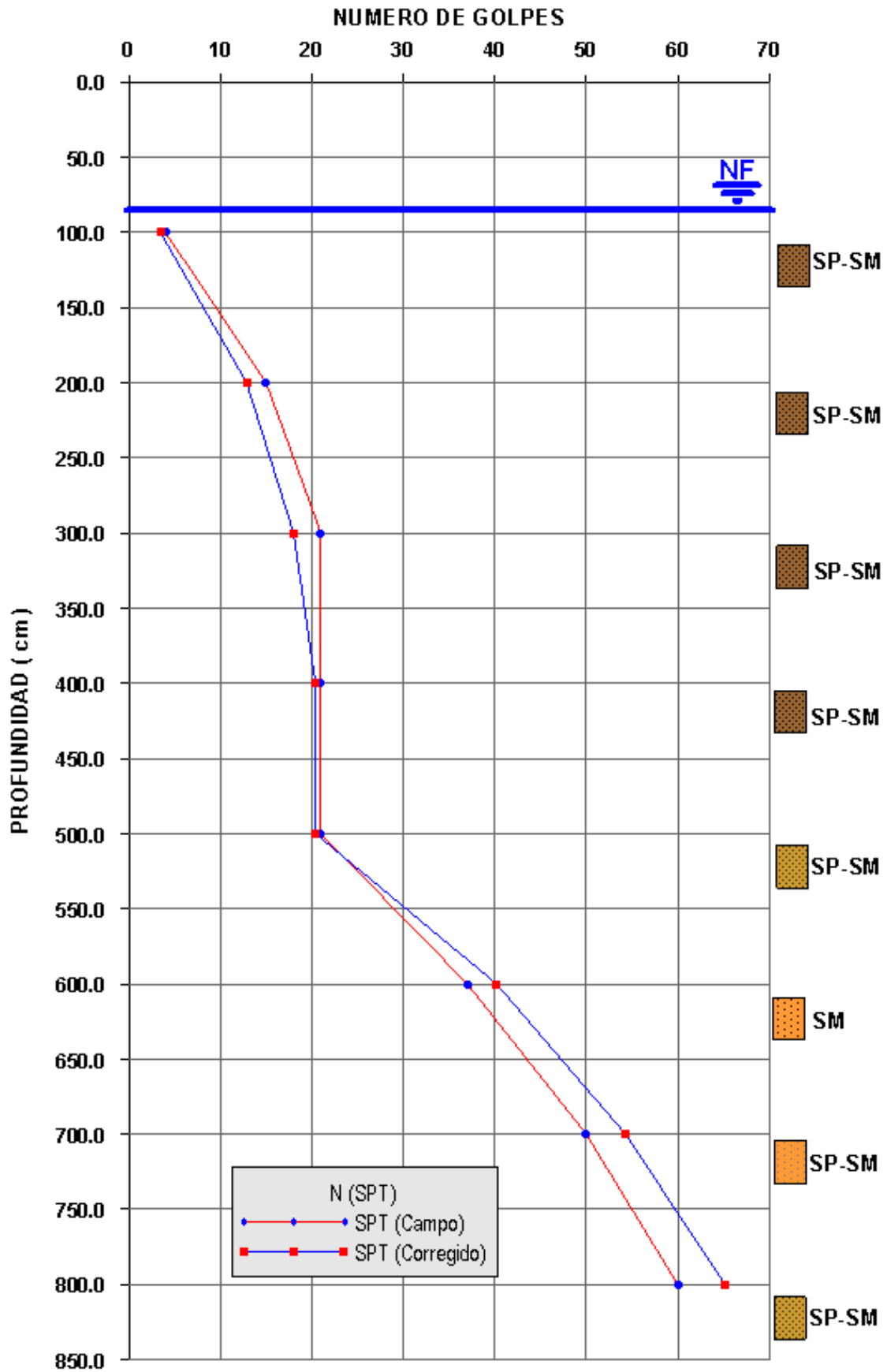
DPL-02	
Profundidad	Golpes
1.00	12
1.10	19
1.20	14
1.30	14
1.40	17
1.50	20
1.60	24
1.70	28
1.80	25
1.90	25
2.00	25
2.10	28
2.20	34
2.30	40
2.40	41
2.50	44
2.60	48
2.70	50

DPL-03	
Profundidad	Golpes
0.25	12
0.35	18
0.45	15
0.55	8
0.65	9
0.75	10
0.85	13
0.95	15
1.05	11
1.15	0
1.25	10
1.35	12
1.45	13
1.55	14
1.65	14
1.75	15
1.85	21
1.95	21
2.05	26
2.15	28
2.25	36
2.35	46
2.45	48
2.55	49
2.65	50

## Ensayo STP

Datos			Resultados							
Prof. (m)	N	$\gamma_s$ (Kg/cm <sup>3</sup> )	$\sigma$ (KPa)	N	CN	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_{70}$
1.00										
	1	1700	14.000	4	1.000	1.143	0.75	1.00	1.00	3.43
	2									
1.45	2									
2.00										
	2	1700	21.000	15	1.000	1.143	0.75	1.00	1.00	12.86
	7									
2.45	8									
3.00										
	7	1700	28.000	21	1.000	1.143	0.75	1.00	1.00	18.00
	9									
3.45	12									
4.00										
	7	1700	35.000	21	1.000	1.143	0.85	1.00	1.00	20.40
	10									
4.45	11									
5.00										
	7	1700	42.000	21	1.000	1.143	0.85	1.00	1.00	20.40
	9									
5.45	12									
6.00										
	12	1700	49.000	37	1.000	1.143	0.95	1.00	1.00	40.18
	15									
6.45	22									
7.00										
	12	1700	56.000	50	1.000	1.143	0.95	1.00	1.00	54.29
	21									
7.45	29									
8.00										
	15	1700	63.000	60	1.000	1.143	0.95	1.00	1.00	65.15
	25									
8.45	35									

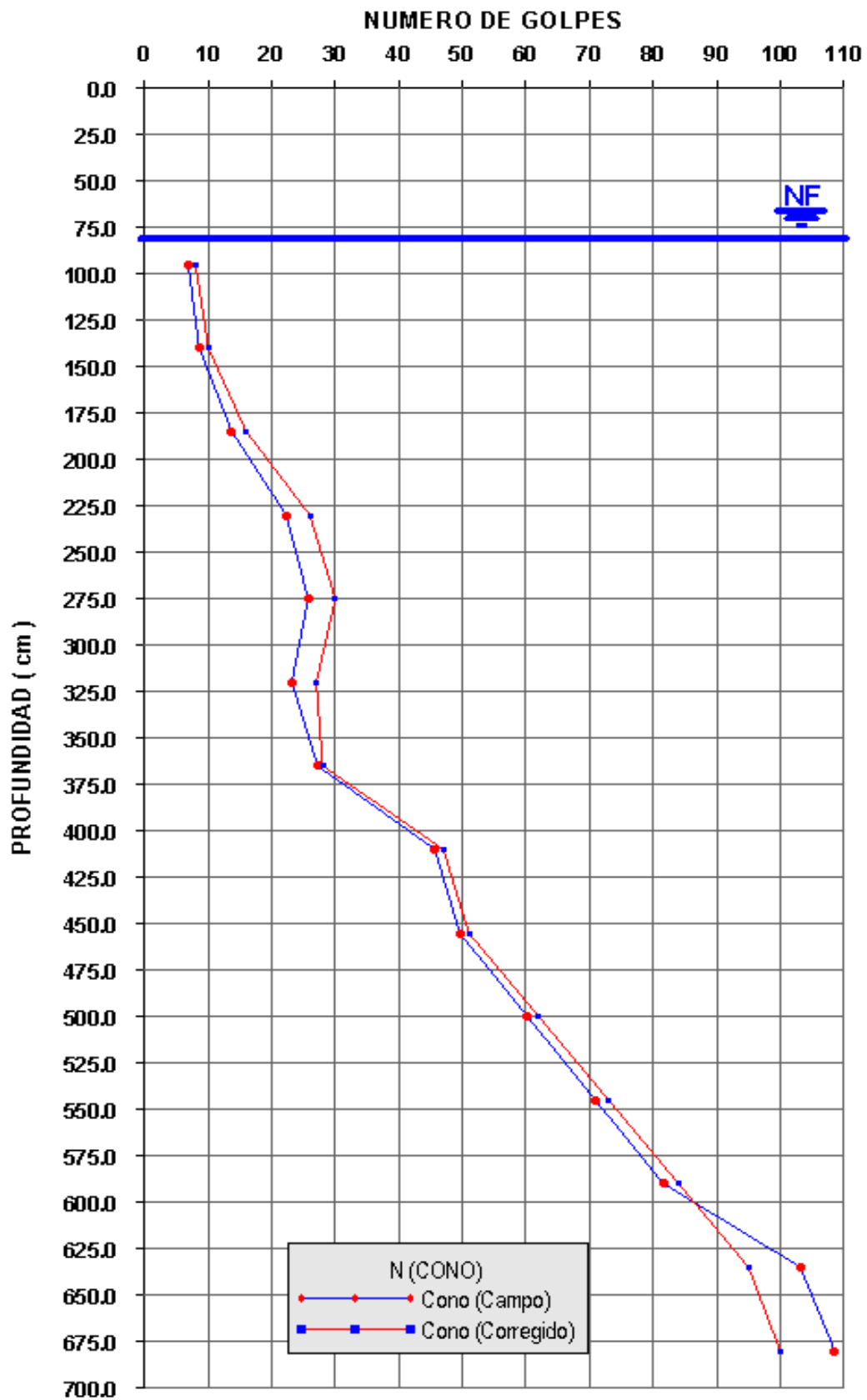
# SPT 01





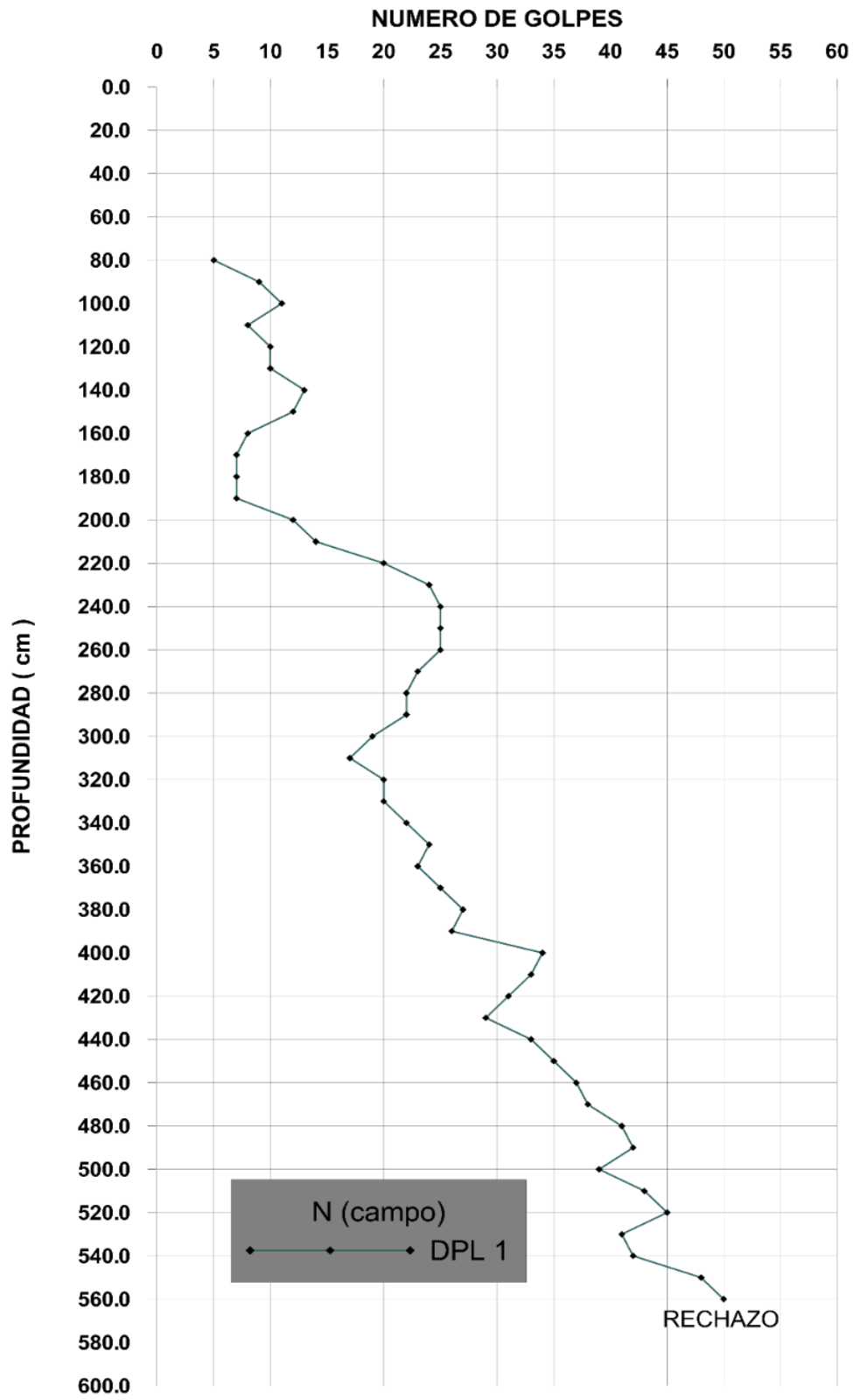


# CONO 01

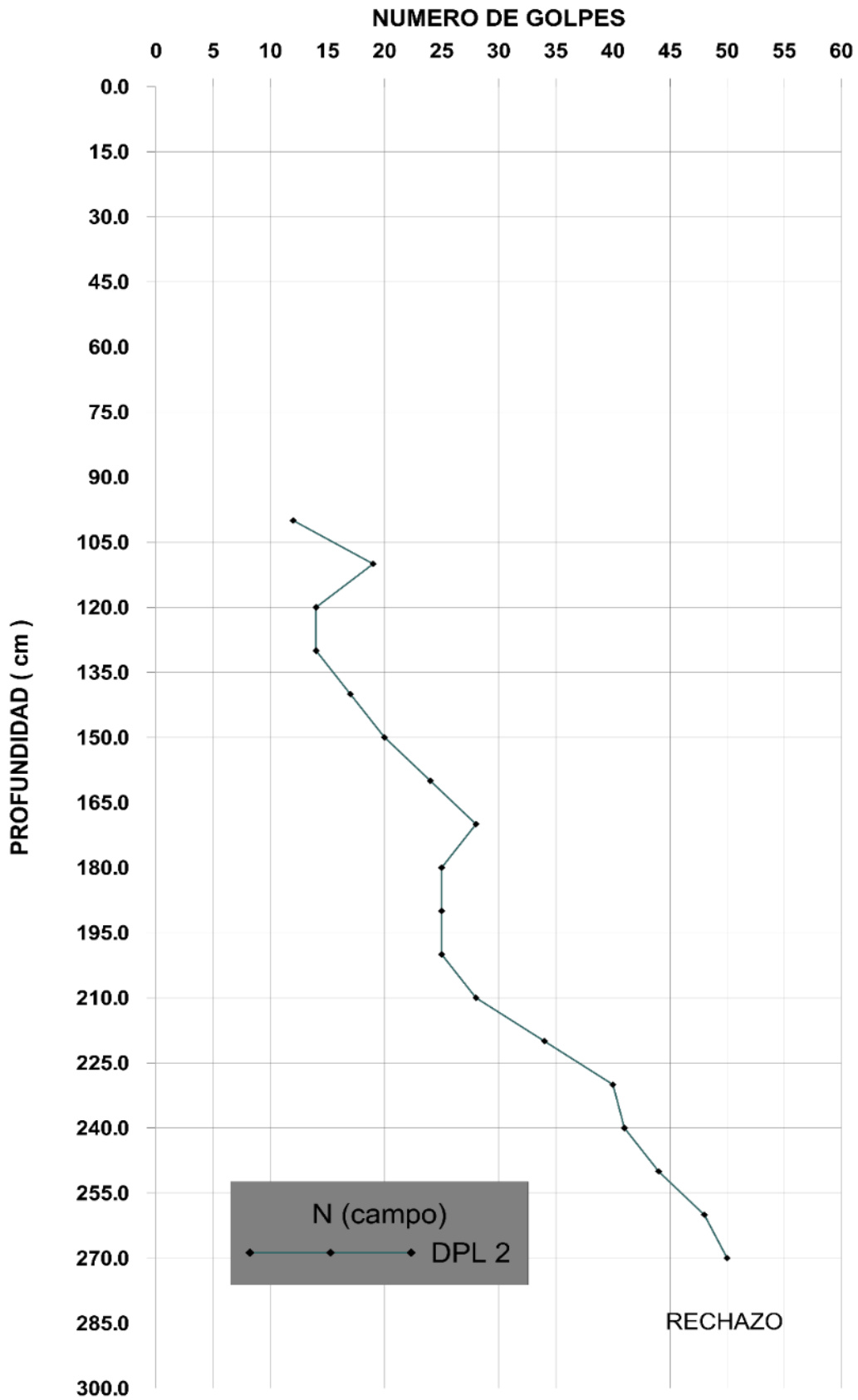


# Ensayos de penetración ligera del tipo DPL

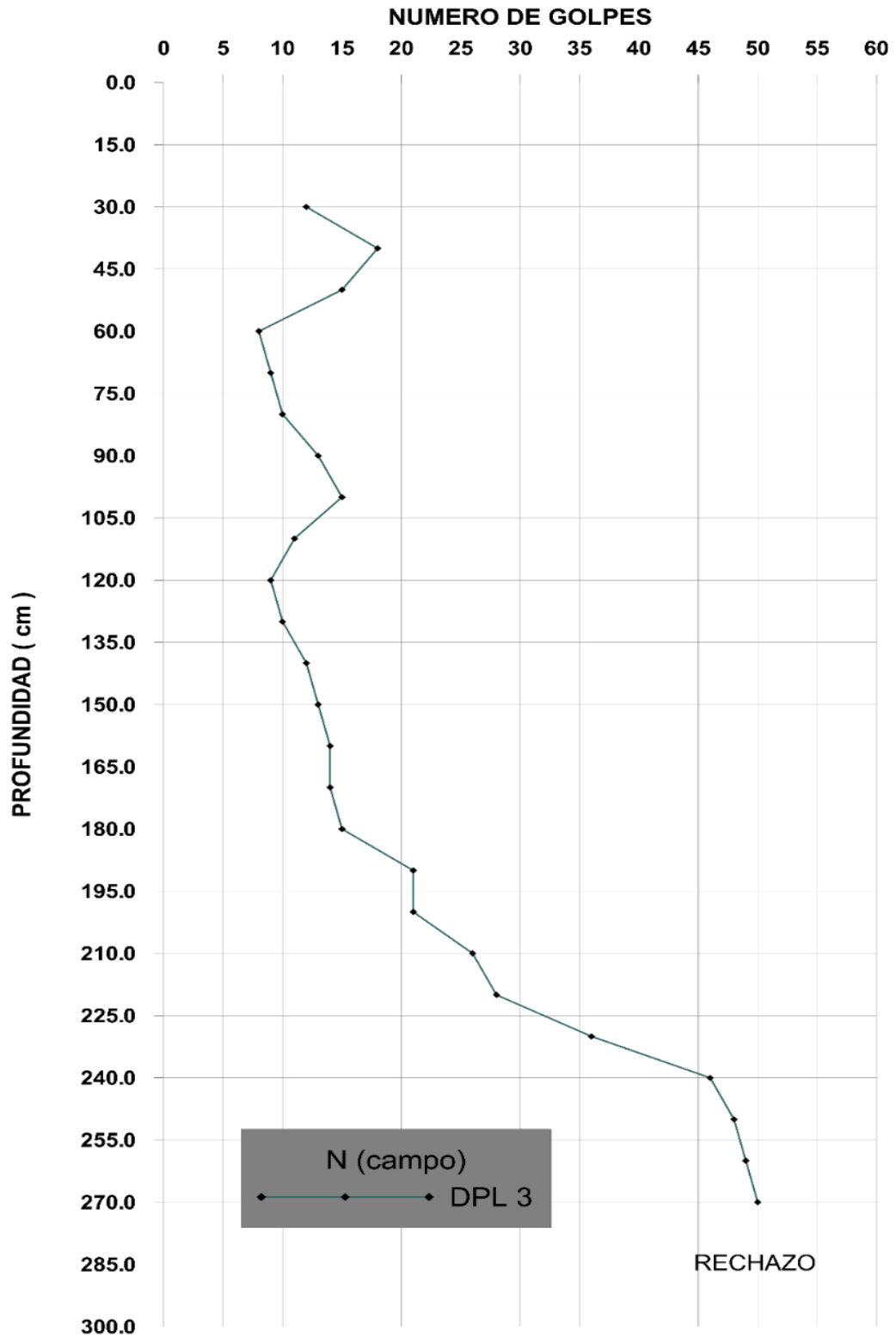
## DPL 01



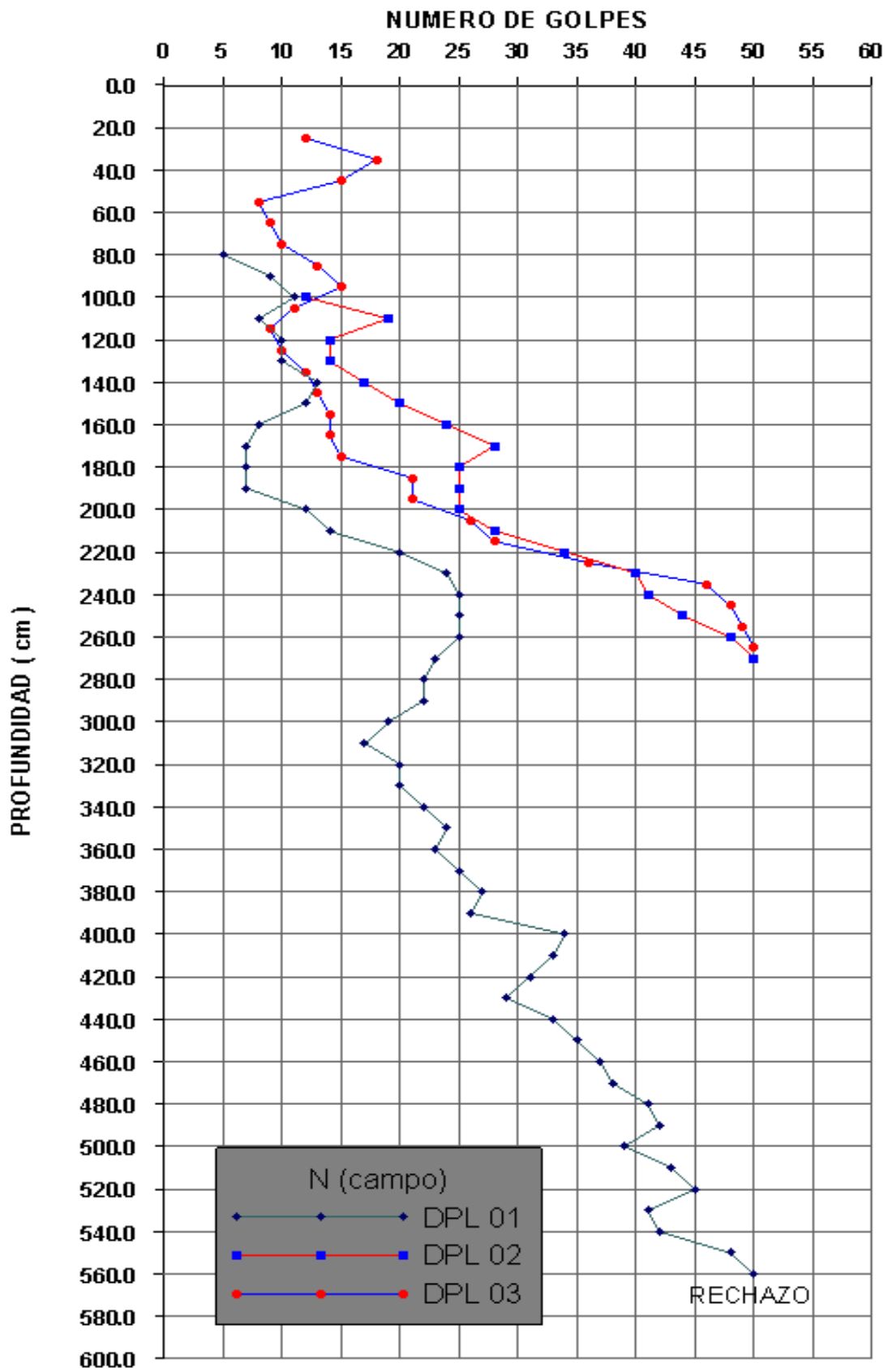
# DPL 02



# DPL 03



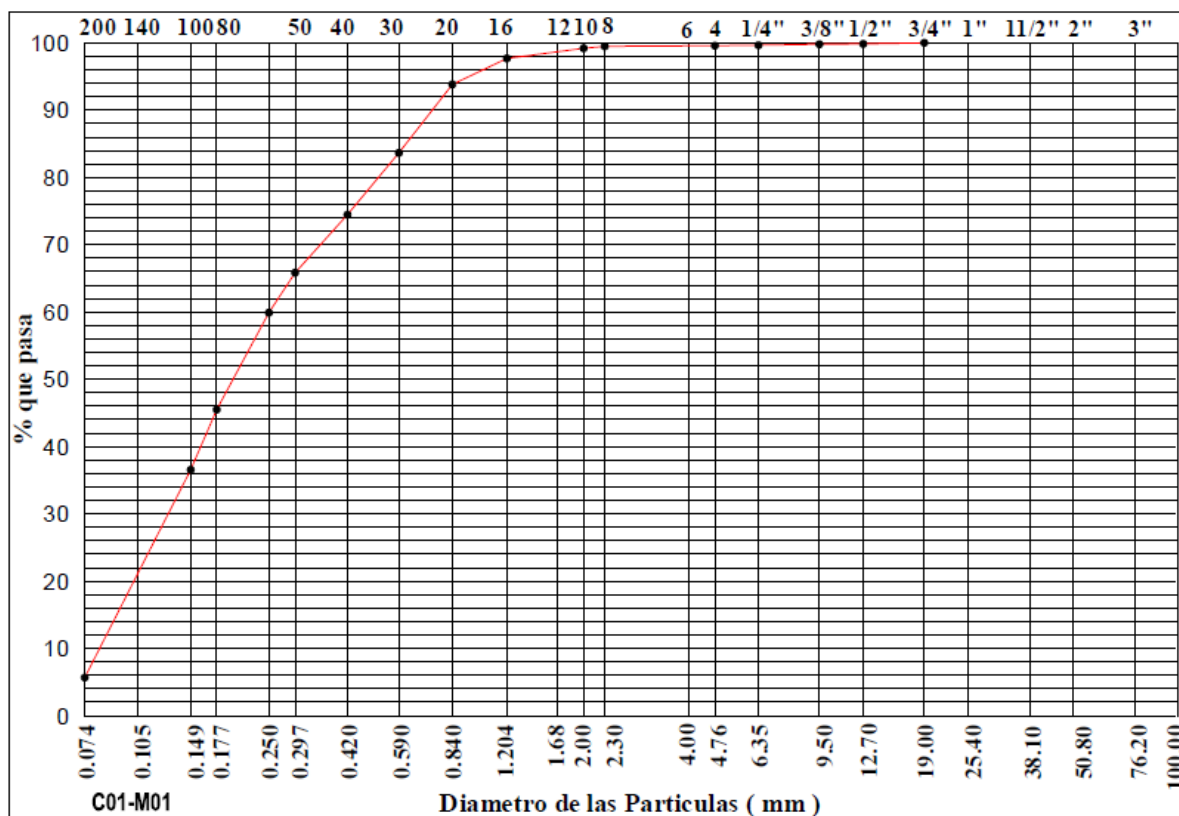
# DPL



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

**PROYECTO :** ESTUDIOS DE SUELOS Y GEORISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 01  
**TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14** UBICACIÓN : MUESTRA 01  
**SOLICITA :** INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
**REALIZADO :** ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 0.00m - 0.30m.

