

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

**Análisis comparativo de la capacidad de carga y asentamiento de masas de suelo en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante métodos semi-empíricos y software**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autores:**

Karla Emperatriz Chávez García  
Geraldine Jessarela Raquel Vega Castro

**Asesor:**

Ing. Roberto Roland Yoctún Ríos

Lima, diciembre del 2020

## DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME

*Roberto Roland Yoctún Ríos* de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***“Análisis Comparativo de la Capacidad de Carga y Asentamiento de Masas de Suelo en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante Métodos Semi-Empíricos y Software”*** constituye la memoria que presentan las **Bachilleres Karla Emperatriz Chávez García y Geraldine Jessarela Raquel Vega Castro** para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, el *23 diciembre* del año 2020.



---

Roberto Roland Yoctún Ríos

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Naña, Villa Unión, a los 10 días día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 17:00 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, el secretario: **Ing. Ferrer Canaza Rojas**... y los demás miembros: **Ing. Reymundo Jaulis Palomino**... y el asesor **Ing. Roberto Roland Yoctún Ríos**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Análisis Comparativo de la Capacidad de Carga y Asentamiento de Masas de Suelo en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante Métodos Semi-Emprícos y Software"

.....de las bachiller/es: a).....**KARLA EMPERATRIZ CHÁVEZ GARCIA**.....

.....b).....**GERALDINE JESSARELA RAQUEL VEGA CASTRO**.....

Conducente a la obtención del título profesional de.....

.....**INGENIERO CIVIL**.....

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a las candidatas hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por las candidatas. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **KARLA EMPERATRIZ CHAVEZ GARCIA**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Candidato (b): ..... **GERALDINE JESSARELA RAQUEL VEGA CASTRO**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a las candidatas a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Leonel  
Chahuares Paucar

  
\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. Ferrer Canaza  
Rojas

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Ing. Roberto  
Roland Yoctún  
Ríos

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Ing. Reymundo  
Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Karla Emperatriz  
Chavez Garcia

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Geraldine Jessarela  
Raquel Vega  
Castro

## **Dedicatorias**

A mis padres Enrique y Raquel, motivo de inspiración, ejemplo de trabajo y perseverancia. A mis hermanos Diego y Anthony por su apoyo incondicional. Y por último a mis abuelos, Lucila, Fermín y Alicia por su cariño, consejos y comprensión, a todos ellos dedico esta investigación.

**G. J. R. V. C.**

Este logro es dedicado a mis padres Javier y Zoila, por su afección, tenacidad, paciencia y constante soporte en la ejecución de esta tesis. A mi hermana Esthefany, mi ejemplo a seguir. Y a mi hermano Deiby y sobrina Emilia, a quienes deseo impartir un buen modelo en el ámbito profesional.

**K. E. C. G.**

## **Agradecimientos**

Agradecer a Dios por ayudarnos en este largo camino.

A nuestros padres y abuelos por los ánimos y apoyo en todo momento.

A los ingenieros Carlos Tupia, Fiorella Zapata y Ginnie Díaz, que compartieron sus conocimientos y siempre estuvieron dispuestos ayudarnos en el desarrollo de la investigación.

Al asesor el Ing. Roberto Yoctún por su orientación y tiempo en el transcurso de la investigación.

A nuestros amigos que ayudaron en la parte práctica de la investigación, quienes siempre estuvieron prestos apoyar en todo.

Al director de escuela Ing. Leonel Chahuares, a los ingenieros Ferrer Canaza y Reymundo Jaulis por su dedicación en la revisión de nuestra investigación.