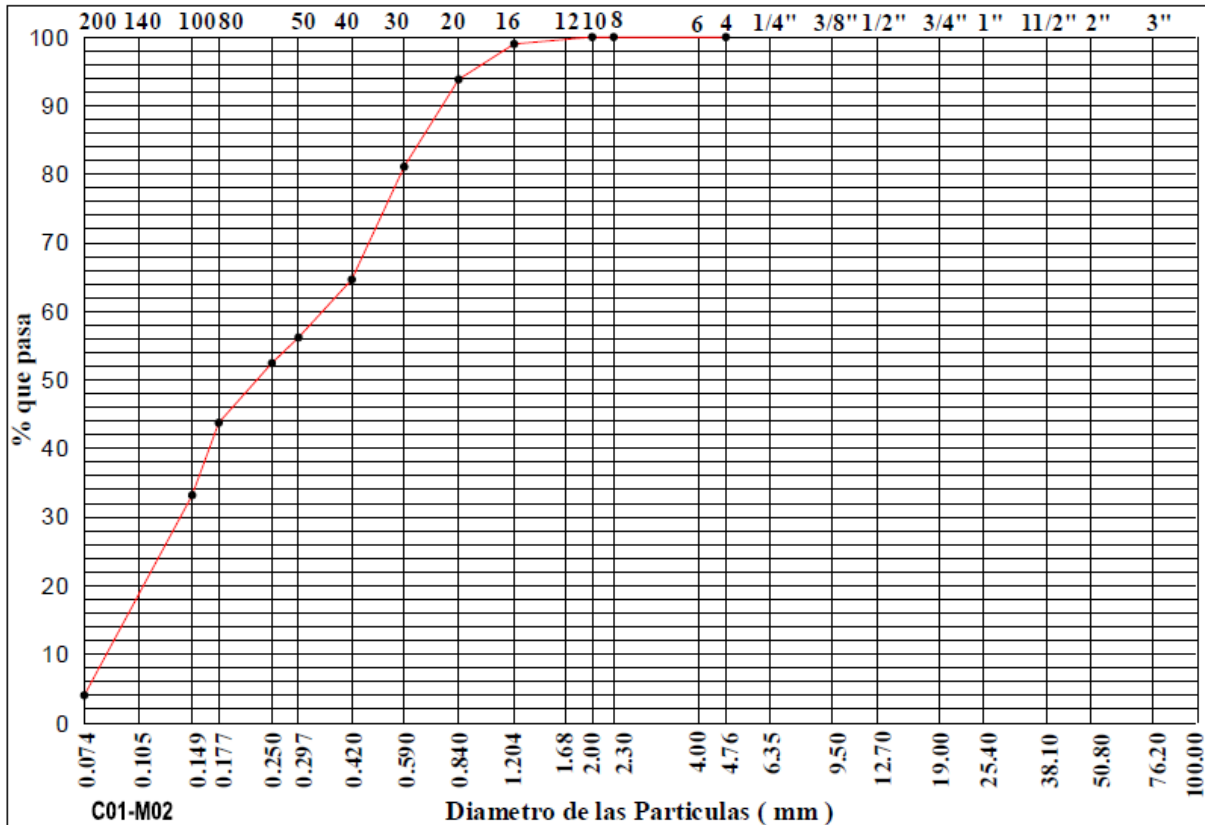
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	% ESPECIFICACION			TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	
4"					DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP-SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 0.70 Cu = 3.54
3"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"				100.00	
1/2"	30.40	0.16	0.16	99.84	
3/8"	8.30	0.04	0.21	99.79	
1/4"	28.70	0.15	0.36	99.64	
Nro, 4	12.90	0.07	0.43	99.57	
Nro, 8	1.18	0.10	0.53	99.47	
Nro, 10	3.06	0.27	0.80	99.20	
Nro, 16	17.07	1.52	2.32	97.68	OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 18798 AGREG. GRUESO (gr) 80 0.43% AGREG. FINO (gr) 18718 99.57%  <b>TECNICA DEL CUARTEO</b> Fracción Humeda (gr) 1200.00 Humedad (%) 7.03% Fracción Seca (gr) 1121.17
Nro, 20	43.41	3.86	6.18	93.82	
Nro, 30	114.72	10.19	16.36	83.64	
Nro, 40	103.42	9.18	25.55	74.45	
Nro, 50	97.08	8.62	34.17	65.83	
Nro, 60	66.88	5.94	40.11	59.89	
Nro 80	162.12	14.40	54.51	45.49	
Nro, 100	100.85	8.96	63.46	36.54	
Nro, 200	347.65	30.88	94.34	5.66	
PASA Nro. 200	63.73	5.66	100.00	0.00	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

**PROYECTO :** ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOSICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACION : MUESTRA 02  
**SOLICITA :** INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
**REALIZADO :** ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 0.30m - 0.70m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b>  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 C <sub>c</sub> = 0.45 C <sub>u</sub> = 5.55
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4				100.00		
Nro, 8	0.00	0.00	0.00	100.00		
Nro, 10	0.04	0.00	0.00	100.00		
Nro, 16	10.75	1.01	1.02	98.98	<b>OBSERVACIONES :</b> MATERIAL (gr) 16334 AGREG. GRUEDO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 16334 100.00%  <b>TECNICA DEL CUARTEO</b> Fracción Humeda (gr) 1200.00 Humedad (%) 12.97% Fracción Seca (gr) 1062.27	
Nro, 20	54.85	5.16	6.18	93.82		
Nro, 30	135.26	12.73	18.91	81.09		
Nro, 40	174.77	16.45	35.36	64.64		
Nro, 50	89.73	8.45	43.81	56.19		
Nro, 60	39.84	3.75	47.56	52.44		
Nro 80	92.35	8.69	56.26	43.74		
Nro, 100	112.20	10.56	66.82	33.18		
Nro, 200	310.00	29.18	96.00	4.00		
PASA Nro. 200	42.5	4.00	100.00	0.00		

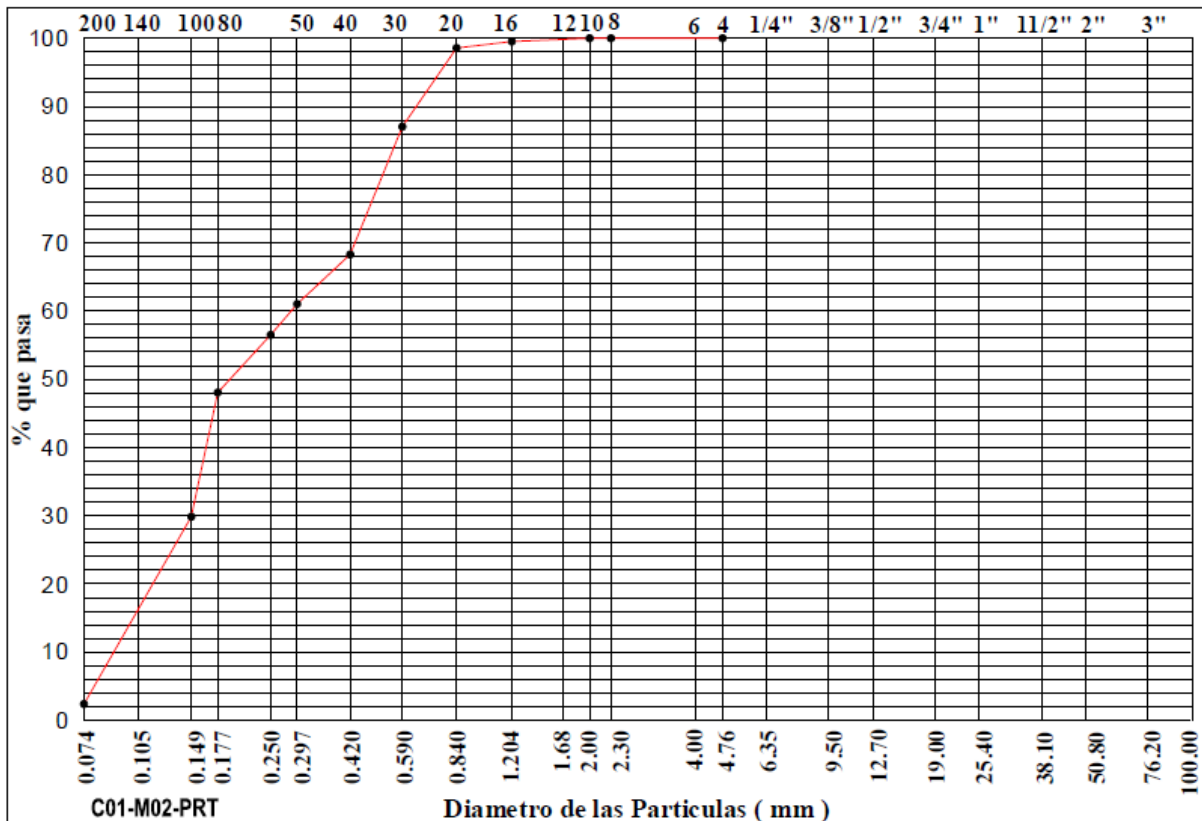




## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEORISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 02  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 0.30m - 3.50m.

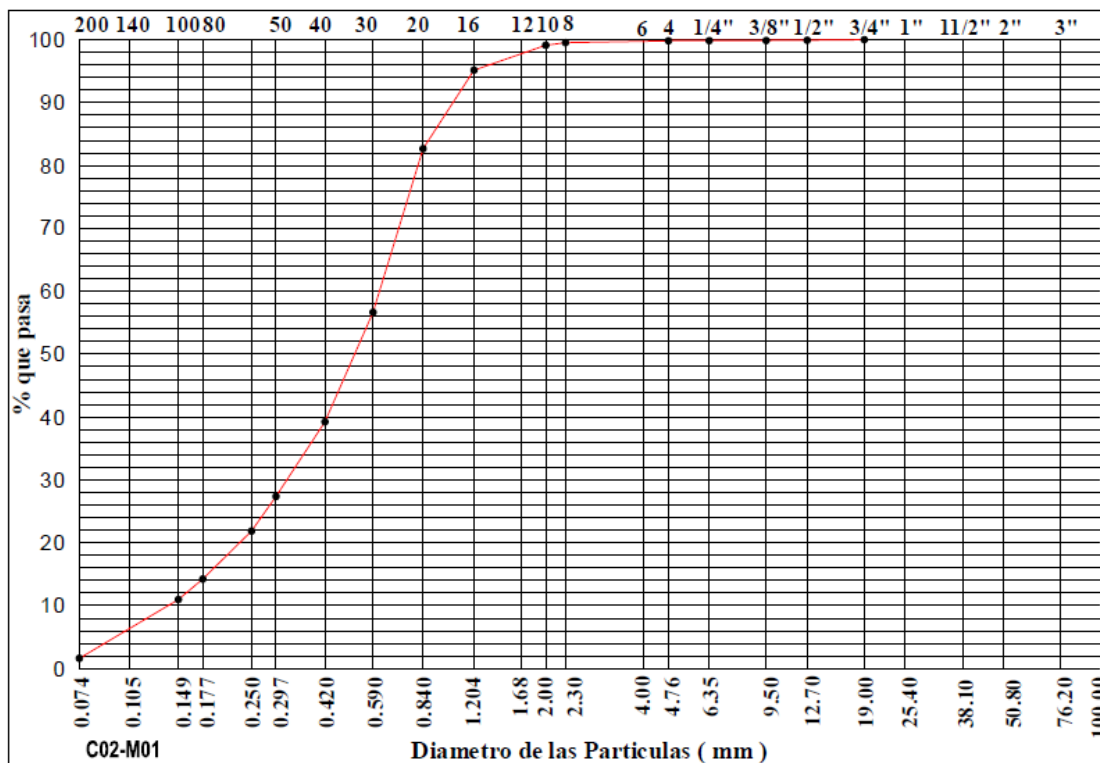
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 0.60 Cu = 4.13
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.00	0.00	0.00	100.00		
Nro. 10	0.00	0.00	0.00	100.00		
Nro. 16	4.98	0.47	0.47	99.53	OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 1560 AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 1560 100.00%	
Nro. 20	10.19	0.96	1.42	98.58		
Nro. 30	122.82	11.53	12.96	87.04		
Nro. 40	199.58	18.74	31.70	68.30		
Nro. 50	77.37	7.27	38.97	61.03		
Nro. 60	48.33	4.54	43.51	56.49		
Nro. 80	89.88	8.44	51.95	48.05		
Nro. 100	193.77	18.20	70.14	29.86		
Nro. 200	292.64	27.48	97.63	2.37		
PASA Nro. 200	25.3	2.37	100.00	0.00		



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOFISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 02  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 01  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 0.00m - 0.30m.

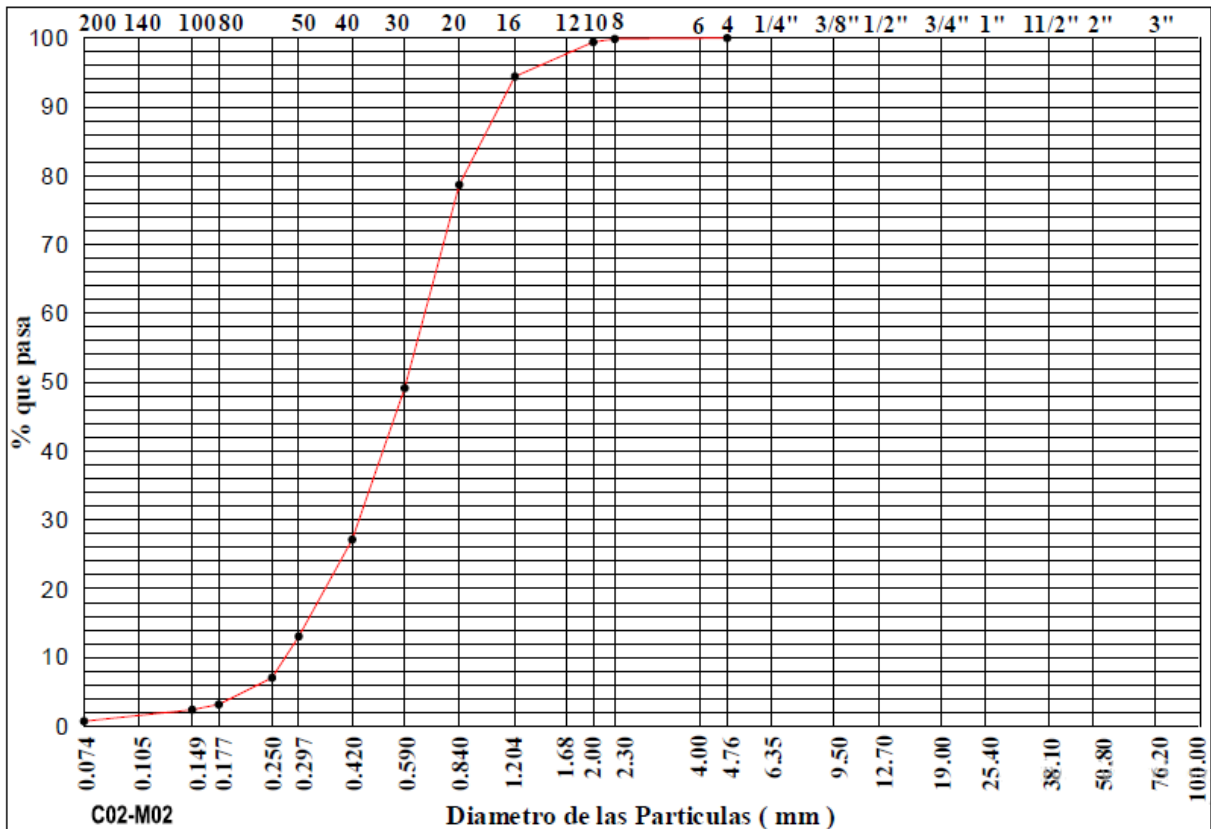
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	% ESPECIFICACION RETENIDO QUE TECNICAS PARCIAL ACUMULADO PASA			TAMAÑO MÁXIMO
		4"			
3"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"				100.00	
1/2"	15.70	0.09	0.09	99.91	
3/8"	8.10	0.05	0.14	99.86	
1/4"	2.50	0.01	0.15	99.85	
Nro, 4	3.40	0.02	0.17	99.83	
Nro, 8	3.59	0.30	0.47	99.53	OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 17164 AGREG. GRUESO (gr) 30 0.17% AGREG. FINO (gr) 17134 99.83%  <b>TECNICA DEL CUARTEO</b> Fracción Humeda (gr) 1200.00 Humedad (%) 0.83% Fracción Seca (gr) 1190.10
Nro, 10	4.87	0.41	0.88	99.12	
Nro, 16	47.28	3.97	4.85	95.15	
Nro, 20	148.90	12.49	17.34	82.66	
Nro, 30	310.10	26.01	43.35	56.65	
Nro, 40	207.62	17.42	60.77	39.23	
Nro, 50	141.34	11.86	72.62	27.38	
Nro, 60	65.66	5.51	78.13	21.87	
Nro 80	91.00	7.63	85.76	14.24	
Nro, 100	38.71	3.25	89.01	10.99	
Nro, 200	111.50	9.35	98.36	1.64	
PASA Nro. 200	19.53	1.64	100.00	0.00	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOFISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 02  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 02  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 0.30m - 0.80m.

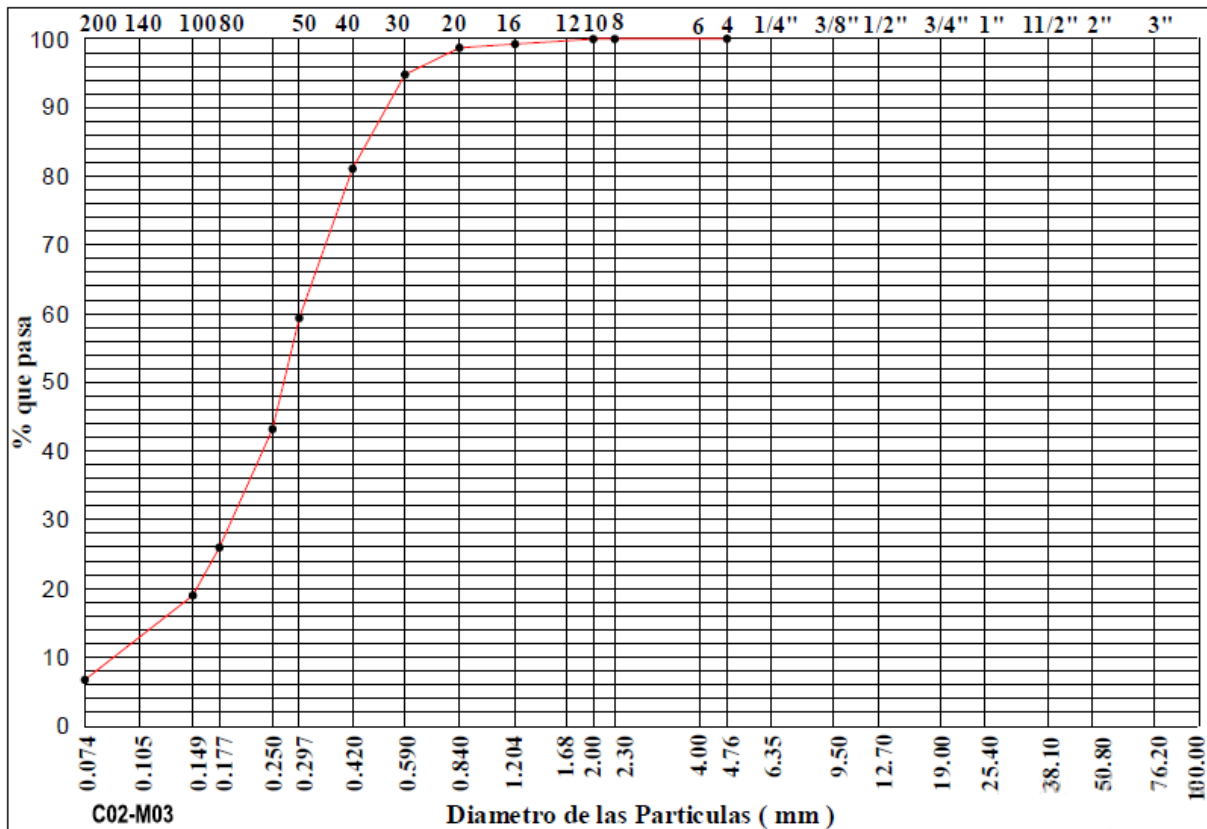
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  LL. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP CLASIFICACIÓN AASHTO = A-1-b I.G. = 0 Cc = 1.11 Cu = 2.73
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro, 4				100.00		
Nro, 8	1.42	0.12	0.12	99.88		
Nro, 10	5.38	0.46	0.58	99.42		
Nro, 16	58.99	5.01	5.59	94.41		
Nro, 20	185.05	15.73	21.32	78.68		
Nro, 30	347.62	29.54	50.86	49.14		
Nro, 40	259.11	22.02	72.88	27.12		
Nro, 50	165.45	14.06	86.94	13.06		
Nro, 60	70.77	6.01	92.95	7.05		
Nro 80	45.66	3.88	96.83	3.17		
Nro, 100	9.05	0.77	97.60	2.40		
Nro, 200	19.61	1.67	99.26	0.74		
PASA Nro. 200	8.65	0.74	100.00	0.00		
OBSERVACIONES :						
MATERIAL (gr)					17463	
AGREG. GRUESO (gr)					0 0.00%	
AGREG. FINO (gr)					17463 100.00%	
<b>TECNICA DEL CUARTEO</b>						
Fracción Humeda (gr)					1200.00	
Humedad (%)					1.97%	
Fracción Seca (gr)					1176.76	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEORISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 02  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 03  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 0.80m - 1.00m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP-SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 1.05 Cu = 4.51
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.31	0.03	0.03	99.97		
Nro. 10	0.13	0.01	0.04	99.96		
Nro. 16	7.71	0.72	0.76	99.24		
Nro. 20	5.86	0.55	1.31	98.69		
Nro. 30	41.91	3.90	5.21	94.79		
Nro. 40	147.10	13.70	18.91	81.09		
Nro. 50	233.50	21.75	40.66	59.34		
Nro. 60	173.40	16.15	56.81	43.19		
Nro. 80	185.15	17.25	74.06	25.94		
Nro. 100	74.88	6.98	81.04	18.96		
Nro. 200	131.83	12.28	93.32	6.68		
PASA Nro. 200	71.75	6.68	100.00	0.00		
OBSERVACIONES :						
MATERIAL (gr) 22490						
AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00%						
AGREG. FINO (gr) 22490 100.00%						
<b>TECNICA DEL CUARTEO</b>						
Fracción Humeda (gr) 1200.00						
Humedad (%) 11.78%						
Fracción Seca (gr) 1073.53						



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEORISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 02  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 04  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 1.00m - 1.30m.

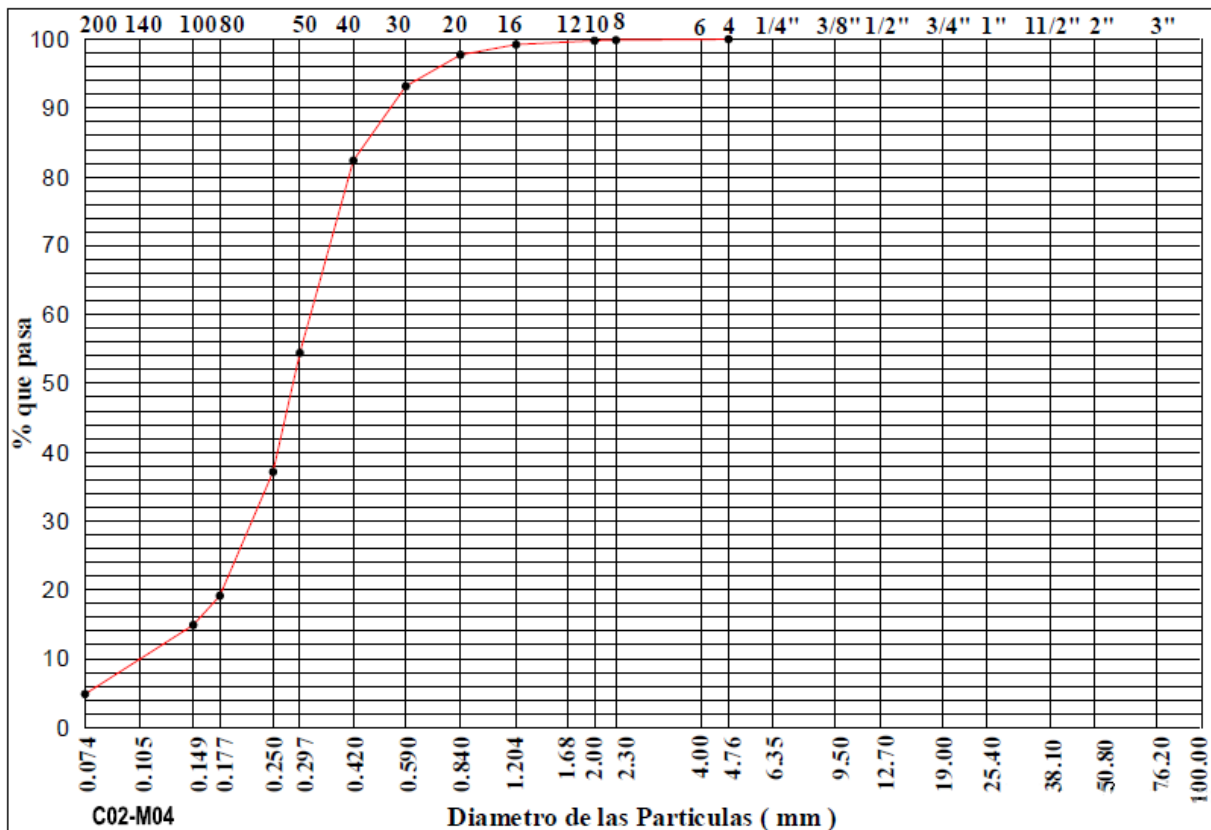
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 1.22 Cu = 4.04
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	1.35	0.12	0.12	99.88		
Nro. 10	0.95	0.09	0.21	99.79		
Nro. 16	6.17	0.56	0.77	99.23		
Nro. 20	16.52	1.50	2.26	97.74		
Nro. 30	50.34	4.56	6.82	93.18		
Nro. 40	119.44	10.81	17.63	82.37		
Nro. 50	308.74	27.95	45.58	54.42		
Nro. 60	190.86	17.28	62.85	37.15		
Nro. 80	198.97	18.01	80.86	19.14		
Nro. 100	46.92	4.25	85.11	14.89		
Nro. 200	110.85	10.03	95.14	4.86		
PASA Nro. 200	53.65	4.86	100.00	0.00		

OBSERVACIONES :		
MATERIAL (gr)	12817	
AGREG. GRUESO (gr)	0	0.00%
AGREG. FINO (gr)	12817	100.00%

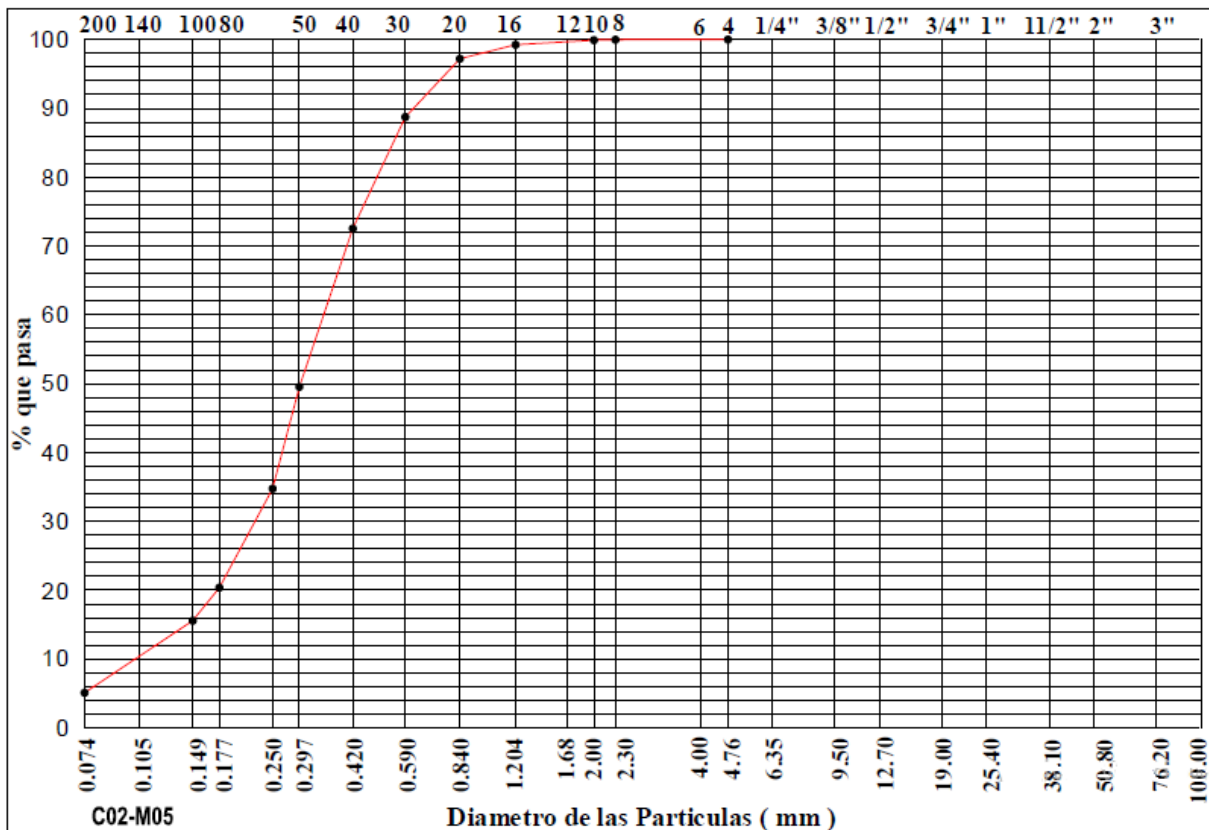
TECNICA DEL CUARTEO		
Fración Humeda (gr)	1200.00	
Humedad (%)	8.62%	
Fración Seca (gr)	1104.75	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOFISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 02  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 05  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 1.30m - 3.50m.

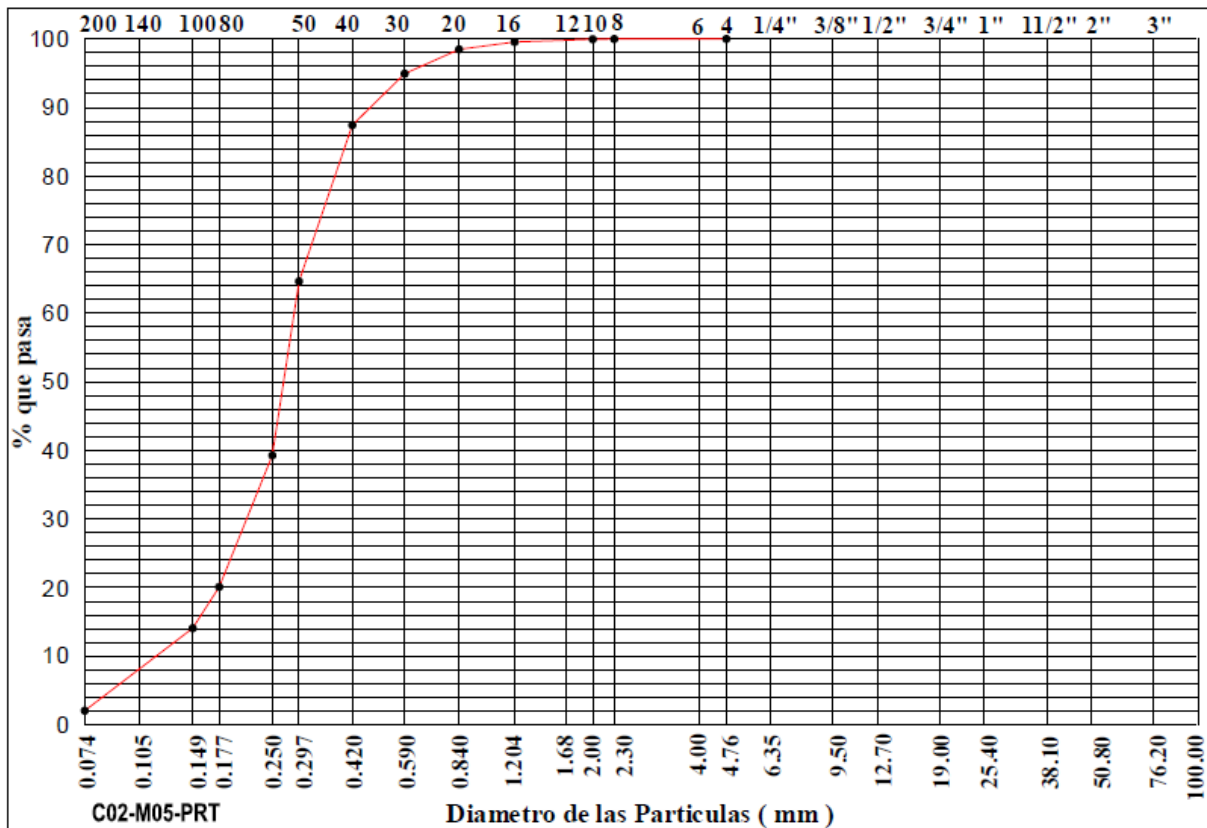
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = <b>SP-SM</b> CLASIFICACIÓN AASHTO = <b>A-2-4</b> I.G. = <b>0</b> Cc = <b>1.22</b> Cu = <b>4.56</b>
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.26	0.02	0.02	99.98		
Nro. 10	0.72	0.07	0.09	99.91		
Nro. 16	7.23	0.66	0.75	99.25		
Nro. 20	22.14	2.03	2.78	97.22	OBSERVACIONES :	
Nro. 30	92.70	8.48	11.26	88.74	MATERIAL (gr) 20795	
Nro. 40	177.07	16.20	27.47	72.53	AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00%	
Nro. 50	251.38	23.00	50.47	49.53	AGREG. FINO (gr) 20795 100.00%	
Nro. 60	161.59	14.79	65.26	34.74		
Nro. 80	157.16	14.38	79.64	20.36	<b>TECNICA DEL CUARTEO</b>	
Nro. 100	52.46	4.80	84.44	15.56	Fración Humeda (gr) 1200.00	
Nro. 200	114.38	10.47	94.91	5.09	Humedad (%) 9.82%	
PASA Nro. 200	55.64	5.09	100.00	0.00	Fración Seca (gr) 1092.73	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOFISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : CALICATA 02  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 05  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 1.30m - 3.50m.

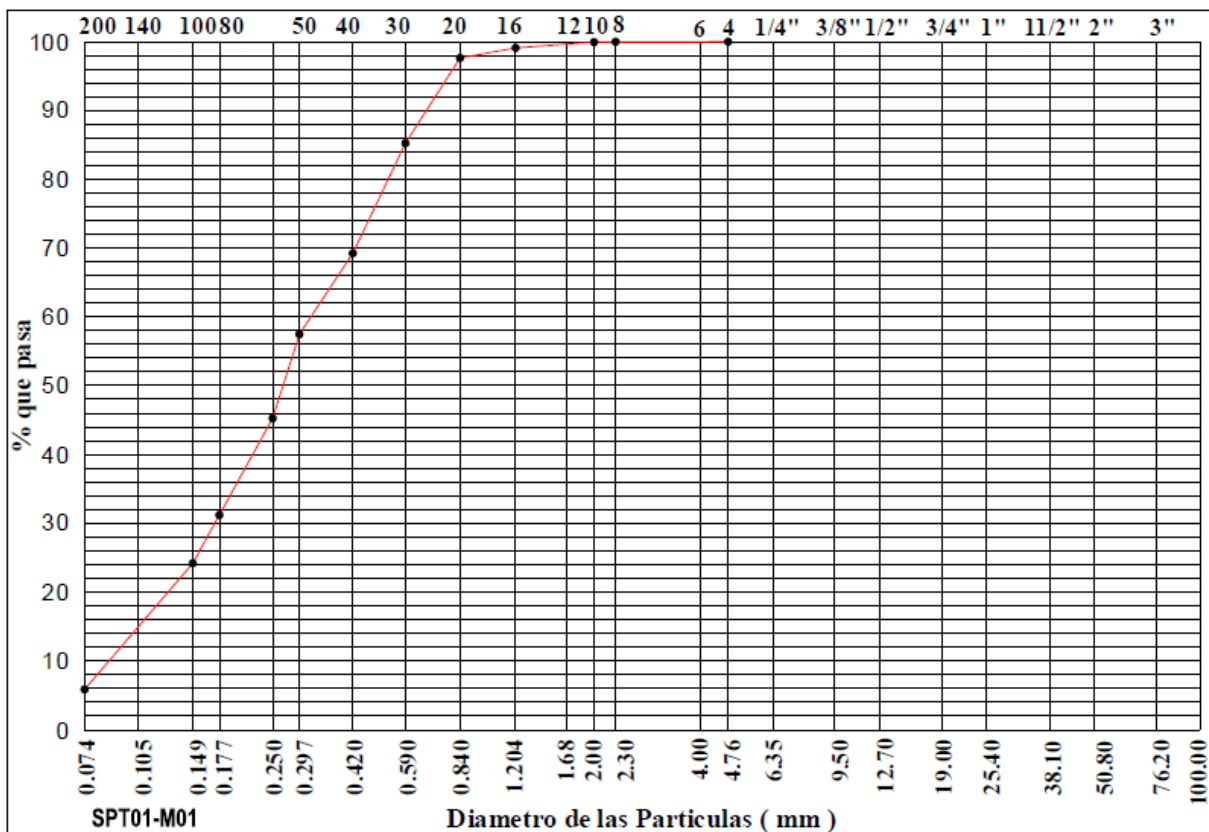
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 C <sub>c</sub> = 1.16 C <sub>u</sub> = 3.21
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.15	0.01	0.01	99.99		
Nro. 10	0.30	0.03	0.04	99.96		
Nro. 16	4.52	0.40	0.44	99.56		
Nro. 20	12.31	1.08	1.52	98.48		
Nro. 30	40.15	3.54	5.06	94.94		
Nro. 40	85.26	7.51	12.57	87.43		
Nro. 50	258.58	22.78	35.35	64.65		
Nro. 60	288.15	25.38	60.73	39.27		
Nro. 80	217.64	19.17	79.91	20.09		
Nro. 100	68.48	6.03	85.94	14.06		
Nro. 200	136.42	12.02	97.96	2.04		
PASA Nro. 200	23.20	2.04	100.00	0.00		
OBSERVACIONES :						
MATERIAL (gr)					2150	
AGREG. GRUESO (gr)					0      0.00%	
AGREG. FINO (gr)					2150      100.00%	
<b>TECNICA DEL CUARTEO</b>						
Fracción Humeda (gr)					1200.00	
Humedad (%)					5.71%	
Fracción Seca (gr)					1135.16	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOFISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : SPT 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 01  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 1.00m - 1.45m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TECNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP-SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 0.71 Cu = 5.02
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.13	0.01	0.01	99.99		
Nro. 10	0.40	0.04	0.05	99.95		
Nro. 16	8.49	0.85	0.90	99.10		
Nro. 20	14.64	1.47	2.37	97.63	OBSERVACIONES :	
Nro. 30	123.91	12.40	14.77	85.23	MATERIAL (gr) 2103	
Nro. 40	159.64	15.98	30.75	69.25	AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00%	
Nro. 50	117.42	11.75	42.51	57.49	AGREG. FINO (gr) 2103 100.00%	
Nro. 60	122.23	12.24	54.75	45.25		
Nro. 80	140.41	14.06	68.80	31.20	TECNICA DEL CUARTEO	
Nro. 100	70.10	7.02	75.82	24.18	Fración Humeda (gr) 1083.10	
Nro. 200	183.08	18.33	94.15	5.85	Humedad (%) 8.43%	
PASA Nro. 200	58.45	5.85	100.00	0.00	Fración Seca (gr) 998.90	





## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEORISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : SPT 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 02  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 2.00m - 2.45m.

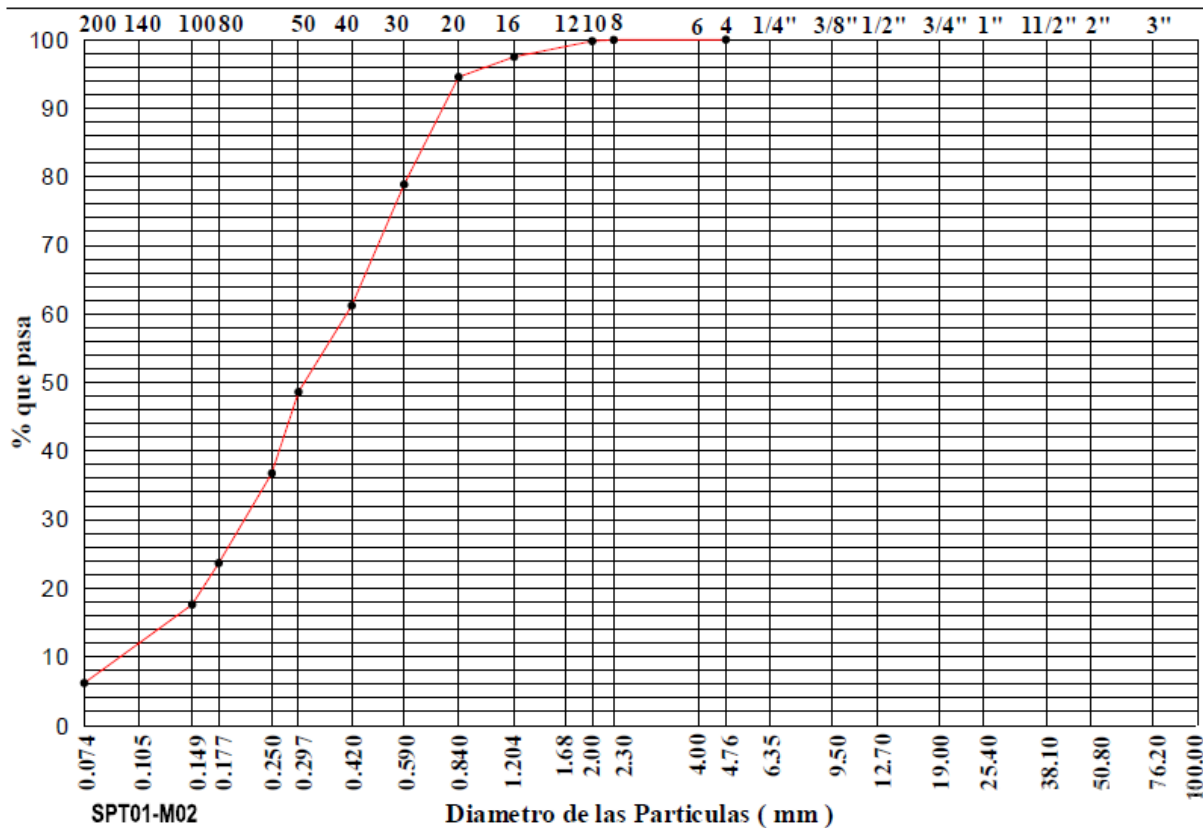
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP-SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 0.97 Cu = 5.79
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.36	0.04	0.04	99.96		
Nro. 10	1.61	0.18	0.22	99.78		
Nro. 16	20.59	2.31	2.54	97.46		
Nro. 20	25.97	2.92	5.45	94.55		
Nro. 30	139.58	15.68	21.14	78.86		
Nro. 40	157.14	17.66	38.80	61.20		
Nro. 50	112.08	12.59	51.39	48.61		
Nro. 60	105.56	11.86	63.25	36.75		
Nro. 80	116.64	13.11	76.36	23.64		
Nro. 100	53.77	6.04	82.40	17.60		
Nro. 200	101.75	11.43	93.84	6.16		
PASA Nro. 200	54.85	6.16	100.00	0.00		

OBSERVACIONES :		
MATERIAL (gr)	2510	
AGREG. GRUESO (gr)	0	0.00%
AGREG. FINO (gr)	2510	100.00%

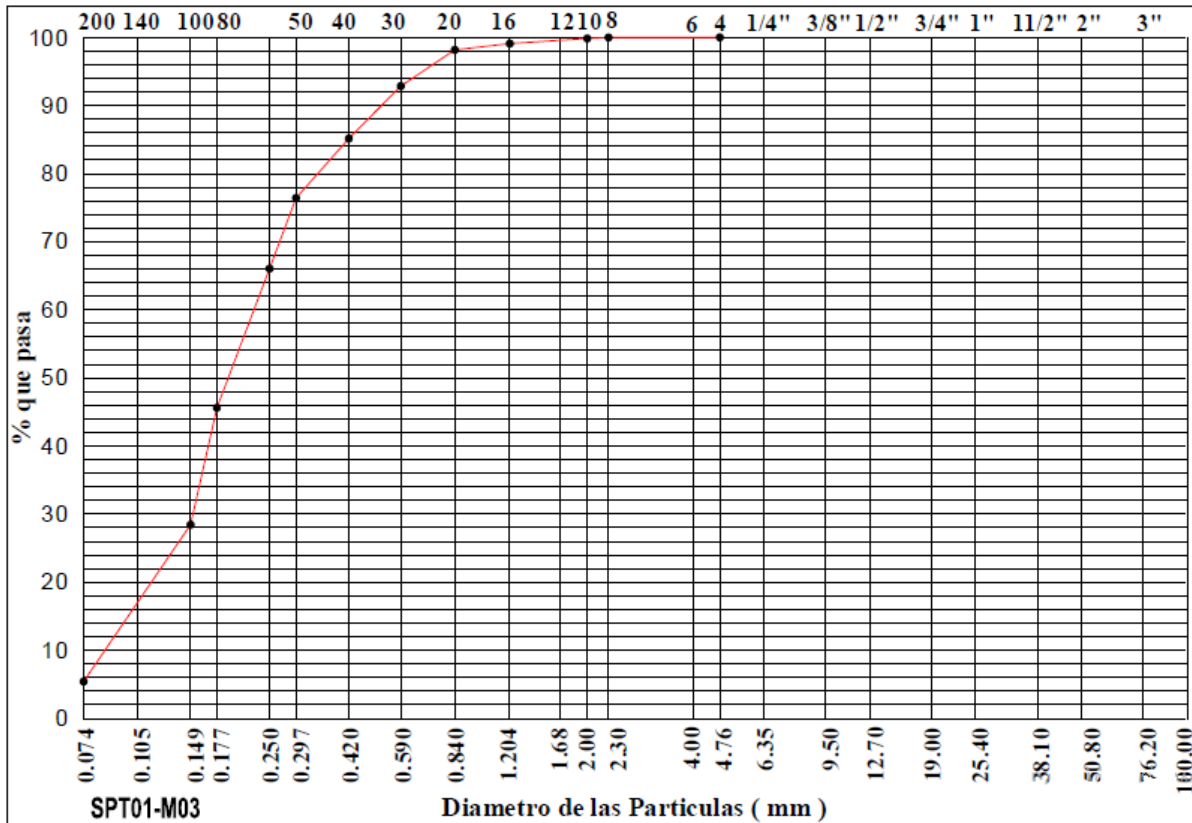
TECNICA DEL CUARTEO		
Fración Humeda (gr)	948.60	
Humedad (%)	6.60%	
Fración Seca (gr)	889.90	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEORISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : SPT 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 03  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 3.00m - 3.45m.

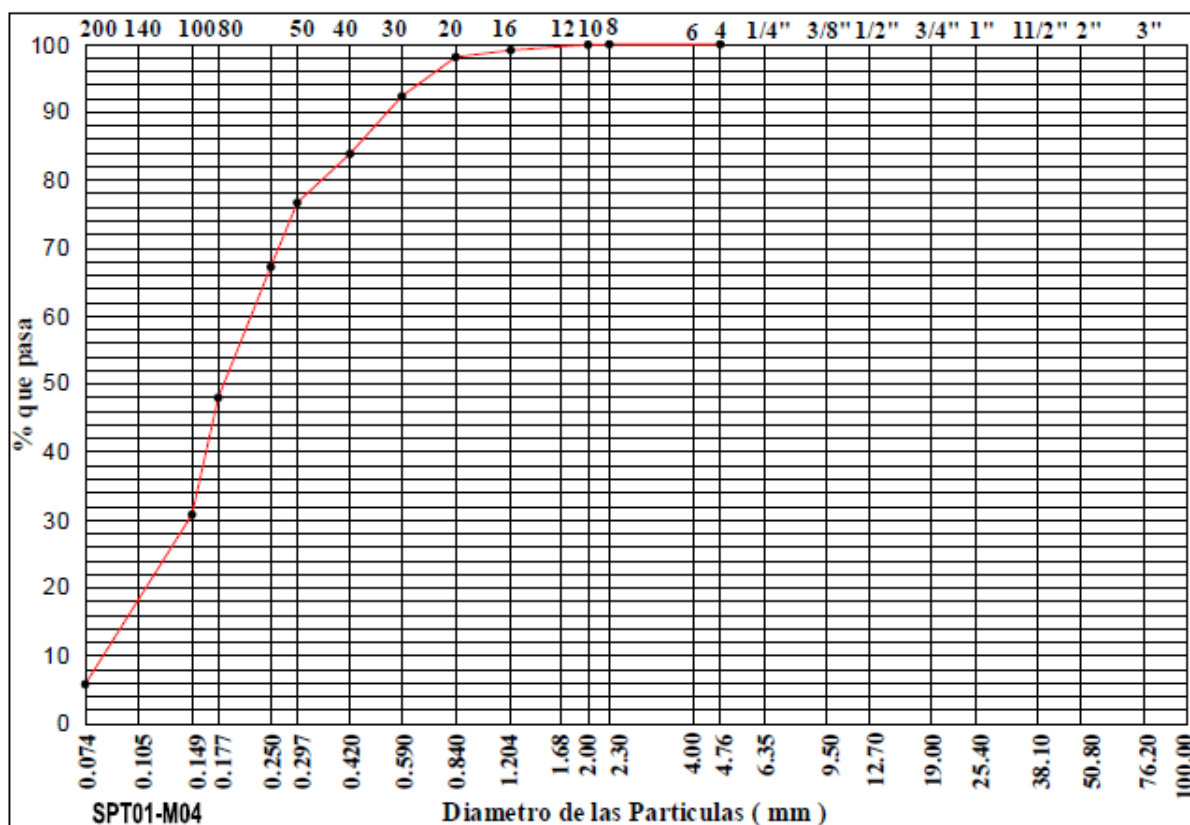
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP-SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 0.99 Cu = 2.94
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.22	0.03	0.03	99.97		
Nro. 10	1.06	0.14	0.17	99.83		
Nro. 16	5.69	0.75	0.92	99.08		
Nro. 20	7.00	0.92	1.84	98.16		
Nro. 30	40.30	5.32	7.16	92.84		
Nro. 40	58.40	7.71	14.87	85.13		
Nro. 50	66.10	8.72	23.59	76.41		
Nro. 60	78.45	10.35	33.95	66.05		
Nro 80	154.86	20.44	54.39	45.61		
Nro, 100	130.00	17.16	71.54	28.46		
Nro, 200	174.38	23.01	94.56	5.44		
PASA Nro. 200	41.24	5.44	100.00	0.00		
OBSERVACIONES :						
MATERIAL (gr) 2618						
AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00%						
AGREG. FINO (gr) 2618 100.00%						
<b>TECNICA DEL CUARTEO</b>						
Fracción Humeda (gr) 818.60						
Humedad (%) 8.04%						
Fracción Seca (gr) 757.70						



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEORISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : SPT 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 04  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 4.00m - 4.45m.

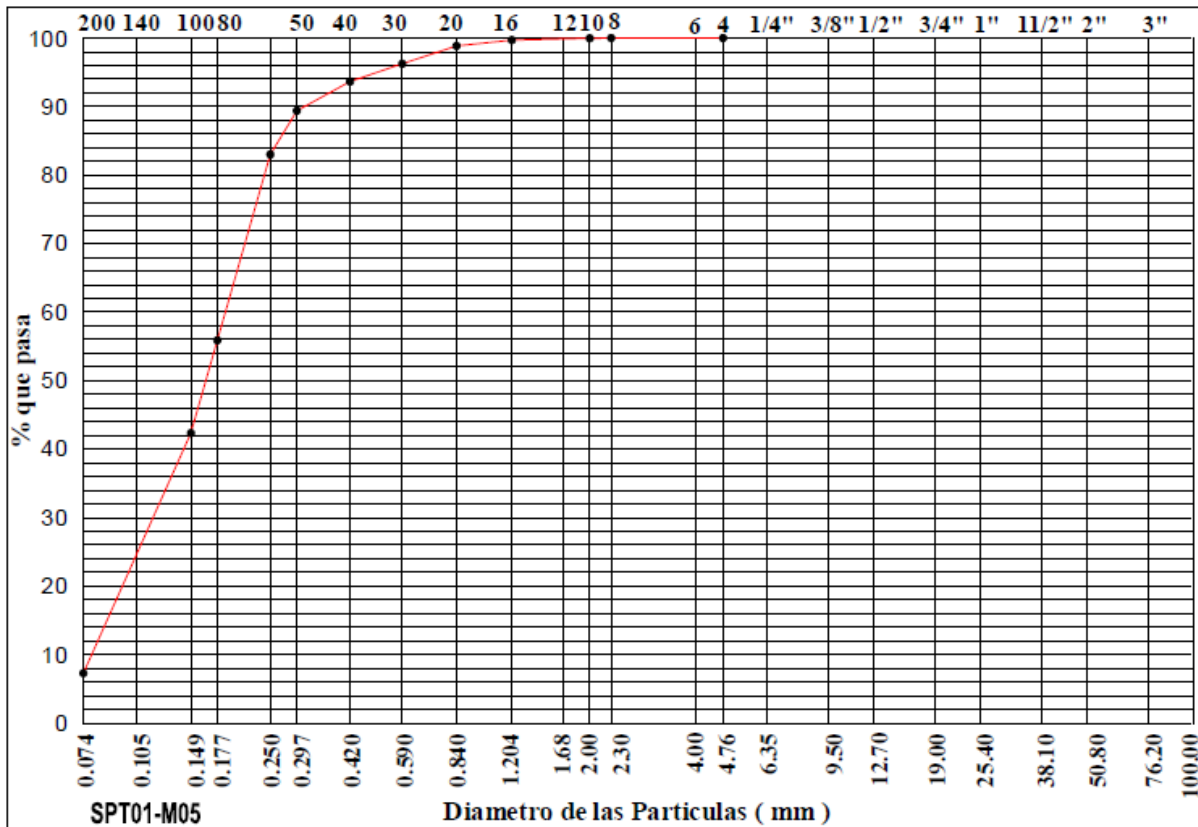
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP-SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 0.99 Cu = 2.91
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.07	0.01	0.01	99.99		
Nro. 10	0.53	0.06	0.07	99.93		
Nro. 16	6.85	0.80	0.87	99.13		
Nro. 20	8.51	1.00	1.87	98.13	OBSERVACIONES :	
Nro. 30	49.34	5.78	7.65	92.35	MATERIAL (gr) 2618	
Nro. 40	72.26	8.46	16.11	83.89	AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00%	
Nro. 50	61.42	7.19	23.30	76.70	AGREG. FINO (gr) 2618 100.00%	
Nro. 60	80.67	9.45	32.75	67.25		
Nro 80	164.23	19.23	51.98	48.02	TECNICA DEL CUARTEO	
Nro, 100	147.02	17.22	69.20	30.80	Fración Humeda (gr) 907.10	
Nro, 200	213.04	24.95	94.15	5.85	Humedad (%) 6.23%	
PASA Nro. 200	49.96	5.85	100.00	0.00	Fración Seca (gr) 853.90	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEORISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : SPT 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 05  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 5.00m - 5.45m.

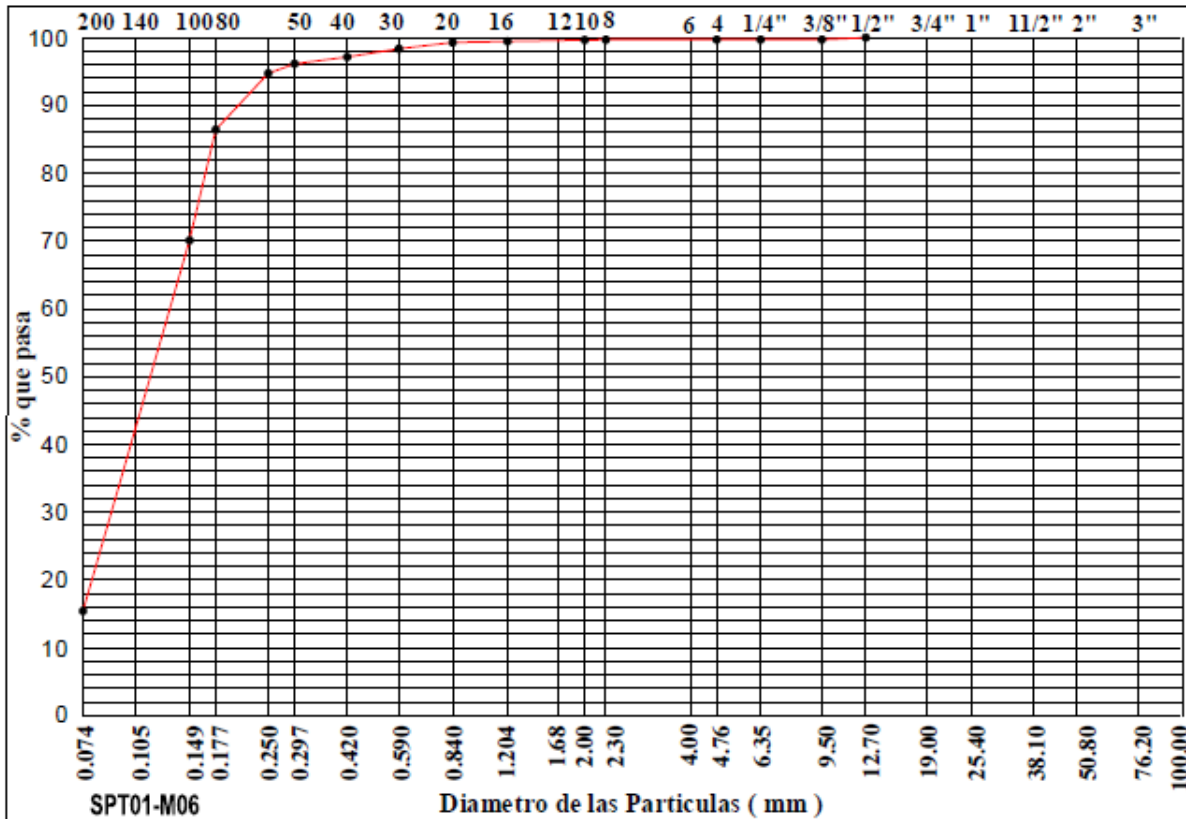
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	% ESPECIFICACION RETENIDO QUE TÉCNICAS			TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	
4"					DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = <b>SP-SM</b> CLASIFICACIÓN AASHTO = <b>A-2-4</b> I.G. = <b>0</b> C <sub>c</sub> = <b>0.96</b> C <sub>u</sub> = <b>2.45</b>
3"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
Nro. 4				100.00	
Nro. 8	0.00	0.00	0.00	100.00	OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 2715 AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00% AGREG. FINO (gr) 2715 100.00%  <b>TECNICA DEL CUARTEO</b> Fracción Humeda (gr) 778.90 Humedad (%) 11.05% Fracción Seca (gr) 701.40
Nro. 10	0.23	0.03	0.03	99.97	
Nro. 16	1.88	0.27	0.30	99.70	
Nro. 20	5.97	0.85	1.15	98.85	
Nro. 30	18.26	2.60	3.76	96.24	
Nro. 40	18.18	2.59	6.35	93.65	
Nro. 50	29.84	4.25	10.60	89.40	
Nro. 60	44.80	6.39	16.99	83.01	
Nro 80	190.24	27.12	44.11	55.89	
Nro, 100	94.98	13.54	57.65	42.35	
Nro, 200	245.80	35.04	92.70	7.30	
PASA Nro. 200	51.22	7.30	100.00	0.00	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOFISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : SPT 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 06  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 6.00m - 6.45m.

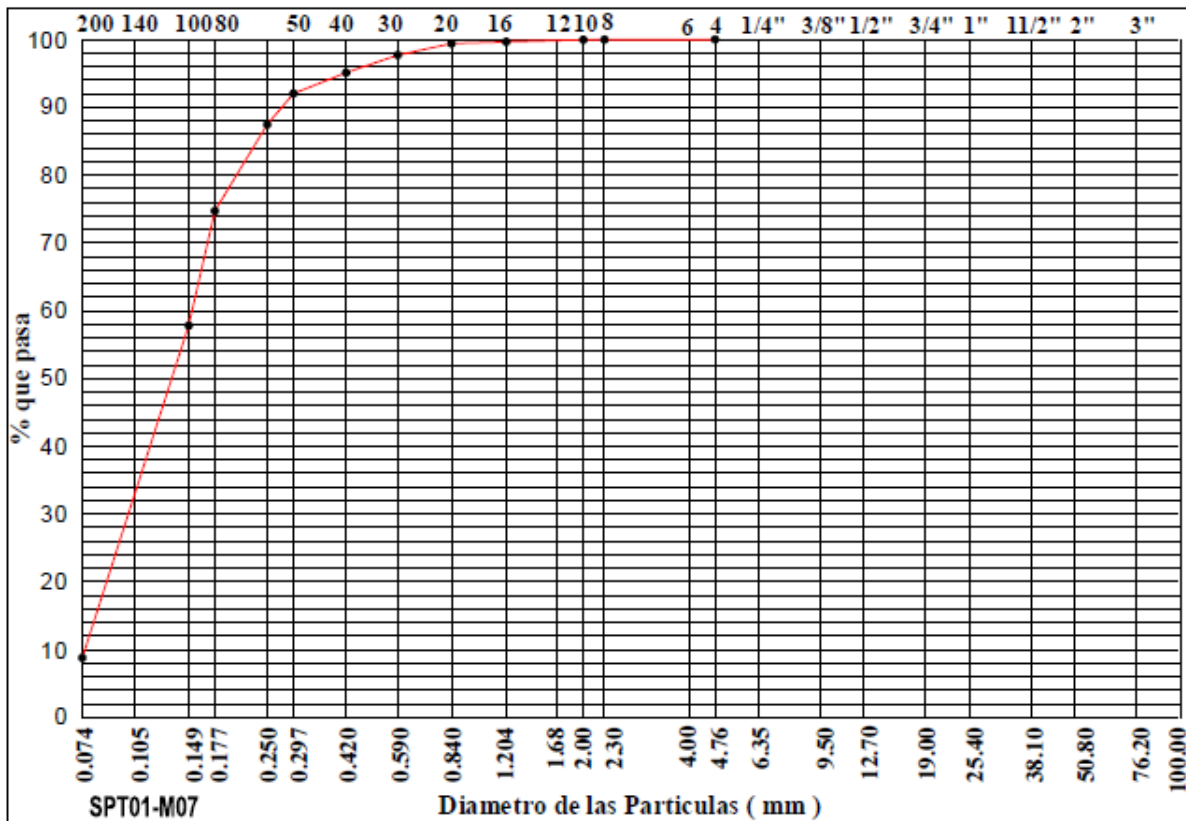
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	% ESPECIFICACION TÉCNICAS			TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	
4"					DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 0.98 Cu = 2.02
3"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"				100.00	
3/8"	2.40	0.31	0.31	99.69	
1/4"	0.00	0.00	0.31	99.69	
Nro. 4	0.00	0.00	0.31	99.69	
Nro. 8	0.13	0.02	0.33	99.67	OBSERVACIONES : MATERIAL (gr) 2452 AGREG. GRUESO (gr) 2 0.10% AGREG. FINO (gr) 2450 99.90%  TECNICA DEL CUARTEO Fracción Humeda (gr) 859.60 Humedad (%) 12.60% Fracción Seca (gr) 763.40
Nro. 10	0.26	0.03	0.37	99.63	
Nro. 16	1.54	0.20	0.57	99.43	
Nro. 20	1.23	0.16	0.73	99.27	
Nro. 30	7.07	0.93	1.65	98.35	
Nro. 40	9.24	1.21	2.86	97.14	
Nro. 50	7.74	1.01	3.88	96.12	
Nro. 60	10.77	1.41	5.29	94.71	
Nro 80	63.36	8.30	13.59	86.41	
Nro. 100	124.53	16.31	29.90	70.10	
Nro. 200	417.15	54.64	84.55	15.45	
PASA Nro. 200	117.98	15.45	100.00	0.00	



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOFISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : SPT 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACION : MUESTRA 07  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 7.00m - 7.45m.

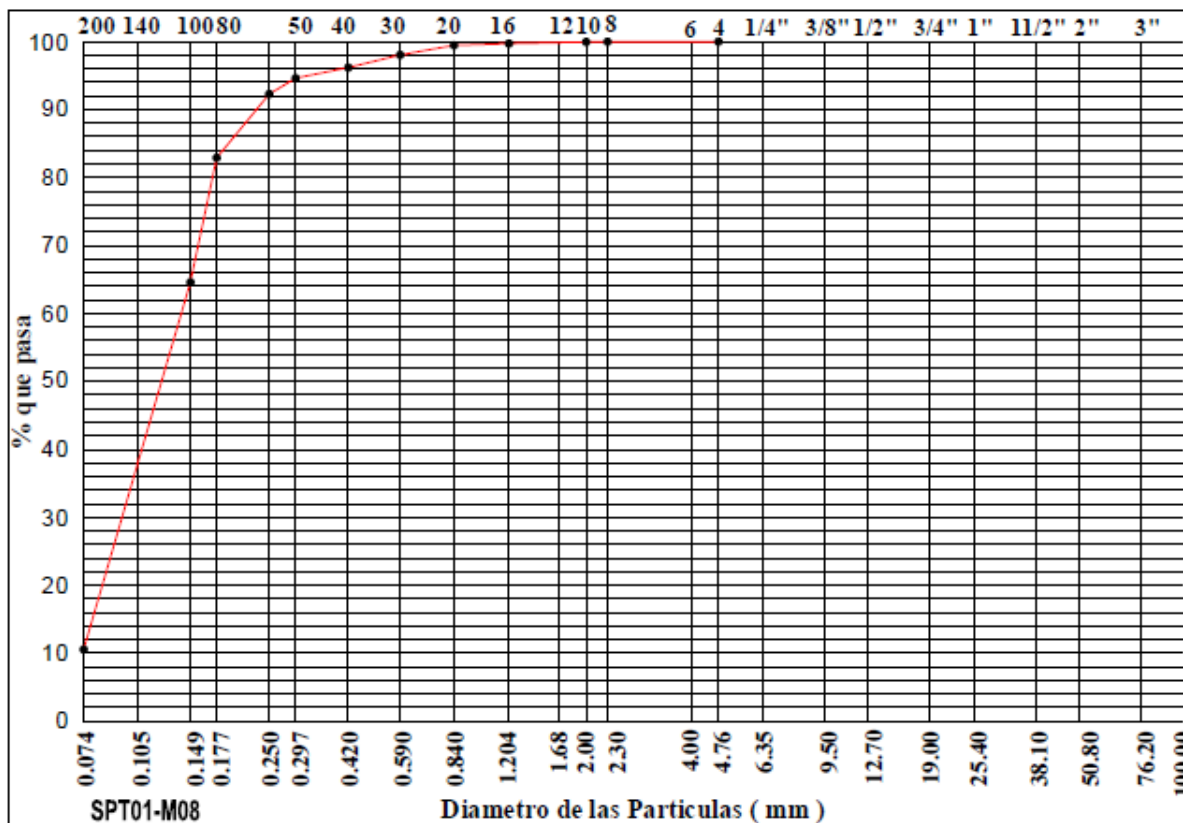
TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TECNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP-SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4 I.G. = 0 Cc = 0.98 Cu = 2.01
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.08	0.01	0.01	99.99		
Nro. 10	0.30	0.04	0.05	99.95		
Nro. 16	2.26	0.30	0.36	99.64		
Nro. 20	1.83	0.25	0.60	99.40		
Nro. 30	12.65	1.71	2.31	97.69		
Nro. 40	19.25	2.60	4.90	95.10		
Nro. 50	22.76	3.07	7.97	92.03		
Nro. 60	33.88	4.57	12.54	87.46		
Nro 80	94.55	12.75	25.29	74.71		
Nro, 100	125.31	16.90	42.19	57.81		
Nro, 200	363.33	48.99	91.18	8.82		
PASA Nro. 200	65.40	8.82	100.00	0.00		
OBSERVACIONES :						
MATERIAL (gr) 2452						
AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00%						
AGREG. FINO (gr) 2452 100.00%						
TECNICA DEL CUARTEO						
Fracción Humeda (gr) 799.50						
Humedad (%) 7.81%						
Fracción Seca (gr) 741.60						



## GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NORMA ASTM D 422

PROYECTO : ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOFISICA COMPLEMENTARIOS DE MATERIAL : SPT 01  
 TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14 UBICACIÓN : MUESTRA 08  
 SOLICITA : INSPECTRA SA FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018  
 REALIZADO : ING. MARCO ANTONIO HERNANDEZ AGUILAR PROFUNDIDAD : 8.00m - 8.45m.

TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO	%			ESPECIFICACION TÉCNICAS	TAMAÑO MÁXIMO
		RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA		
4"					DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA  L.L. = NP L.P. = NP I.P. = NP CLASIFICACIÓN S.U.C.S. = SP-SM CLASIFICACIÓN AASHTO = A-2-4  I.G. = 0 Cc = 0.98 Cu = 1.96	
3"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
1/4"						
Nro. 4				100.00		
Nro. 8	0.21	0.03	0.03	99.97		
Nro. 10	0.19	0.02	0.05	99.95		
Nro. 16	1.86	0.24	0.29	99.71		
Nro. 20	2.03	0.26	0.55	99.45		
Nro. 30	11.05	1.42	1.96	98.04		
Nro. 40	14.52	1.86	3.82	96.18		
Nro. 50	12.16	1.56	5.38	94.62		
Nro. 60	18.30	2.34	7.73	92.27		
Nro. 80	73.24	9.38	17.11	82.89		
Nro. 100	142.84	18.30	35.40	64.60		
Nro. 200	421.73	54.02	89.42	10.58		
PASA Nro. 200	82.57	10.58	100.00	0.00		
OBSERVACIONES :						
MATERIAL (gr) 2452						
AGREG. GRUESO (gr) 0 0.00%						
AGREG. FINO (gr) 2452 100.00%						
<b>TECNICA DEL CUARTEO</b>						
Fracción Humeda (gr) 888.20						
Humedad (%) 13.77%						
Fracción Seca (gr) 780.70						



Contenido de humedad, Norma ASTM D – 2216

**PROYECTO : Estudio y geofísicos complementario de Terminal Chimbote - TK14**

**SOLICITA : Inspectra SA**

**Realizado : Ing. Marco Antonio Hernandez Aguilar**

**Fecha : Noviembre del 2018**

**Material : Calicata 1**

CONTENIDO DE HUMEDAD		CALICATA 1-MUESTRA 1		CALICATA 1-MUESTRA 2	
		PROFUNDIDAD : 0.00m - 0.30 m.		PROFUNDIDAD : 0.30m - 0.70 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO	D	I	W	F
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO gr .	143.93	138.20	158.73	160.88
3	RECIPIENTE + SUELO SECO gr .	137.01	131.78	145.32	146.37
4	AGUA gr .	6.92	6.42	13.41	14.51
5	PESO DEL RECIPIENTE gr .	39.49	39.62	42.36	33.95
6	PESO DEL SUELO SECO gr .	97.52	92.16	102.96	112.42
7	HUMEDAD IN - SITU %	7.10%	6.97%	13.02%	12.91%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD %	7.03%		12.97%	



**Contenido de humedad, Norma ASTM D – 2216****PROYECTO : Estudio y geofísicos complementario de Terminal Chimbote - TK14****SOLICITA : Inspectra SA****Realizado : Ing. Marco Antonio Hernandez Aguilar****Fecha : Noviembre del 2018****Material : Calicata 2**

CONTENIDO DE HUMEDAD			CALICATA 2-MUESTRA 1		CALICATA 2-MUESTRA 2	
			PROFUNDIDAD : 0.00m - 0.30 m.		PROFUNDIDAD : 0.30m - 0.80 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO		52	68	3	50
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr .	193.61	203.71	177.98	176.96
3	RECIPIENTE + SUELO SECO	gr .	192.40	202.21	175.34	173.88
4	AGUA	gr .	1.21	1.50	2.64	3.08
5	PESO DEL RECIPIENTE	gr .	29.46	39.41	30.82	28.80
6	PESO DEL SUELO SECO	gr .	162.94	162.80	144.52	145.08
7	HUMEDAD IN - SITU	%	0.74%	0.92%	1.83%	2.12%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD	%	0.83%		1.97%	

CONTENIDO DE HUMEDAD			CALICATA 2-MUESTRA 3		CALICATA 2-MUESTRA 4	
			PROFUNDIDAD : 0.80m - 1.00 m.		PROFUNDIDAD : 1.00m - 1.30 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO		60	W	I	Z
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr .	151.04	175.24	165.17	179.83
3	RECIPIENTE + SUELO SECO	gr .	137.99	161.84	155.36	168.71
4	AGUA	gr .	13.05	13.40	9.81	11.12
5	PESO DEL RECIPIENTE	gr .	32.28	42.37	39.60	41.89
6	PESO DEL SUELO SECO	gr .	105.71	119.47	115.76	126.82
7	HUMEDAD IN - SITU	%	12.35%	11.22%	8.47%	8.77%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD	%	11.78%		8.62%	

CONTENIDO DE HUMEDAD			CALICATA 2-MUESTRA 5	
			PROFUNDIDAD : 1.30m - 3.50 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO		67	M
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr .	162.89	161.45
3	RECIPIENTE + SUELO SECO	gr .	151.84	151.16
4	AGUA	gr .	11.05	10.29
5	PESO DEL RECIPIENTE	gr .	40.73	44.94
6	PESO DEL SUELO SECO	gr .	111.11	106.22
7	HUMEDAD IN - SITU	%	9.95%	9.69%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD	%	9.82%	

**Contenido de humedad, Norma ASTM D – 2216**

**PROYECTO : Estudio y geofísicos complementario de Terminal Chimbote - TK14**

**SOLICITA : Inspectra SA**

**Realizado : Ing. Marco Antonio Hernandez Aguilar**

**Fecha : Noviembre del 2018**

**Material : STP 1**

CONTENIDO DE HUMEDAD			SPT01-MUESTRA 01		SPT01-MUESTRA 02	
			PROFUNDIDAD : 1.00m - 1.45 m.		PROFUNDIDAD : 2.00m - 2.45 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO		5	56	40	3
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr .	142.24	129.43	128.47	141.29
3	RECIPIENTE + SUELO SECO	gr .	124.81	114.13	112.01	121.90
4	AGUA	gr .	17.43	15.30	16.46	19.39
5	PESO DEL RECIPIENTE	gr .	31.28	30.68	30.02	30.80
6	PESO DEL SUELO SECO	gr .	93.53	83.45	81.99	91.10
7	HUMEDAD IN - SITU	%	18.64%	18.33%	20.08%	21.28%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD	%	18.49%		20.68%	

CONTENIDO DE HUMEDAD			SPT01-MUESTRA 03		SPT01-MUESTRA 04	
			PROFUNDIDAD : 3.00m - 3.45 m.		PROFUNDIDAD : 4.00m - 4.45 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO		45	51	50	52
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr .	122.52	126.78	126.65	123.71
3	RECIPIENTE + SUELO SECO	gr .	106.43	110.40	116.01	113.55
4	AGUA	gr .	16.09	16.38	10.64	10.16
5	PESO DEL RECIPIENTE	gr .	28.21	30.55	28.79	29.46
6	PESO DEL SUELO SECO	gr .	78.22	79.85	87.22	84.09
7	HUMEDAD IN - SITU	%	20.57%	20.51%	12.20%	12.08%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD	%	20.54%		12.14%	

CONTENIDO DE HUMEDAD			SPT01-MUESTRA 05		SPT01-MUESTRA 06	
			PROFUNDIDAD : 5.00m - 5.45 m.		PROFUNDIDAD : 6.00m - 6.45 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO		214	120	16	6
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr .	130.00	119.38	123.65	122.74
3	RECIPIENTE + SUELO SECO	gr .	109.35	100.21	102.75	102.75
4	AGUA	gr .	20.65	19.17	20.90	19.99
5	PESO DEL RECIPIENTE	gr .	17.97	16.14	15.72	15.82
6	PESO DEL SUELO SECO	gr .	91.38	84.07	87.03	86.93
7	HUMEDAD IN - SITU	%	22.60%	22.80%	24.01%	23.00%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD	%	22.70%		23.51%	

CONTENIDO DE HUMEDAD			SPT01-MUESTRA 07		SPT01-MUESTRA 08	
			PROFUNDIDAD : 7.00m - 7.45 m.		PROFUNDIDAD : 8.00m - 8.45 m.	
1	RECIPIENTE NUMERO		32	11	40	51
2	RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr .	108.99	117.43	114.61	120.91
3	RECIPIENTE + SUELO SECO	gr .	96.30	103.39	98.70	104.05
4	AGUA	gr .	12.69	14.04	15.91	16.86
5	PESO DEL RECIPIENTE	gr .	15.45	16.61	30.04	30.56
6	PESO DEL SUELO SECO	gr .	80.85	86.78	68.66	73.49
7	HUMEDAD IN - SITU	%	15.70%	16.18%	23.17%	22.94%
8	PROMEDIO DE HUMEDAD	%	15.94%		23.06%	



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 038209

**ANÁLISIS DE SUELO - SALES**

SOLICITANTE : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES SAC  
 PROYECTO : ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL TERMINAL -CHIMBOTE  
 PROCEDENCIA : Suelo de Chimbote - (terminal del Perú)  
 RESP. ANALISIS : Ing. Nelson Guerreros Pardo  
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 29 de noviembre de 2018

N° Lab.	N° Campo	SST (ppm)	CL (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	pH
38209	tanque 14 Calicata 02 Prof. 1,30 - 3,50 m.	2055.00	132.01	709.53	7.87

**Métodos**

Sales Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.152 - 2002

Cloruro Soluble: Determ. de cloruros solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.177 - 2002

Sulfato Soluble: Determ. de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.178 - 2002

pH: Método Potenciométrico



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado  
 JEFE DE LABORATORIO



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 002670

**ANÁLISIS DE AGUA - SALES**

SOLICITANTE : GEOMASTER INGENIEROS CONSULTORES SAC  
 PROYECTO : ESTUDIO GEOTECNICO DEL TERMINAL - CHIMBOTE  
 UBICACIÓN : Agua de Chimbote  
 RESP. ANALISIS : Ing. Nelson Guerrero Pardo  
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 07 de diciembre de 2018

N° Lab.	N° Campo	SST (mg/L)	CL (mg/L)	SO <sup>4</sup> (mg/L)	pH
2670	Calicata 01 tanque 14 N.F. 0.70 m.	6370.00	803.08	1299.80	7.00

Métodos

Sales Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.152 - 2002

Cloruro Soluble: Determ. de cloruros solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.177 - 2002

Sulfato Soluble: Determ. de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.178 - 2002

pH: Método Potenciométrico



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miguel A. Sánchez Delgado  
 JEFE DE LABORATORIO

*Handwritten signature and name: FREYCCY*



Ingenieros Consultores  
 Urb. Los Jardines de Surco Mesa G - Lote 05  
 Calle Melchor Pilamayo  
 Santiago de Surco

**GEOMASTER S.A.C.**

Tel: 011-272222 - Cel: 011-995221000  
 RUC: 4017653 geomaster@sac.com

## ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557

PROYECTO : EVALUACION GEOTECNICA DEL TANQUE 14

UBICACIÓN : TERMINAL CHIMBOTE

MATERIAL : CALICATA 01 (0.80m - 1.20m)

REALIZADO : GEO MASTER SAC

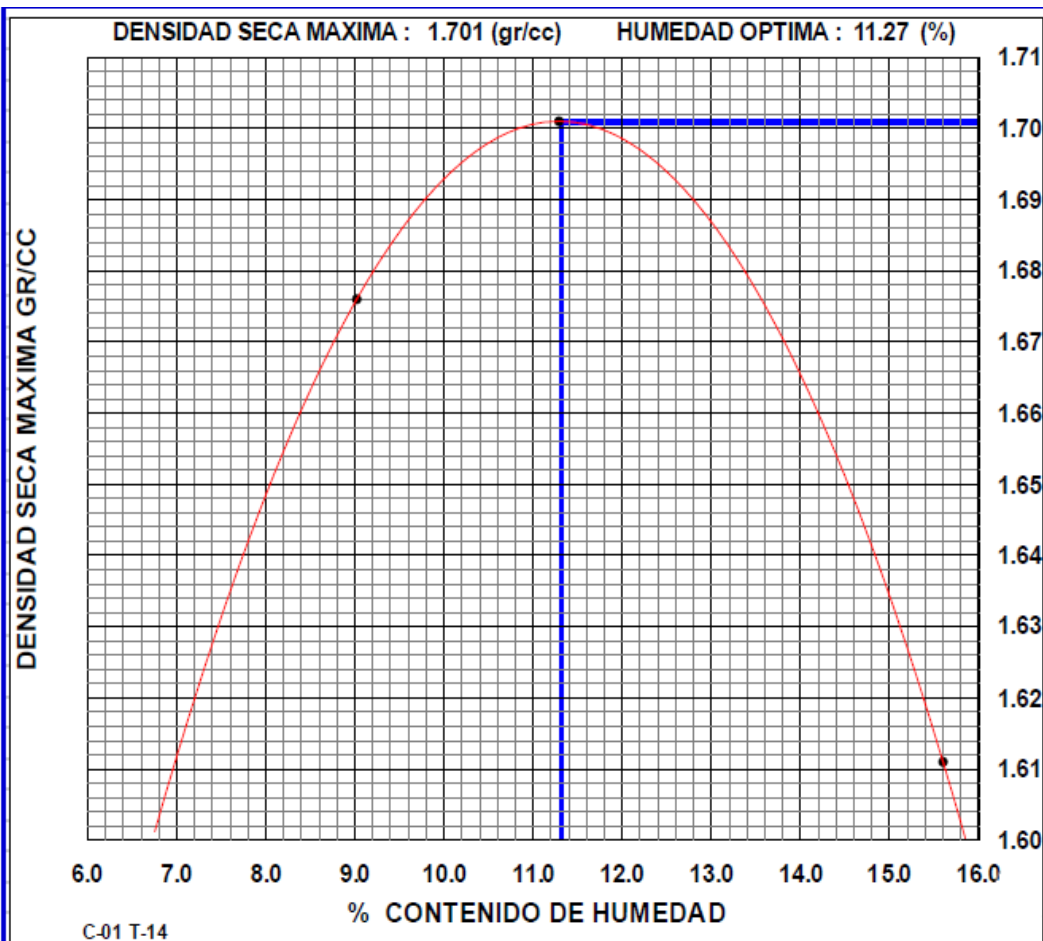
SOLICITA : INSPECTRA SA

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018

GOLPES / CAPA : 56	Nº DE CAPAS : 5	PESO DEL MARTILLO : 10 Lb
DIMENSION DEL MOLDE : DIAM. 8 PULGADAS	PESO : 6430	VOL : 229 CM <sup>3</sup>

DENSIDAD		1	2	3
DETERMINACION Nº				
PESO DEL MOLDE + SUELO HUMEDO	gr.	10320	10460	10394
PESO DEL MOLDE	gr.	6430	6430	6430
PESO NETO DEL SUELO HUMEDO	gr.	3890	4030	3964
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2129	2129	2129
DENSIDAD HUMEDAD	gr/cc.	1.827	1.893	1.862
DENSIDAD SECA	gr/cc.	1.676	1.701	1.611

HUMEDAD		214	32	6	11	16	120
RECIPIENTE Nº							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	18.05	15.47	15.96	16.63	15.82	16.21
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	gr.	118.91	126.03	131.38	132.52	145.41	131.85
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	gr.	110.50	116.97	119.90	120.53	127.74	116.41
PESO DEL AGUA	gr.	8.41	9.06	11.48	11.99	17.67	15.44
PESO NETO DEL SUELO SECO	gr.	92.45	101.50	103.94	103.90	111.92	100.20
(%) DE HUMEDAD		9.10%	8.93%	11.04%	11.54%	15.79%	15.41%
% PROMEDIO DE HUMEDAD		9.02%		11.29%		15.60%	





Ingenieros Consultores  
 Of. Los Jardines de Surco, Vía 6 - Luján 05  
 Calle Maestro Placero  
 Santiago de Surco

**GEOMASTER S.A.C.**

Tel: 01-875288 - Cel: 011-9829180  
 RNM 48752 - gerencia@geomaster.com

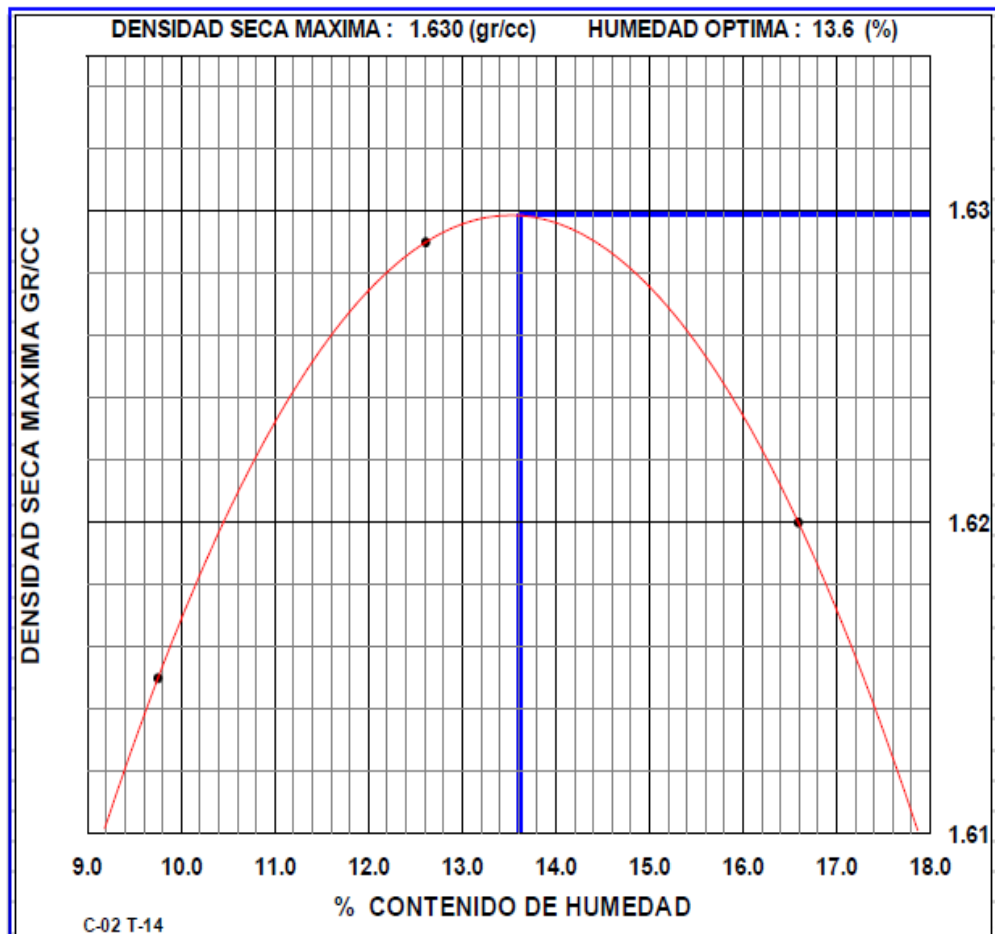
## ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557

PROYECTO : EVALUACION GEOTECNICA DEL TANQUE 14      UBICACIÓN : TERMINAL CHIMBOTE  
 MATERIAL : CALICATA 02 (0.80m - 1.20m)      REALIZADO : GEO MASTER SAC  
 SOLICITA : INSPECTRA SA      FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018

GOLPES / CAPA : 56      Nº DE CAPAS : 5      PESO DEL MARTILLO : 10 Lb  
 DIMENSION DEL MOLDE : DIAM. 6 PULGADAS      PESO : 6430      VOL. : 2'229 CM<sup>3</sup>

DENSIDAD		1	2	3
DETERMINACION Nº		1	2	3
PESO DEL MOLDE + SUELO HUMEDO	gr.	10204	10335	10451
PESO DEL MOLDE	gr.	6430	6430	6430
PESO NETO DEL SUELO HUMEDO	gr.	3774	3905	4021
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2129	2129	2129
DENSIDAD HUMEDAD	gr/cc.	1.773	1.834	1.889
DENSIDAD SECA	gr/cc.	1.615	1.629	1.620

HUMEDAD		70	W	F	72	I	61
RECIPIENTE Nº		70	W	F	72	I	61
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	40.91	42.38	33.94	40.59	39.61	32.38
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	gr.	173.67	177.79	168.92	184.21	174.83	160.46
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	gr.	161.86	165.78	153.51	168.46	155.80	142.05
PESO DEL AGUA	gr.	11.81	12.01	15.41	15.75	19.03	18.41
PESO NETO DEL SUELO SECO	gr.	120.95	123.40	119.57	127.87	116.19	109.67
(%) DE HUMEDAD		9.76%	9.73%	12.89%	12.32%	16.38%	16.79%
% PROMEDIO DE HUMEDAD		9.75%		12.61%		16.59%	



ASTM D 1883		ENSAYO DE C.B.R.					
PROYECTO : <u>EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TANQUE H.</u>			MATERIAL : <u>TANQUE H - CALCATA C-01</u>				
UBICACIÓN : <u>CHMROTE - ANCASH</u>			SOLICITA : <u>INSPECTRA SA</u>				
FECHA : <u>NOVIEMBRE DEL 2018</u>			REALIZADO : <u>GEO MASTER SAC</u>				
DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD							
MOLDE No	35		7		1		
CAPAS No	5		5		5		
GOLPES POR CAPA No	56		25		12		
COND. DE LA MUESTRA	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	
PESO MOLDE SUELO HUMEDO	11783		10760		12535		
PESO DEL MOLDE gr.	7763		6780		8662		
PESO DEL SUELO HUMEDO gr.	4020		3980		3873		
VOLUMEN DEL MOLDE c.c.	2137		2119		2101		
DENSIDAD HUMEDAD gr/cc.	1.881		1.878		1.843		
% DE HUMEDAD	11.16%		12.70%		12.33%		
DENSIDAD SECA	1.692		1.667		1.641		
CONTENIDO DE HUMEDAD MUESTRA DE	ABAJO	ARRIBA	Wfinal	ABAJO	ARRIBA	Wfinal	
TARRO No	52	40		3	54		
TARRO SUELO HUMEDO gr.	133.18	127.97		123.49	111.9		
TARRO SUELO SECO gr.	122.86	118.05		112.89	102.95		
AGUA gr.	10.32	9.92		10.60	8.95		
PESO DEL TARRO gr.	29.48	30.07		30.81	31.31		
PESO DEL SUELO SECO	93.38	87.98		82.08	71.64		
% DE HUMEDAD	11.05%	11.28%		12.91%	12.49%		
PROMEDIO DE HUMEDAD %	11.16%			12.70%			

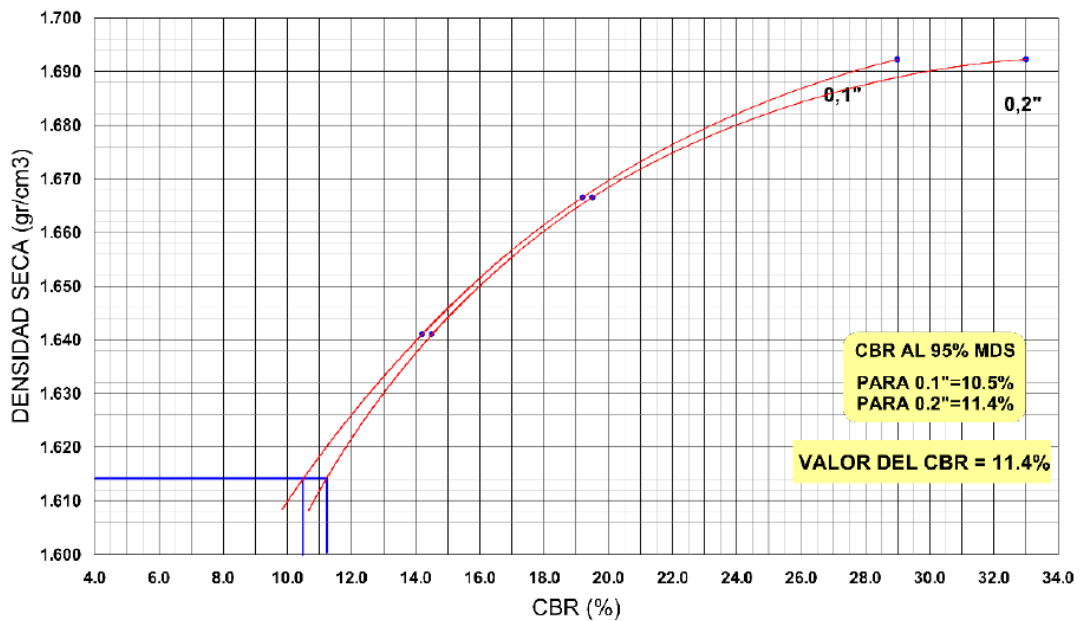
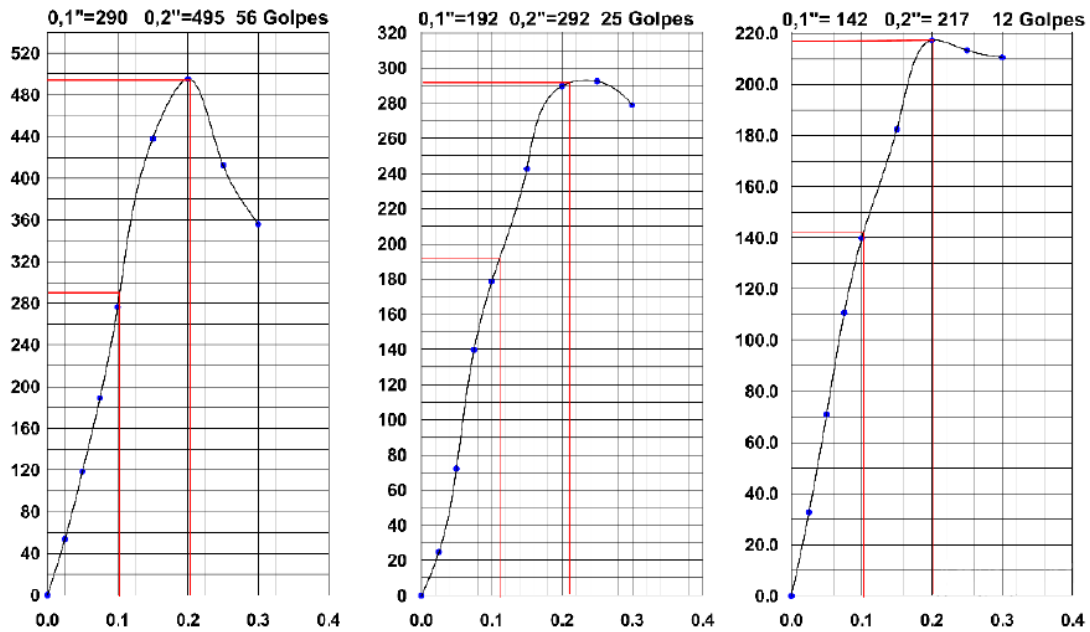
ENSAYO DE EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
					0			0			0

ENSAYO DE CBR														
Minuto	Penetración m.m.	TANDAR Lb/pulg <sup>2</sup>	MOLDE Nro 35				MOLDE Nro 7				MOLDE Nro 1			
			LECTURA DIAL	Fuerza Lb	PRESION Lb/pulg <sup>2</sup>	CBR %	LECTURA DIAL	Fuerza Lb	PRESION Lb/pulg <sup>2</sup>	CBR %	LECTURA DIAL	Fuerza Lb	PRESION Lb/pulg <sup>2</sup>	CBR %
0.5	0.63		0.041	72.87	53.79		0.019	33.70	24.88		0.025	44.37	32.75	
1	1.27		0.09	160.66	118.60		0.055	97.88	72.26		0.054	96.09	70.94	
1.5	1.9		0.143	256.30	189.20		0.106	189.46	139.86		0.084	149.87	110.64	
2	2.54	1000	0.208	374.34	276.34	27.6%	0.135	241.82	178.51	17.9%	0.106	189.46	139.86	14.0%
3	3.51		0.328	593.63	438.22		0.183	328.85	242.76		0.138	247.25	182.52	
4	5.05	1500	0.37	670.63	495.06	33.0%	0.218	392.55	289.78	19.3%	0.164	294.35	217.29	14.5%
5	6.35		0.309	558.83	412.53		0.22	396.20	292.48		0.161	288.91	213.28	
6	7.62		0.267	481.99	355.81		0.21	377.98	279.02		0.159	285.29	210.60	

LABORATORISTA
OBSERVACIONES

**PROYECTO : ESTUDIO DE SUELOS COMPLEMENTARIOS DEL TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14**  
**REALIZADO : MSc MARCO A. HERNANDEZ AGUILAR**  
**SOLICITA : INSPECTRA SA**  
**MATERIAL : CALICATA 01 0.30 - 3.50m.**  
**FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018**

**VALOR RELATIVO DE SOPORTE, C.B.R.**  
**METODO ASTM D - 1883**





ASTM D 1883		ENSAYO DE C.B.R.												
PROYECTO :EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TANQUE H.		MATERIAL :TANQUE H - CALCATA C-02												
UBICACIÓN CHIMBOTE - ANCASH		SOLICITA :INSPECTRA SA												
FECHA :NOVIEMBRE DEL 2018.		REALIZADO :GEO MASTER SAC												
DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD														
MOLDE No	15			3			22							
CAPAS No	5			5			5							
GOLPES POR CAPA No	56			25			12							
COND. DE LA MUESTRA	SIN SUMERGR		SUMERGIDO		SIN SUMERGR		SUMERGIDO		SIN SUMERGR		SUMERGIDO			
PESO MOLDE SUELO HUMEDO	11650			10900			12605							
PESO DEL MOLDE	gr.		7720		7017		8922							
PESO DEL SUELO HUMEDO	gr.		3930		3883		3683							
VOLUMEN DEL MOLDE	c.c.		2137		2141		2050							
DENSIDAD HUMEDAD	gr/cc.		1.839		1.814		1.797							
% DE HUMEDAD	13.19%			13.92%			14.40%							
DENSIDAD SECA	1.625			1.592			1.570							
CONTENIDO DE HUMEDAD MUESTRA DE	ABAJO		ARRIBA		Wfinal		ABAJO		ARRIBA		Wfinal			
TARRO No	45		56				55		M					
TARRO SUELO HUMEDO	gr.		121.47		135.66		158.24		169.66		112.05		123.86	
TARRO SUELO SECO	gr.		110.72		123.30		143.81		154.44		100.13		112.15	
AGUA	gr.		10.75		12.36		14.43		15.22		11.92		11.71	
PESO DEL TARRO	gr.		28.25		30.73		40.20		45.00		17.75		30.47	
PESO DEL SUELO SECO			82.47		92.57		103.61		109.44		82.38		81.68	
% DE HUMEDAD			13.04%		13.35%		13.93%		13.91%		14.47%		14.34%	
PROMEDIO DE HUMEDAD	%		13.19%			13.92%			14.40%					

ENSAYO DE EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
					0			0			0

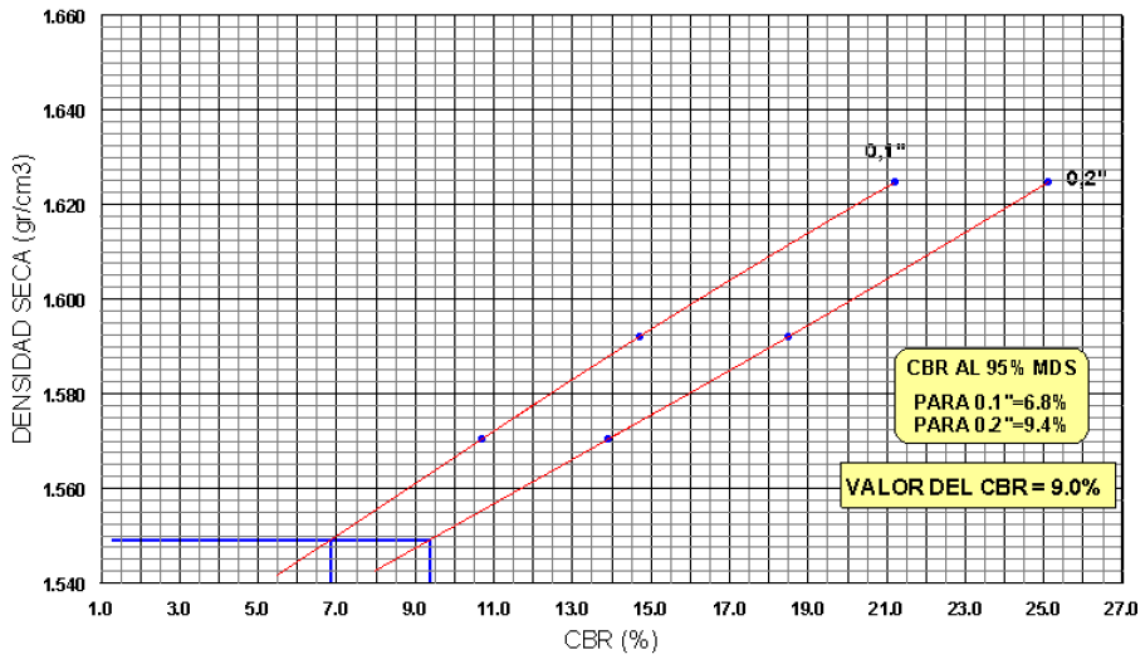
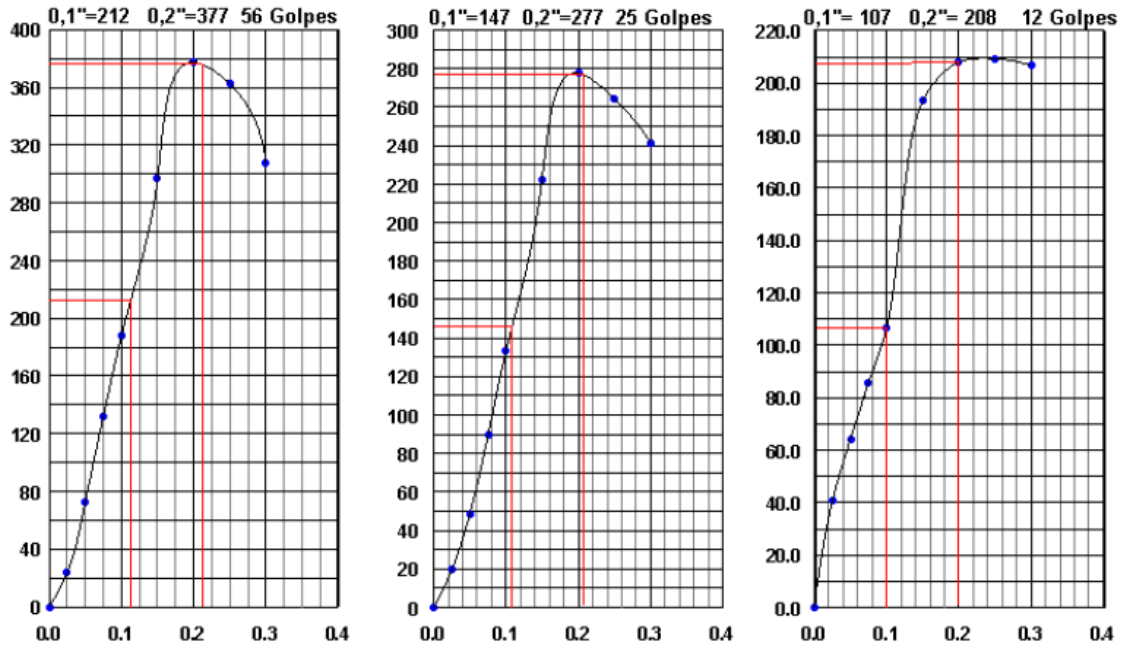
ENSAYO DE CBR														
Minuto	Penetracion	TANDAR	MOLDE Nro 15				MOLDE Nro 3				MOLDE Nro 22			
			LECTURA	Fuerza	PRESION	CBR	LECTURA	Fuerza	PRESION	CBR	LECTURA	Fuerza	PRESION	CBR
			DIAL	Lb	Lb/pulg2	%	DIAL	Lb	Lb/pulg2	%	DIAL	Lb	Lb/pulg2	%
0.5	0.63		0.018	31.92	23.56		0.015	26.59	19.63		0.031	55.05	40.64	
1	1.27		0.055	97.88	72.26		0.037	65.74	48.53		0.049	87.16	64.34	
1.5	1.9		0.1	178.65	131.88		0.068	121.16	89.44		0.065	115.78	85.47	
2	2.54	1000	0.142	254.49	187.86	18.8%	0.101	180.45	133.21	13.3%	0.081	144.48	106.66	10.7%
3	3.51		0.223	401.67	296.51		0.168	301.61	222.65		0.146	261.73	193.21	
4	5.05	1500	0.283	511.25	377.40	25.2%	0.209	376.16	277.68	18.5%	0.157	281.66	207.92	13.9%
5	6.35		0.272	491.13	362.55		0.199	357.95	264.24		0.158	283.47	209.26	
6	7.62		0.231	416.26	307.28		0.182	327.04	241.42		0.156	279.85	206.58	

LABORATORISTA

OBSERVACIONES

PROYECTO : ESTUDIO DE SUELOS COMPLEMENTARIOS DEL TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14  
 REALIZADO : MSc MARCO A. HERNANDEZ AGUILAR  
 SOLICITA : INSPECTRA SA  
 MATERIAL : CALICATA 02 1.30 - 3.50m.  
 FECHA : NOVIEMBRE DEL 2018

VALOR RELATIVO DE SOPORTE, C.B.R.  
 METODO ASTM D - 1883



## Ensayo de corte directo

ENSAYO : CORTE DIRECTO  
 NORMA : ASTM D3080  
  
 INFORME : LMS-16030-2018  
 SOLICITANTE : INSPECTRA SA  
 PROYECTO : ESTUDIO DE SUELO COMPLEMENTARIO DE TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14  
 UBICACION : CHIMBOTE - ÁNCASH  
 FECHA : NOVIEMBRE 2018  
  
 TIPO DE EXPLORACION : CALICATA  
 No DE EXPLORACION : CALICATA 2  
 No DE MUESTRA : MUESTRA 5  
  
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO (m) : 1.00  
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 1.30 - 3.50  
  
 VELOCIDAD DE ENSAYO (mm/min) : 0.90  
 ALTURA DE LA MUESTRA (cm) : 2.00  
 LADO DE LA MUESTRA (cm) : 6.00  
 ESTADO DE LA MUESTRA : REMOLDEADA  
 CONDICION DE ENSAYO : HUMEDECIDA

ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.00	2.00	0.00
---------------------------------------	------	------	------	------

CONDICIONES INICIALES				
Contenido de Humedad ( $\omega$ ) (%)	5.29	5.20	5.20	-
Peso Específico ( $\gamma$ ) (gr/cc)	1.70	1.70	1.70	-
Peso Específico Seco ( $\gamma_d$ ) (gr/cc)	1.61	1.62	1.62	-
Grado de Saturación ( $G_w$ ) (%)	20.70	20.38	20.38	-

ASENTAMIENTO DESPUES DE LA S/C (%)	-1.935	-2.230	-3.450	0.000
------------------------------------	--------	--------	--------	-------

CONDICIONES FINALES				
Contenido de Humedad ( $\omega$ ) (%)	27.70	27.80	-100.00	-

PARAMETROS DE RESISTENCIA				
ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	0.42	0.82	1.42	0.00
COHESION (c) (kg/cm <sup>2</sup> )				0.12
ANGULO DE FRICCION ( $\Phi$ ) (°)				33.08

ENSAYO : CORTE DIRECTO  
 NORMA : ASTM D3080  
  
 INFORME : ILMS-16030-2018  
 SOLICITANTE : INSPECTRA SA  
 PROYECTO : ESTUDIO DE SUELO COMPLEMENTARIO DE TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14  
 UBICACION : CHIMBOTE - ÁNCASH.  
 FECHA : NOVIEMBRE 2018  
  
 TIPO DE EXPLORACION : CALICATA  
 No DE EXPLORACION : CALICATA 2  
 No DE MUESTRA : MUESTRA 5  
  
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO (m) : 1.00  
 PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) : 1.30 - 3.50  
  
 VELOCIDAD DE ENSAYO (mm/min) : 0.90  
 ALTURA DE LA MUESTRA (cm) : 2.00  
 LADO DE LA MUESTRA (cm) : 6.00  
 ESTADO DE LA MUESTRA : REMOLDEADA  
 CONDICION DE ENSAYO : HUMEDECIDA

ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.00	2.00	0.00
---------------------------------------	------	------	------	------

CONDICIONES INICIALES				
Contenido de Humedad ( $\omega$ ) (%)	5.29	5.20	5.20	-
Peso Específico ( $\gamma$ ) (gr/cc)	1.70	1.70	1.70	-
Peso Específico Seco ( $\gamma_d$ ) (gr/cc)	1.61	1.62	1.62	-
Grado de Saturación (Gw) (%)	20.70	20.38	20.38	-

ASENTAMIENTO DESPUES DE LA S/C (%)	-1.935	-2.230	-3.450	0.000
------------------------------------	--------	--------	--------	-------

CONDICIONES FINALES				
Contenido de Humedad ( $\omega$ ) (%)	27.70	27.80	-100.00	-

PARAMETROS DE RESISTENCIA				
ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	0.42	0.82	1.42	0.00
COHESION (c) (kg/cm <sup>2</sup> )				0.12
ANGULO DE FRICCION ( $\Phi$ ) (°)				33.08

PARAMETROS DE RESISTENCIA RESIDUAL				
ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	0.42	0.74	1.27	
COHESION (c) (kg/cm <sup>2</sup> )				0.12
ANGULO DE FRICCION ( $\Phi$ ) (°)				29.97

ENSAYO : CORTE DIRECTO  
 NORMA : ASTM D3080

INFORME : ILS-16030-2018  
 SOLICITANTE : INSPECTRA SA  
 PROYECTO : ESTUDIO DE SUELO COMPLEMENTARIO DE TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14  
 UBICACION : CHIMBOTE - ÁNCASH.  
 FECHA : NOVIEMBRE 2018

TIPO DE EXPLORACION : CALICATA  
 No DE EXPLORACION : CALICATA 2  
 No DE MUESTRA : MUESTRA 5

ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.00	2.00	0.00
---------------------------------------	------	------	------	------

Esfuerzo Cortante Vs Deformación Horizontal	Deformación Horizontal	Esfuerzo Cortante	Deformación Horizontal	Esfuerzo Cortante	Deformación Horizontal	Esfuerzo Cortante	Deformación Horizontal	Esfuerzo Cortante
	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kg/cm <sup>2</sup> )
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	0.05	0.01	0.05	0.03	0.05	0.05	-	-
	0.10	0.03	0.10	0.07	0.10	0.11	-	-
	0.20	0.05	0.20	0.12	0.20	0.30	-	-
	0.30	0.09	0.30	0.26	0.30	0.38	-	-
	0.40	0.13	0.40	0.32	0.40	0.49	-	-
	0.50	0.18	0.50	0.39	0.50	0.58	-	-
	0.75	0.22	0.75	0.51	0.75	0.75	-	-
	1.00	0.29	1.00	0.62	1.00	0.90	-	-
	1.25	0.34	1.25	0.69	1.25	1.03	-	-
	1.50	0.37	1.50	0.73	1.50	1.12	-	-
	1.75	0.40	1.75	0.76	1.75	1.18	-	-
	2.00	0.41	2.00	0.78	2.00	1.26	-	-
	2.50	0.42	2.50	0.80	2.50	1.34	-	-
	3.00	0.42	3.00	0.81	3.00	1.38	-	-
	3.50	0.42	3.50	0.81	3.50	1.41	-	-
	4.00	0.42	4.00	0.81	4.00	1.42	-	-
	4.50	0.42	4.50	0.82	4.50	1.42	-	-
	5.00	0.42	5.00	0.82	5.00	1.42	-	-
	6.00	0.42	6.00	0.81	6.00	1.42	-	-
	7.00	0.42	7.00	0.79	7.00	1.42	-	-
	8.00	0.42	8.00	0.79	8.00	1.40	-	-
	9.00	0.42	9.00	0.78	9.00	1.33	-	-
	10.00	0.42	10.00	0.78	10.00	1.31	-	-
	11.00	0.42	11.00	0.77	11.00	1.30	-	-
	12.00	0.42	12.00	0.76	12.00	1.30	-	-
	13.00	0.42	13.00	0.76	13.00	1.29	-	-
	14.00	0.42	14.00	0.74	14.00	1.29	-	-
	15.00	0.42	15.00	0.74	15.00	1.28	-	-
	16.00	0.42	16.00	0.74	16.00	1.28	-	-
	17.00	0.42	17.00	0.74	17.00	1.28	-	-
	18.00	0.42	18.00	0.74	18.00	1.27	-	-
	19.00	0.42	19.00	0.74	19.00	1.27	-	-
	20.00	0.42	20.00	0.74	20.00	1.27	-	-

INFORME : ILMS-16030-2018  
 SOLICITANTE : INSPECTRA SA  
 PROYECTO : ESTUDIO DE SUELO COMPLEMENTARIO DE TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14  
 UBICACION : CHIMBOTE - ÁNCASH.  
 FECHA : NOVIEMBRE 2018

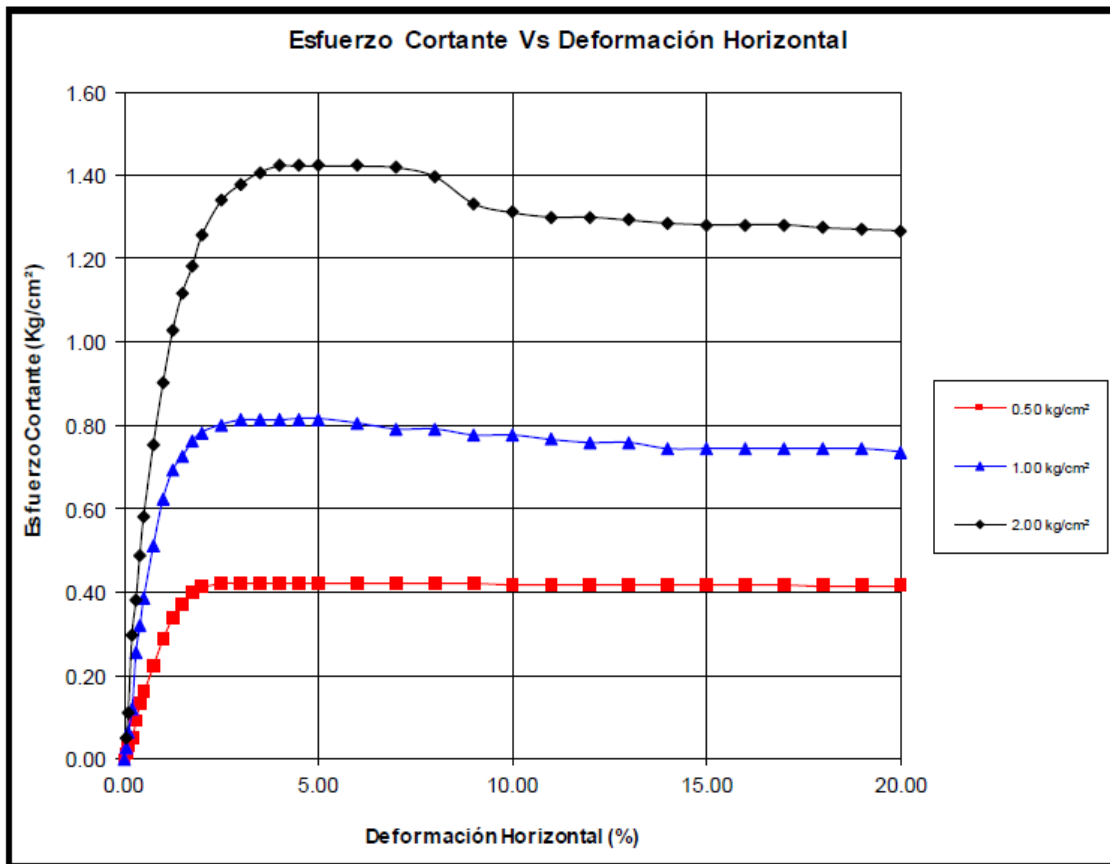
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA  
 No DE EXPLORACION : CALICATA 2  
 No DE MUESTRA : MUESTRA 5

ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.00	2.00	0.00				
Deformación Vertical Vs Deformación Horizontal	Deformación Horizontal (%)	Deformación Vertical (%)	Deformación Horizontal (%)	Deformación Vertical (%)	Deformación Horizontal (%)	Deformación Vertical (%)	Deformación Horizontal (%)	Deformación Vertical (%)
	0.00	0.000	0.00	-	0.00	-	-	-
	0.05	-0.005	0.05	-	0.05	-	-	-
	0.10	-0.005	0.10	-	0.10	0.005	-	-
	0.20	-0.010	0.20	-0.005	0.20	-0.005	-	-
	0.30	-0.005	0.30	-0.005	0.30	-0.015	-	-
	0.40	0.015	0.40	-0.005	0.40	-0.040	-	-
	0.50	0.030	0.50	-0.005	0.50	-0.060	-	-
	0.75	0.050	0.75	-	0.75	-0.125	-	-
	1.00	0.100	1.00	0.035	1.00	-0.180	-	-
	1.25	0.160	1.25	0.045	1.25	-0.190	-	-
	1.50	0.265	1.50	0.140	1.50	-0.180	-	-
	1.75	0.380	1.75	0.285	1.75	-0.160	-	-
	2.00	0.490	2.00	0.440	2.00	-0.115	-	-
	2.50	0.765	2.50	0.605	2.50	0.005	-	-
	3.00	0.965	3.00	0.840	3.00	0.120	-	-
	3.50	1.180	3.50	1.075	3.50	0.270	-	-
	4.00	1.365	4.00	1.255	4.00	0.435	-	-
	4.50	1.490	4.50	1.450	4.50	0.635	-	-
	5.00	1.605	5.00	1.680	5.00	0.800	-	-
6.00	1.745	6.00	1.845	6.00	1.035	-	-	
7.00	1.855	7.00	1.875	7.00	1.235	-	-	
8.00	1.890	8.00	1.985	8.00	1.310	-	-	
9.00	1.890	9.00	2.000	9.00	1.350	-	-	
10.00	1.890	10.00	2.040	10.00	1.300	-	-	
11.00	1.880	11.00	2.090	11.00	1.220	-	-	
12.00	1.855	12.00	2.100	12.00	1.165	-	-	
13.00	1.835	13.00	2.105	13.00	1.110	-	-	
14.00	1.750	14.00	2.125	14.00	1.035	-	-	
15.00	1.750	15.00	2.155	15.00	0.950	-	-	
16.00	1.730	16.00	2.180	16.00	0.900	-	-	
17.00	1.690	17.00	2.170	17.00	0.835	-	-	
18.00	1.635	18.00	2.125	18.00	0.765	-	-	
19.00	1.590	19.00	2.105	19.00	0.710	-	-	
20.00	1.550	20.00	2.085	20.00	0.685	-	-	

ENSAYO : CORTE DIRECTO  
NORMA : ASTM D3080

INFORME : ILMS-16030-2018  
SOLICITANTE : INSPECTRA SA  
PROYECTO : ESTUDIO DE SUELO COMPLEMENTARIO DE TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14  
UBICACION : CHIMBOTE - ÁNCASH.  
FECHA : NOVIEMBRE 2018

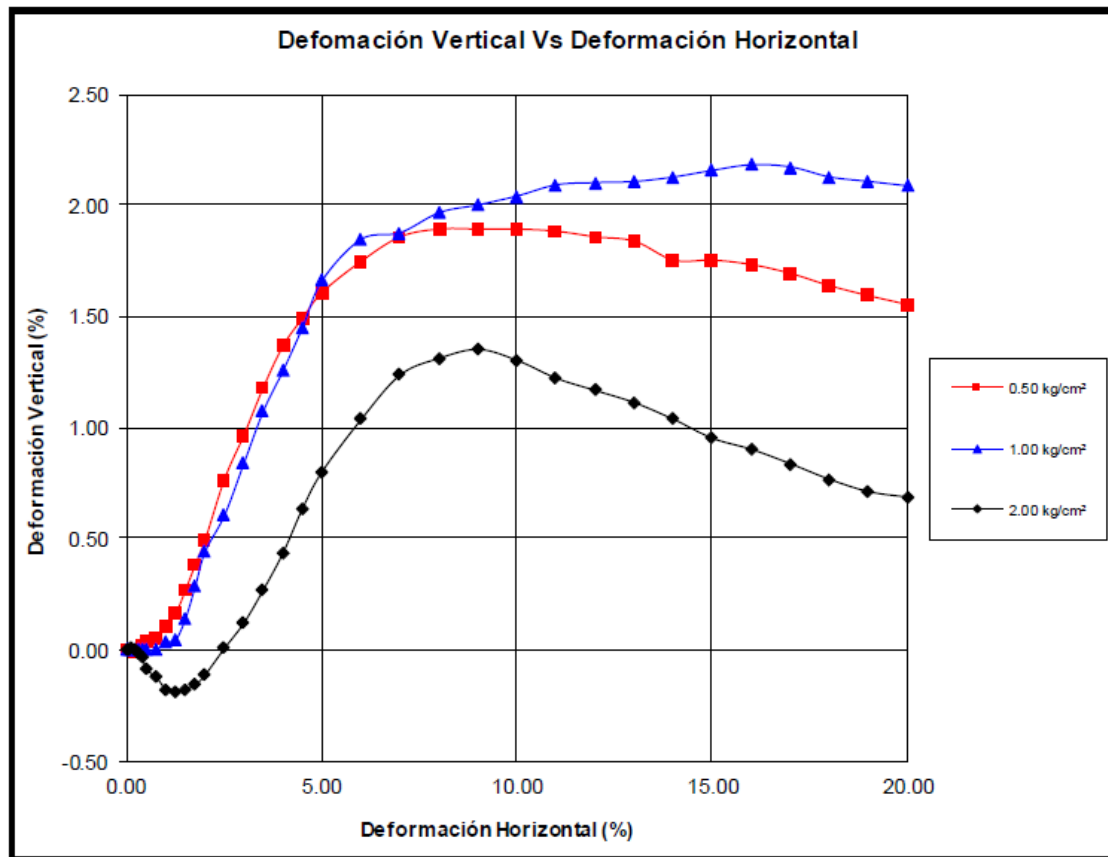
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA  
No DE EXPLORACION : CALICATA 2  
No DE MUESTRA : MUESTRA 5



ENSAYO : CORTE DIRECTO  
NORMA : ASTM D3080

INFORME : ILMS-16030-2018  
SOLICITANTE : INSPECTRA SA  
PROYECTO : ESTUDIO DE SUELO COMPLEMENTARIO DE TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14  
UBICACION : CHIMBOTE - ÁNCASH.  
FECHA : NOVIEMBRE 2018

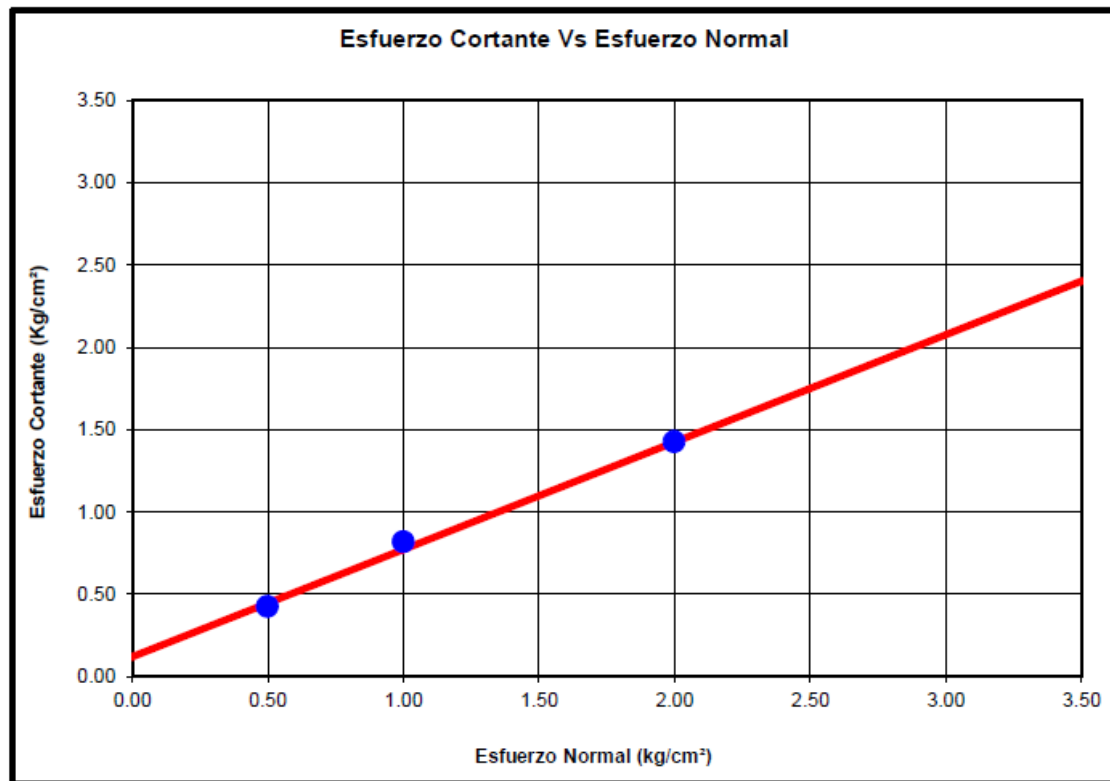
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA  
No DE EXPLORACION : CALICATA 2  
No DE MUESTRA : MUESTRA 5





ENSAYO : CORTE DIRECTO  
 NORMA : ASTM D3080  
  
 INFORME : ILMS-16030-2018  
 SOLICITANTE : INSPECTRA SA  
 PROYECTO : ESTUDIO DE SUELO COMPLEMENTARIO DE TERMINAL CHIMBOTE - TANQUE 14  
 UBICACION : CHIMBOTE - ÁNCASH.  
 FECHA : NOVIEMBRE 2018  
  
 TIPO DE EXPLORACION : CALICATA  
 No DE EXPLORACION : CALICATA 2  
 No DE MUESTRA : MUESTRA 5

PARAMETROS DE RESISTENCIA



COHESION (c)	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.12
ANGULO DE FRICCION (Φ)	( ° )	33.08

**Anexo 2. Estudio de diamantina y escaneo de cimentación existente**

<b>REGISTRO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO MEDIANTE EL ESCLERÓMETRO NTP 339.181:2013</b>	<b>CÓDIGO</b> : FCON-002 <b>VERSIÓN</b> : 1.1 <b>VIGENCIA</b> :
--	---

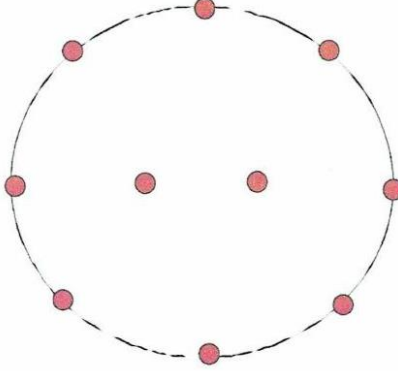
**SOLICITANTE** : Terminales del Perú - chimbote  
**PROYECTO** : Tanque # 14  
**UBICACIÓN** : chimbote - Ancash

**FECHA**: 01/10/2018

**REFERENCIAS DE LA ESTRUCTURA**

**TIPO DE ESTRUCTURA** : CIMENTACIÓN DEL TANQUE

DATOS DEL ENSAYO		IDENTIFICACIÓN
ELEMENTO ESTRUCTURAL	muestra 1 - cimentación	
UBICACIÓN	Chimbote - Ancash	
TÉCNICO RESPONSABLE	Alexis Garcia	
FECHA DE ENSAYO	01/10/2018	
COORDENADAS UTM		

N° LECTURAS	LECTURA			
	CAMPO	A ELIMINAR	TOMADA	
1	31	/	31	
2	33		33	
3	32		32	
4	29		29	
5	38		38	
6	26		26	
7	24		24	
8	24		24	
9	29		29	
10	34		34	

<b>TÉCNICO RESPONSABLE</b>	<b>INGENIERO RESPONSABLE</b>	<b>SUPERVISOR</b>
<i>Freddy</i>	<i>Alberto</i>	

**ALBERTO CARLOS  
VILCHEZ MONTOYA  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 108159**

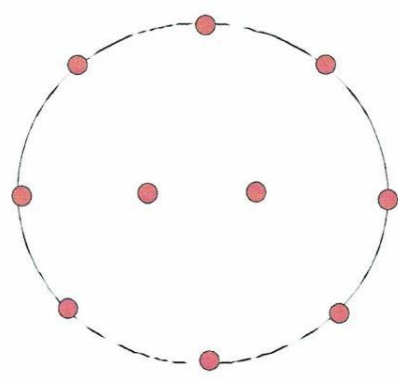
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO          MEDIANTE EL ESCLERÓMETRO          NTP 339.181:2013</b>	CÓDIGO : FCON-002 VERSIÓN : 1.1 VIGENCIA :
--	--

SOLICITANTE : *Terminales del Perú - Chimbote*      FECHA: *01/10/2018*  
 PROYECTO : *Tanque #14*  
 UBICACIÓN : *Chimbote - Ancash*

**REFERENCIAS DE LA ESTRUCTURA**  
 TIPO DE ESTRUCTURA : CIMENTACIÓN DEL TANQUE

DATOS DEL ENSAYO	
ELEMENTO ESTRUCTURAL	<i>muestra 2 - cimentación</i>
UBICACIÓN	<i>Chimbote - Ancash</i>
TÉCNICO RESPONSABLE	<i>Alois Garcia</i>
FECHA DE ENSAYO	<i>01/10/2018</i>
COORDENADAS UTM	

N° LECTURAS	LECTURA		
	CAMPO	A ELIMINAR	TOMADA
1	25		25
2	30	30	
3	24		24
4	22		22
5	24		24
6	27		27
7	25		25
8	17	17	
9	18		18
10	20		20



TÉCNICO RESPONSABLE	INGENIERO RESPONSALE	SUPERVISOR
<i>[Firma]</i>	<i>[Firma]</i>	

**ALBERTO CARLOS  
 VILCHEZ MONTOYA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 108159**

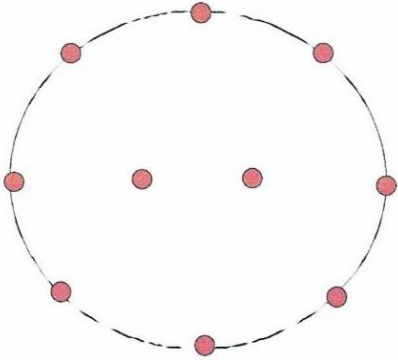
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO MEDIANTE EL ESCLERÓMETRO NTP 339.181:2013</b>	CÓDIGO : FCON-002
	VERSIÓN : 1.1
	VIGENCIA :

SOLICITANTE : Terminales del Perú - chimbote      FECHA: 01/10/2018  
 PROYECTO : tanque #14  
 UBICACIÓN : chimbote - Ancash

REFERENCIAS DE LA ESTRUCTURA  
 TIPO DE ESTRUCTURA : CIMENTACIÓN DEL TANQUE

DATOS DEL ENSAYO		IDENTIFICACIÓN
ELEMENTO ESTRUCTURAL	muestra 3 - cimentación	
UBICACIÓN	chimbote - Ancash	
TÉCNICO RESPONSABLE	Alexis Garcia	
FECHA DE ENSAYO	01/10/2018	
COORDENADAS UTM		

N° LECTURAS	LECTURA		
	CAMPO	A ELIMINAR	TOMADA
1	36		36
2	35		35
3	33		33
4	34		34
5	30		30
6	32		32
7	30		30
8	29		29
9	27		27
10	45	45	



TÉCNICO RESPONSABLE	INGENIERO RESPONSANLE	SUPERVISOR
<i>F. Garcia</i>	<i>Alberto Carlos Vilchez Montoya</i>	

ALBERTO CARLOS  
 VILCHEZ MONTOYA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 108159

<b>REGISTRO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO MEDIANTE EL ESCLERÓMETRO NTP 339.181:2013</b>	<b>CÓDIGO</b> : FCON-002 <b>VERSIÓN</b> : 1.1 <b>VIGENCIA</b> :
--	---

**SOLICITANTE** : Terminales del Perú - Chimbote      **FECHA**: 01/10/2018  
**PROYECTO** : Longe #14  
**UBICACIÓN** : Chimbote - Ancash

**REFERENCIAS DE LA ESTRUCTURA**  
**TIPO DE ESTRUCTURA** : CIMENTACIÓN DEL TANQUE

DATOS DEL ENSAYO		
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	muestra 1 - cimentación	<b>IDENTIFICACIÓN</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Chimbote - Ancash	
<b>TÉCNICO RESPONSABLE</b>	Alexis Garcia	
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	01/10/2018	
<b>COORDENADAS UTM</b>		

N° LECTURAS	LECTURA		
	CAMPO	A ELIMINAR	TOMADA
1	20	/	20
2	19		19
3	25		25
4	25		25
5	25		25
6	22		22
7	23		23
8	22		22
9	21		21
10	20		20

<b>TÉCNICO RESPONSABLE</b>	<b>INGENIERO RESPONSABLE</b>	<b>SUPERVISOR</b>
<i>Fachini</i>	<i>[Firma]</i>	

**ALBERTO CARLOS  
VILCHEZ MONTOYA  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 108159**

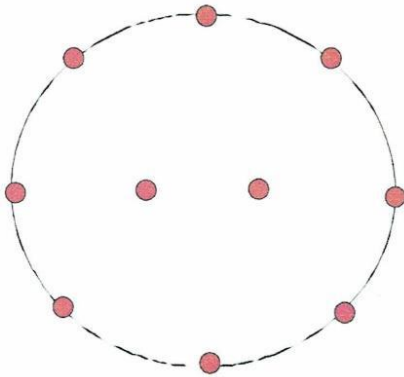
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO MEDIANTE EL ESCLERÓMETRO NTP 339.181:2013</b>	CÓDIGO : FCON-002
	VERSIÓN : 1.1
	VIGENCIA :

SOLICITANTE : *Terminales del Perú - Chimbote*      FECHA: *01/10/2018*  
 PROYECTO : *Longue #14*  
 UBICACIÓN : *Chimbote - Ancash*

REFERENCIAS DE LA ESTRUCTURA  
 TIPO DE ESTRUCTURA : CIMENTACIÓN DEL TANQUE

DATOS DEL ENSAYO		IDENTIFICACIÓN
ELEMENTO ESTRUCTURAL	<i>muestra 5 - cimentación</i>	
UBICACIÓN	<i>Chimbote - Ancash</i>	
TÉCNICO RESPONSABLE	<i>Alexis Garcia</i>	
FECHA DE ENSAYO	<i>01/10/2018</i>	
COORDENADAS UTM		

N° LECTURAS	LECTURA		
	CAMPO	A ELIMINAR	TOMADA
1	23	<i>/</i>	23
2	24		24
3	28		28
4	32		32
5	29		29
6	30		30
7	22		22
8	23		23
9	22		22
10	28		28



TÉCNICO RESPONSABLE	INGENIERO RESPONSANLE	SUPERVISOR
<i>Textos</i>	<i>[Firma]</i>	

ALBERTO CARLOS  
 VILCHEZ MONTOYA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 108159

<b>REGISTRO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO MEDIANTE EL ESCLERÓMETRO NTP 339.181:2013</b>	CÓDIGO : FCON-002
	VERSIÓN : 1.1
	VIGENCIA :

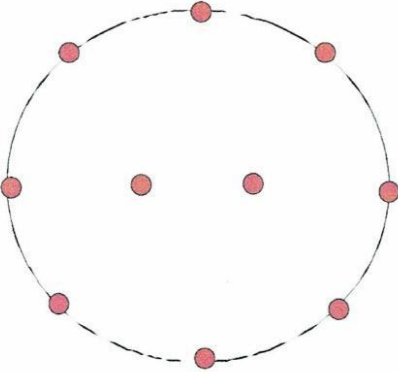
SOLICITANTE : Terminales del Perú - Chimbote  
 PROYECTO : Longue #14  
 UBICACIÓN : Chimbote - Ancash

FECHA: 01/10/2018

REFERENCIAS DE LA ESTRUCTURA  
 TIPO DE ESTRUCTURA : CIMENTACIÓN DEL TANQUE

DATOS DEL ENSAYO		IDENTIFICACIÓN
ELEMENTO ESTRUCTURAL	muestra 6 - Cimentación	
UBICACIÓN	Chimbote - Ancash	
TÉCNICO RESPONSABLE	Alexis Garcia	
FECHA DE ENSAYO	01/10/2018	
COORDENADAS UTM		

N° LECTURAS	LECTURA		
	CAMPO	A ELIMINAR	TOMADA
1	29		29
2	29		29
3	25		25
4	25		25
5	29		29
6	28		28
7	27		27
8	25		25
9	22		22
10	23		23



TÉCNICO RESPONSABLE	INGENIERO RESPONSANLE	SUPERVISOR
<i>Foster</i>	<i>Alberto</i>	

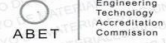
ALBERTO CARLOS  
 VILCHEZ MONTOYA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 108159





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por  
**ABET**  
 Accreditation Board for engineering and Technology



**INFORME**

**Del** : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
**A** : LAB CONCRET EIRL  
**Obra** : TERMINALES DEL PERÚ-CHIMBOTE TANQUE # 14  
**Ubicación** : CHIMBOTE  
**Asunto** : Ensayo de Resistencia a la Compresión en Testigos Diamantinos  
**Expediente N°** : 18-3584-6  
**Recibo N°** : 62496  
**Fecha** : 12/10/2018

**1. DE LA MUESTRA** : Consistente en 06 muestras de testigos diamantinos cilíndricos de concreto, extraídos y cortados por el solicitante.

Fecha de ensayo : 12/10/2018

**2. DE LOS EQUIPOS** : Máquina de ensayo uniaxial, TONI/TECHNIK  
 Certificado de calibración LFP-274-2018

**3. MÉTODO DEL ENSAYO** : Norma de referencia NTP 339.034:2015.  
 Procedimiento interno AT-PR-11.

**4. RESULTADOS**

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE EXTRACCIÓN	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA (Kg)	FACTOR DE CORRECCIÓN (Alt/Diám.)	RESIST. A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)	RESIST. A LA COMPRESIÓN (MPa)	TIPO DE FALLA
1	M-1/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	7.52	13.5	44.4	9460	1.00	213	20.8	3
2	M-2/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	7.52	13.3	44.4	7090	0.99	158	15.5	3
3	M-3/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	7.52	9.9	44.4	12269	0.94	259	25.4	3
4	M-4/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	7.52	11.9	44.4	5705	0.97	124	12.2	3
5	M-5/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	7.52	13.5	44.4	7760	1.00	175	17.1	3
6	M-6/CHIMBOTE T-14	01/10/2018	7.52	13.6	44.4	7553	1.00	170	16.7	4

**5. OBSERVACIONES:** 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Lic. J. Basurto P.  
 Técnico : Sr. T. M. T.



Ms. Jhg. Ana Torre Carrillo  
 Jefe (e) del laboratorio

**NOTA:**  
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381-3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe



Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**INFORME**

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : LAB CONCRET E.I.R.L.  
 Obra : TERMINALES DEL PERÚ CHIMBOTE TANQUE # 14  
 Ubicación : CHIMBOTE  
 Asunto : Ensayo para determinar la profundidad de carbonatación en el concreto.  
 Expediente N° : 18-3585-6  
 Recibo N° : 62497  
 Fecha de emisión : 17/10/2018

- 1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en 2 muestras de testigos diamantinos extraídos por el solicitante. Se realizó la rotura de manera longitudinal.
- 2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia: UNE 112011.
- 3.0. EQUIPO UTILIZADO : Vernier VERN-1, con certificado de calibración L-0427-2017.
- 4.0. MATERIAL UTILIZADO : Fenolftaleína (Indicador de PH).
- 5.0. RESULTADOS : Fecha de ensayo: 17/10/2018

Identificación	Tipo de medida*	Profundidad de carbonatación $d_c$ (mm)			Observaciones (Ver anexo 1)
		Mínima	Máxima	Promedio	
M1-CHIMBOTE TANQUE # 14	B	11	34	22.5	Penetración irregular
M2-CHIMBOTE TANQUE # 14	B	1	8	4.5	Penetración irregular

\* Observar Anexo 1 para la interpretación de las medidas.

**6.0. OBSERVACIONES**

La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención, fecha de ensayo e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. G.P.L.

  
 Ms. Ing. Ana Torre Carrillo  
 Jefe ( e ) del laboratorio

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381-3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**ANEXO 1**

Expediente N° : 18-3585-6

**Esquema de visualización**

Figura 1 : Indicadores del tipo de medidas tomadas, se pueden dar los casos A, B, C y D, dependiendo de la ubicación pueden ocurrir uno de ellos o la combinación.

- Zona incolora : El proceso de carbonatación ha afectado al concreto, pH menor a 8.5
- Zona Rosa : El proceso de carbonatación esta iniciando, pH entre 8.5 y 9.5
- Zona rojo-púrpura : Proceso de carbonatación todavía no afecta al concreto, pH mayor a 9.5

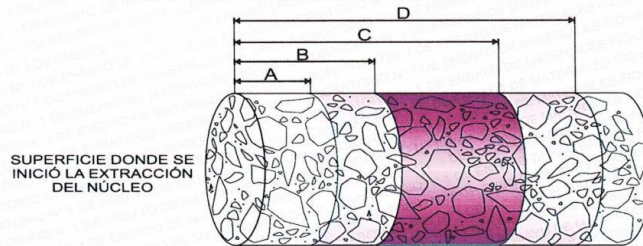
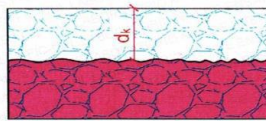
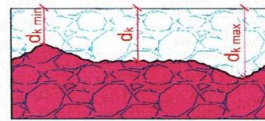


Figura 2 : Indicadores del tipo de penetración de carbonatación observado en la muestra tomada. ( $d_k$ )

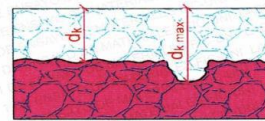
- Penetración regular : No hay diferencias significativas en el plano de profundidad, solo se reportará la profundidad promedio ( $d_k$ )
- Penetración irregular : Existen diferencias marcadas entre dos puntos del plano de profundidad, se reportará la profundidad mínima, máxima y promedio ( $d_{k \text{ min}}$ ,  $d_{k \text{ max}}$ ,  $d_k$ )
- Penetración singular : Existe una zona específica donde se observa una discontinuidad en el plano de profundidad, se reportará la profundidad máxima y promedio ( $d_{k \text{ max}}$ ,  $d_k$ )



Penetración regular



Penetración irregular



Penetración singular

Hecho por : Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. G.P.L.

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



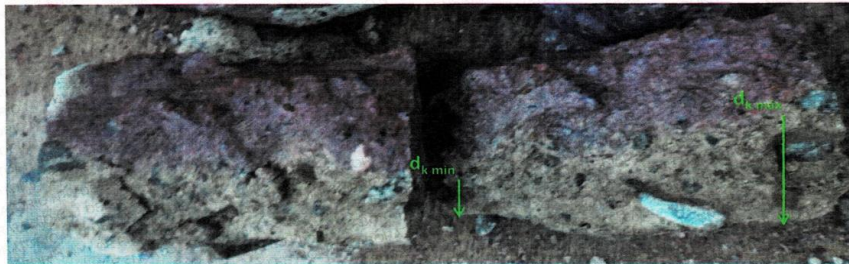


**ANEXO 2**

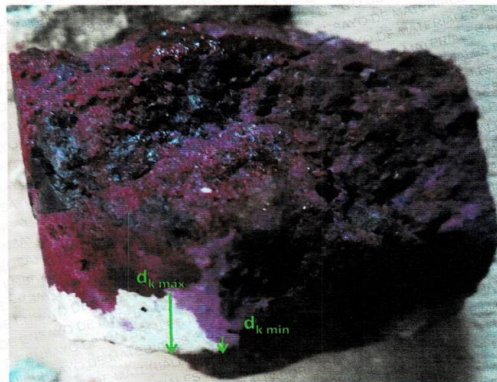
Expediente N° : 18-3585-6

**REGISTRO FOTOGRÁFICO**

**Fotografía 1** : MUESTRA M1-CHIMBOTE TANQUE # 14, profundidad de carbonatación mínima ( $d_{k\ min}$ ), profundidad de carbonatación máxima ( $d_{k\ max}$ ). La superficie donde se inició la extracción del núcleo esta en la parte inferior de la foto.



**Fotografía 2** : MUESTRA M2-CHIMBOTE TANQUE # 14, profundidad de carbonatación mínima ( $d_{k\ min}$ ), profundidad de carbonatación máxima ( $d_{k\ max}$ ). La superficie donde se inició la extracción del núcleo esta en la parte inferior de la foto.



**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú  
(511) 381-3343  
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

[www.lem.uni.edu.pe](http://www.lem.uni.edu.pe)  
[lem@uni.edu.pe](mailto:lem@uni.edu.pe)  
Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI



**Anexo 3. Análisis de asentamiento diferencial bajo API 653**

No de proyecto                    TECNA-TP/CHIMBOTE-2017-002AVR  
 Cliente                              TP  
 Lugar                                Terminal Chimbote  
 Tanque No                         TK 14



**Anexo 2                    Asentamiento Diferencial (API653)**

**Parámetros mecánicos**

Diámetro del tanque	D	m	21,63	
Altura del tanque	H	m	12,80	
Numero minimo de puntos de asentamiento		[-]	8	como es requerido por API653, figura B-1
No. de puntos de asentamiento usados		[-]	8	
Ubicación del 1er punto de medición		grados	0	
Distancia entre los puntos de asentamiento		m	8,49	Máximo 9.75 m
Cedencia del material	Y	N/mm <sup>2</sup>	250	
Módulo de Young	E	N/mm <sup>2</sup>	211582	

Nivel de llenado durante la prueba: 1,90 m.

**Asentamiento diferencial API653, Apéndice B**

Ubicación [grados]	Lecturas de asent. [mm]	Elevación relativa [mm]	Inclinación planar [mm]	Asent. [mm]	Desviación [mm]
0	1057	9	4	5,4	7,4
45	1049	1	6	-5,3	-9,4
90	1060	12	9	2,8	8,3
135	1053	5	11	-5,7	-11,2
180	1066	18	10	8,1	12,1
225	1053	5	7	-2,2	-4,1
270	1048	0	4	-4,3	-3,8
315	1052	4	3	1,2	0,7

La siguiente formula es usada para calcular la desviación maxima permisible:

$$|S| = \frac{11 * L^2 * Y}{2 * E * H} * 1000$$

donde

S = Desviación crítica [mm]

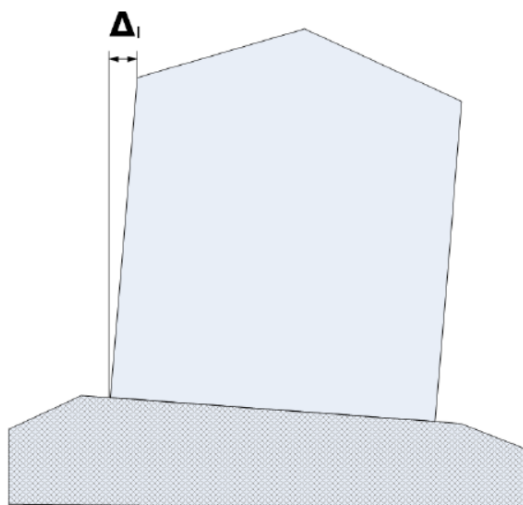
L = Longitud de arco [m]

E = Modulo de Young [MPa]

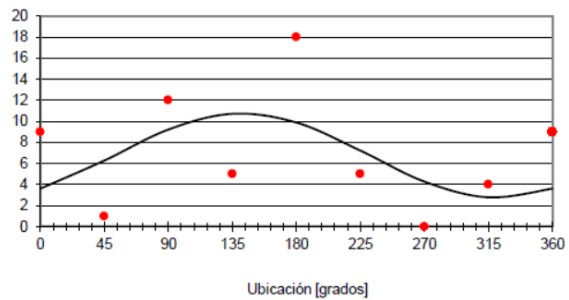
Y = Cedencia [MPa]

H = Altura del tanque [m]

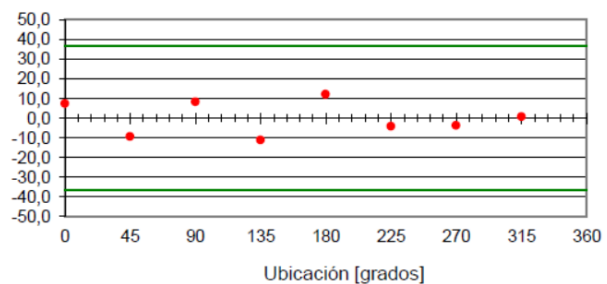
Desviación crítica [mm]:                    36,6  
 OK.



**Gráfica de elevación del asentamiento [mm]**



**Gráfica de deflexión de asentamiento del cilindro [mm]**



#### **Anexo 4. Análisis de verticalidad bajo API 653**

No de proyecto    TECNA-TP/CHIMBOTE-2017-002AVR  
 Cliente            TP  
 Lugar              Terminal Chimbote  
 Tanque No        TK 14

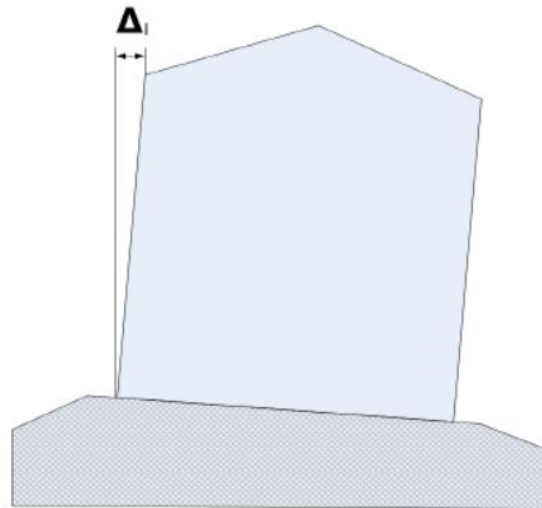


**Anexo 1      Verticalidad**

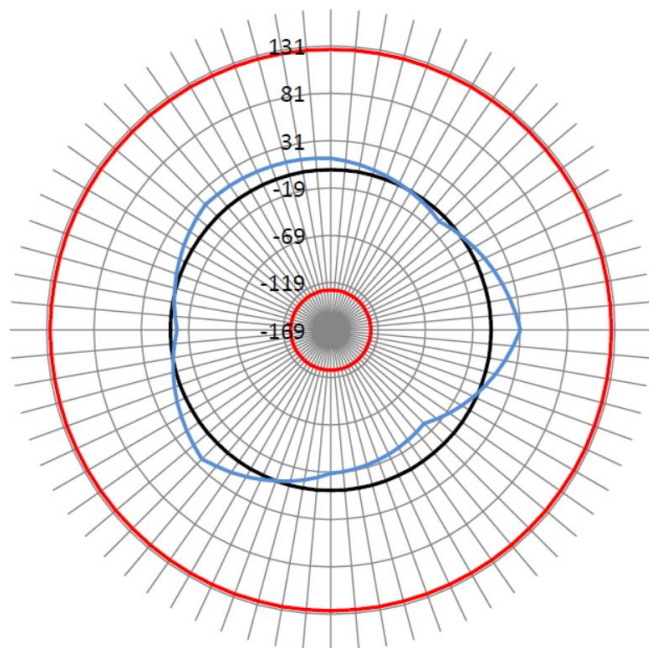
MP	Techo	Fondo	$\Delta$	% de criterio
N	12	0	12,0	9,4
NE	-7	0	-7,0	5,5
E	31	0	31,0	24,4
SE	-30	0	-30,0	23,6
S	-18	0	-18,0	14,2
SW	23	0	23,0	18,1
W	-7	0	-7,0	5,5
NW	18	0	18,0	14,2

Evaluado por API653, sección 10.5.2.1.

Rechazo: 127 [mm]



- Rechazo
- Referencia
- Estado actual





## **Anexo 5. Resultados de reparación de fisuras**



**INSPECCIÓN DE CAMPO**  
**CÓDIGO DOCUMENTO: 3A1005-7-HAUG-02-RG-083**

Fecha: 26/02/2020  
Revisión: 0  
Página: 1 de 1  
PE.OPER.2130.RG.083



Registro No.: 01  
Nombre del Proyecto/Nº: Adecuación de Tanque N°14 del terminal Chimbote al DS-017-2013  
Cliente: Terminales del Perú  
Actividad: INYECCIÓN DE RESINA EN EL ANILLO DE CIMENTACIÓN  
Equipo de Medición: ---  
Area /Sistema: Zona Estanca N°2  
N° de Tanque : N°14  
Plano de Referencia: 3A1005-7-TEN-2-PL-001

**INYECCIÓN DE RESINA EN ANILLO DE CIMENTACIÓN**

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	
	SI	NO
<b>VERIFICACIÓN PRELIMINAR</b>		
1. Superficie Libre de Polvo, Grasa, concreto	X	---
2. Escarificado y/o corte de superficie	X	---
3. Perforación y posicionamiento de los Inyectores (Packers)	X	---
4. Eliminación del Polvo Producto del corte (Soplador eléctrico)	X	---
5. Sellado de Fisuras (Superficial)	X	---
<b>VERIFICACIÓN DEL PROCESO</b>		
1. Recepción de los materiales (Cantidad, denominación, Inspección visual y Fecha de Vencimiento)	X	---
2. Correcta dosificación de los Materiales	X	---
3. Correcta aplicación de la resina	X	---
<b>VERIFICACIÓN FINAL</b>		
1. Correcto curado	X	---
2. Correcto acabado final	X	---



Inyección de Resina en el Anillo de Cimentación

MATERIAL: SIKADUR 35 / SIKADUR 31 Cant. FISURAS 10 FISURAS selladas Internas y Externas

METRADO: 9m Puntos de Perforación para inyección 36 Puntos para inyectar

Observaciones / comentarios.

<b>APROBACION</b>	
<b>HAUG S.A. – Control de Calidad</b> Nombre: <b>HAUG S.A.</b> Firma: <i>Anthony Mayo Acevedo</i> Fecha:	<b>HAUG S.A. – Construcción</b> Nombre: <i>Juan Pablo</i> Firma: <i>Juan Pablo</i> Fecha:
<b>TERMINALES DEL PERU</b> Nombre: <i>Edgar</i> Firma: <b>SGS del Perú S.A.C.</b> Fecha: <i>02/03/2020</i>	<b>Supervisor QA/QC</b> Nombre: <b>Kenny Canales L.</b> Firma: <i>Kenny Canales L.</i> Fecha: <i>13/03/2020</i>

**Anexo 6. Ensayos de resistencia a la compresión de probetas de grout y reforzamiento de anillo de cimentación**



# INGEOTECNIA CONSULTORES & EJECUTORES S.A.C.

Código Ejecutor Obras: 12776

R.U.C. 20445586537

Ejecución de Obras Civiles, Metal Mecánicas, Hidráulicas, viales, portuarias y todo tipo de construcciones afines.  
Alquiler y/o Venta de Bienes en General – Prestación de Servicios Generales – Asesoría y Consultoría de obras.  
Suministro de Maquinaria, Equipos, Herramientas y Materiales en general – Laboratorio de Ensayos de Control de Calidad


OBRA	: ADECUACION DE TANQUES AL DS-017-2013-EM TERMINALES NORTE Y CENTRO
LUGAR	: DISTRITO DE CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - REGION ANCASH
SOLICITA	: HAUG S.A. (ING. FRANCIS MEDINA)
FECHA	: 28 DE FEBRERO DEL 2020

## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ASTM C-39)

N°	MUESTRA DE ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA ESTRUCTURAS	DIAM (Cm)	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD DE CURADO (dias)	PRESION MAXIMA (KG)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ADQUIRIDA (%)
01	SOLADO TK 14	14.5	14/02/2020	28/02/2020	100	14	19910	120.57	120.57
02	SOLADO TK 14	14.5	14/02/2020	28/02/2020	100	14	19280	116.76	116.76

### Observaciones:

Las muestras fueron elaboradas y proporcionadas por el solicitante.  
La descripción y fechas de vaciado de las probetas fueron proporcionadas por el solicitante.  
Se recomienda controlar la trabajabilidad del concreto en obra mediante prueba Slump.

  
POL RAIM AGUILAR OLGUIN  
ING. CIVIL - CIP. N° 81029  
CONSULTOR - REG. C4009



# INGEOTECNIA CONSULTORES & EJECUTORES S.A.C.

Código Ejecutor Obras: 12776

R.U.C. 20445586537

Ejecución de Obras Civiles, Metal Mecánicas, Hidráulicas, viales, portuarias y todo tipo de construcciones afines.  
Alquiler y/o Venta de Bienes en General - Prestación de Servicios Generales - Asesoría y Consultoría de obras.  
Suministro de Maquinaria, Equipos, Herramientas y Materiales en general - Laboratorio de Ensayos de Control de Calidad

OBRA : ADECUACION DE TANQUES AL DS-017-2013-EM TERMINALES NORTE Y CENTRO  
LUGAR : DISTRITO DE CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - REGION ANCASH  
SOLICITA : HAUG S.A. (ING. FRANCIS MEDINA)  
FECHA : 04 DE SETIEMBRE DEL 2020

## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ASTM C-39)

Nº	MUESTRA DE ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA ESTRUCTURAS	DIAM (Cm)	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD DE CURADO (dias)	PRESION MAXIMA (KG)	RESISTENCIA COMPRESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ADQUIRIDA (%)
01	REPARACION DEL ANILLO DE CIMENTACION 20" - 32"	15.0	07/08/2020	04/09/2020	310	28	56320	318.71	102.81

### Observaciones:

Las muestras fueron elaboradas y proporcionadas por el solicitante.  
La descripción y fechas de vaciado de las probetas fueron proporcionadas por el solicitante.  
Se recomienda controlar la trabajabilidad del concreto en obra mediante prueba Slump.

10

  
POL RAIN AGUILAR OLGUIN



# INGEOTECNIA CONSULTORES & EJECUTORES S.A.C.

Código Ejecutor Obras: 12776

R.U.C. 20445586537

Ejecución de Obras Civiles, Metal Mecánicas, Hidráulicas, viales, portuarias y todo tipo de construcciones afines.  
Alquiler y/o Venta de Bienes en General - Prestación de Servicios Generales - Asesoría y Consultoría de obras.  
Suministro de Maquinaria, Equipos, Herramientas y Materiales en general - Laboratorio de Ensayos de Control de Calidad


OBRA : ADECUACION DE TANQUES AL DS-017-2013-EM TERMINALES NORTE Y CENTRO  
LUGAR : DISTRITO DE CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - REGION ANCASH  
SOLICITA : HAUG S.A. (ING. FRANCIS MEDINA)  
FECHA : 12 DE SETIEMBRE DEL 2020

## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ASTM C-39)

Nº	MUESTRA DE ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA ESTRUCTURAS	LADO (Cm)	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD DE CURADO (días)	PRESION MAXIMA (KG)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ADQUIRIDA (%)
01	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	07/08/2020	10/08/2020	310	3	5250	210.00	67.74
02	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	07/08/2020	10/08/2020	310	3	5750	230.00	74.19
03	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	10/08/2020	17/08/2020	310	7	9130	365.20	117.81
04	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	10/08/2020	17/08/2020	310	7	9220	368.80	118.97
05	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	06/08/2020	03/09/2020	310	28	15980	639.20	206.19
06	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	07/08/2020	04/09/2020	310	28	15740	629.60	203.10
07	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	10/08/2020	07/09/2020	310	28	15880	635.20	204.90
08	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	11/08/2020	08/09/2020	310	28	15790	631.60	203.74
09	GROUT EN ANILLO DE CIMENTACION (CUBOS 5X5X5CM)	5.0	15/08/2020	12/09/2020	310	28	15020	600.80	193.81

### Observaciones:

Las muestras fueron elaboradas y proporcionadas por el solicitante.  
La descripción y fechas de vaciado de las probetas fueron proporcionadas por el solicitante.  
Se recomienda controlar la trabajabilidad del concreto en obra mediante prueba Slump.

  
POL RAIN AGUILAR OLGUIN  
ING. CIVIL - CIP. N° 81029  
CONSULTOR - REG. C4009



# INGEOTECNIA CONSULTORES & EJECUTORES S.A.C.

Código Ejecutor Obras: 12776

R.U.C. 20445586537

Ejecución de Obras Civiles, Metal Mecánicas, Hidráulicas, viales, portuarias y todo tipo de construcciones afines.  
Alquiler y/o Venta de Bienes en General – Prestación de Servicios Generales – Asesoría y Consultoría de obras.  
Suministro de Maquinaria, Equipos, Herramientas y Materiales en general – Laboratorio de Ensayos de Control de Calidad


OBRA : ADECUACION DE TANQUES AL DS-017-2013-EM TERMINALES NORTE Y CENTRO  
LUGAR : DISTRITO DE CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - REGION ANCASH  
SOLICITA : HAUG S.A. (ING. FRANCIS MEDINA)  
FECHA : 03 DE NOVIEMBRE DEL 2020

## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ASTM C-39)

N°	MUESTRA DE ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA ESTRUCTURAS	DIAM (Cm)	FECHA DE VACLADO	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD DE CURADO (días)	PRESION MAXIMA (KG)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ADQUIRIDA (%)
01	REPARACION DE ANILLO EXISTENTE MEDIANTE LA CONST. DE ANILLO DE REFUERZO	15.0	27/10/2020	03/11/2020	310	7	52690	298.16	96.18
02	REPARACION DE ANILLO EXISTENTE MEDIANTE LA CONST. DE ANILLO DE REFUERZO	15.0	27/10/2020	03/11/2020	310	7	55060	311.58	100.51

### Observaciones:

Las muestras fueron elaboradas y proporcionadas por el solicitante.  
La descripción y fechas de vaceado de las probetas fueron proporcionadas por el solicitante.  
Se recomienda controlar la trabajabilidad del concreto en obra mediante prueba Slump.

  
POL RAIM AGUILAR OLGUIN  
ING. CIVIL - CIP. N° 81029  
CONSULTOR - REC. C4009



# INGEOTECNIA CONSULTORES & EJECUTORES S.A.C.

Código Ejecutor Obras: 12776

R.U.C. 20445586537

Ejecución de Obras Civiles, Metal Mecánicas, Hidráulicas, viales, portuarias y todo tipo de construcciones afines.  
Alquiler y/o Venta de Bienes en General – Prestación de Servicios Generales – Asesoría y Consultoría de obras.  
Suministro de Maquinaria, Equipos, Herramientas y Materiales en general – Laboratorio de Ensayos de Control de Calidad


OBRA : ADECUACION DE TANQUES AL DS-017-2013-EM TERMINALES NORTE Y CENTRO  
LUGAR : DISTRITO DE CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - REGION ANCASH  
SOLICITA : HAUG S.A. (ING. FRANCIS MEDINA)  
FECHA : 10 DE NOVIEMBRE DEL 2020

## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ASTM C-39)

N°	MUESTRA DE ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA ESTRUCTURAS	DIAM (Cm)	FECHA DE VACLADO	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD DE CURADO (días)	PRESION MAXIMA (KG)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ADQUIRIDA (%)
01	REPARACION DE ANILLO EXISTENTE MEDIANTE LA CONST. DE ANILLO DE REFUERZO	15.2	27/10/2020	10/11/2020	310	14	62200	342.78	110.57
02	REPARACION DE ANILLO EXISTENTE MEDIANTE LA CONST. DE ANILLO DE REFUERZO	15.0	27/10/2020	10/11/2020	310	14	63850	361.32	116.55

### Observaciones:

Las muestras fueron elaboradas y proporcionadas por el solicitante.  
La descripción y fechas de vaceado de las probetas fueron proporcionadas por el solicitante.  
Se recomienda controlar la trabajabilidad del concreto en obra mediante prueba Slump.

  
POL RAIM AGUILAR OLGUIN  
ING. CIVIL - CIP. N° 81025  
CONSULTOR - REG. C4009





# INGEOTECNIA CONSULTORES & EJECUTORES S.A.C.

Código Ejecutor Obras: 12776

R.U.C. 20445586537

Ejecución de Obras Civiles, Metal Mecánicas, Hidráulicas, viales, portuarias y todo tipo de construcciones afines.  
Alquiler y/o Venta de Bienes en General – Prestación de Servicios Generales – Asesoría y Consultoría de obras.  
Suministro de Maquinaria, Equipos, Herramientas y Materiales en general – Laboratorio de Ensayos de Control de Calidad

OBRA : ADECUACION DE TANQUES AL DS-017-2013-EM TERMINALES NORTE Y CENTRO  
LUGAR : DISTRITO DE CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - REGION ANCASH  
SOLICITA : HAUG S.A. (ING. FRANCIS MEDINA)  
FECHA : 24 DE NOVIEMBRE DEL 2020


## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ASTM C-39)

N°	MUESTRA DE ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA ESTRUCTURAS	DIAM (Cm)	FECHA DE VACLADO	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD DE CURADO (días)	PRESION MAXIMA (KG)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ADQUIRIDA (%)
01	REPARACION DE ANILLO EXISTENTE MEDIANTE LA CONST. DE ANILLO DE REFUERZO	15.1	27/10/2020	24/11/2020	310	28	74810	417.75	134.76
02	REPARACION DE ANILLO EXISTENTE MEDIANTE LA CONST. DE ANILLO DE REFUERZO	15.0	27/10/2020	24/11/2020	310	28	70520	399.06	128.73

### Observaciones:

Las muestras fueron elaboradas y proporcionadas por el solicitante.  
La descripción y fechas de vaceado de las probetas fueron proporcionadas por el solicitante.  
Se recomienda controlar la trabajabilidad del concreto en obra mediante prueba Slump.



  
POL RAIM AGUILAR OLGUIN  
ING. CIVIL - CIP. N° 81029  
CONSULTOR - REG. C4009

## **Anexo 7. Reporte fotográfico**

### Calicata C-01



### Calicata C-02

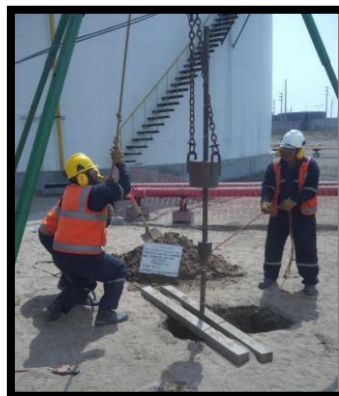


CALICATA N°02  
PROY: ESTUDIO DE MECANICA DE  
SUELOS CON FINES DE CIMENTACION  
LUBIC: TERMINALES DEL PERU  
CHIMBOTE  
TANQUE 14  
CHIMBOTE, 19 DE NOVIEMBRE 2019

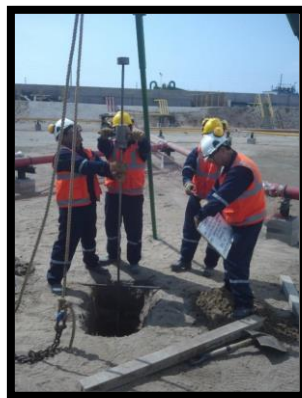
### Ensayo de penetración estándar STP con recuperación de muestras



### Ensayo de penetración con cono sin recuperación CTP



## Ensayo de penetración ligera tipo DPL



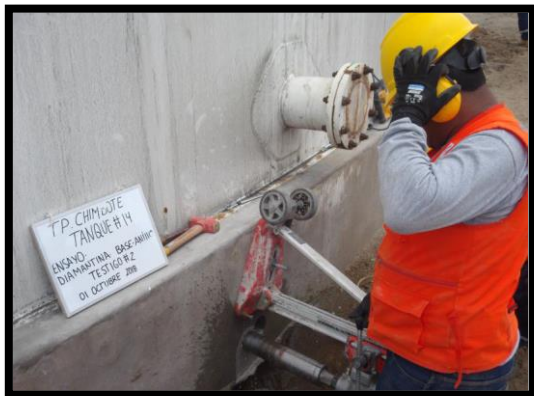
## Ensayo de esclerometría



## Detección del acero de refuerzo del anillo de cimentación del tanque 14



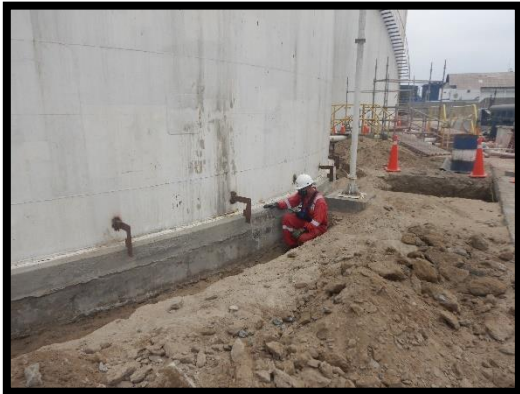
Extracción de testigos de diamantina



Testigos diamantinos extraídos



## Reparación del anillo de cimentación









**Nivelación grout epoxico**







**Instalación de dowels, acero de refuerzo y vaciado de refuerzo de cimentación**