## Índice General

<b>CAPÍTULO I. PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>1</b>
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo General .....	5
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
1.4 ANTECEDENTES.....	6
1.4.1 Otros Antecedentes .....	12
1.5 RESEÑA HISTÓRICA .....	14
1.6 MECÁNICA DE SUELOS.....	14
1.6.1 Formación del suelo .....	14
1.6.2 Tipos de suelos.....	16
1.7 EXPLORACIÓN DE SUELOS .....	18
1.7.1 Tipos de Exploración de suelos.....	18
1.7.2 Tipo de Muestras.....	18
1.8 CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	19
1.8.1 SUCS.....	19
1.9 ENSAYOS DE LABORATORIO .....	22
1.9.1 Contenido de humedad.....	22
1.9.2 Método de Relaciones Gravimétricas y Volumétricas .....	22
1.9.3 Granulometría .....	24
1.9.4 Límites de Consistencia .....	25
1.9.5 Corte Directo.....	26
1.9.6 Triaxial.....	26
1.9.7 Valores representativos para el ángulo de fricción interna.....	27
1.10 EQUILIBRIO PLÁSTICO EN LOS SUELOS .....	28
1.10.1 Teoría de Corte Mohr-Coulomb.....	28
1.10.2 Capacidad de carga.....	29
1.10.3 Teoría de Terzaghi (1943).....	31
1.10.4 Teoría de Meyerhof (1963).....	33
1.10.5 Teoría de Hansen (1970).....	35
1.10.6 Teoría de Vesic (1973).....	38
1.11 ASENTAMIENTO ELÁSTICO .....	40

1.12	MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....	45
1.12.1	Software de análisis.....	46
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>		<b>51</b>
1.13	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	51
1.14	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
1.15	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
1.16	POBLACIÓN.....	51
1.16.1	Muestra.....	51
1.17	VARIABLES DE ESTUDIO Y OPERACIONALIZACIÓN .....	52
1.17.1	Variable Independiente:.....	52
1.17.2	Definición de variables:.....	53
1.17.3	Definición Operacional .....	53
1.18	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	54
1.18.1	Instrumentos de Ingeniería .....	54
1.19	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	55
1.19.1	Ubicación de las calicatas.....	55
1.19.2	Reconocimiento en campo .....	55
1.19.3	Extracción de muestras.....	56
1.19.4	Ensayos de Laboratorio .....	56
1.19.5	Análisis Granulométrico por Tamizado (NTP 339.128 – ASTM D 422).....	59
1.19.6	Limite Liquido de los Suelos (NTP 339. 129 – ASTM D 4318).....	60
1.19.7	Limite Plástico de los Suelos (NTP 339.129 – ASTM D 4318).....	60
1.19.8	Método de Relaciones Gravimétricas y Volumétricas (NTP 339.139 - ASTM D 7263) .....	61
1.19.9	Gravedad Especifica de Sólidos (NTP 339.131 – ASTM D 854) .....	61
1.19.10	Corte Directo (NTP 339.171 - ASTM D 3080).....	62
1.19.11	Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado – no drenado para suelos cohesivos (NTP 339.164 - ASTM D 2850).....	62
1.20	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	63
1.20.1	Estratigrafía del suelo de la UPeU.....	63
1.20.2	Contenido de Humedad .....	64
1.20.3	Granulometría de los suelos .....	64
1.20.4	Relaciones Gravimétricas y Volumétricas.....	66
1.20.5	Cono de Arena.....	66
1.20.6	Gravedad Específica de los suelos.....	67
1.20.7	Corte Directo .....	67
1.20.8	Triaxial no consolidado – no drenado .....	68
1.20.9	Modelamiento de los casos de estudio.....	68

<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>71</b>
1.21 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO.....	71
1.22 ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS MDA .....	73
1.23 RESULTADOS DE CAPACIDAD DE CARGA.....	76
1.23.1 Capacidad de Carga Última.....	76
1.23.2 Capacidad de Carga Admisible .....	88
1.24 RESULTADOS DE ASENTAMIENTO.....	94
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
1.25 CONCLUSIONES.....	107
1.26 RECOMENDACIONES .....	108
<b>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....</b>	<b>109</b>
<b>CAPÍTULO VII. ANEXOS .....</b>	<b>113</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Resultados de la Investigación de María Briones y Nelson Irigoín.....	6
<b>Tabla 2</b> Resultados de la Investigación de Ingrid Carranza y Adriana Ponce .....	7
Tabla 3 Resumen de otros antecedentes 1.....	12
Tabla 4 Resumen de otros antecedentes 2.....	13
<b>Tabla 5</b> Efectos de Transportación en Sedimentos. ....	16
<b>Tabla 6</b> Tamaño del grano por tipo de suelo, de acuerdo a cada organización. ....	17
<b>Tabla 7</b> Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. ....	20
<b>Tabla 8</b> Valores representativos para el ángulo de fricción interna.....	27
<b>Tabla 9</b> Factores $S_c$ y $S_v$ en fórmula de Terzaghi para falla general.....	32
<b>Tabla 10</b> Factores de forma, profundidad e inclinación para la fórmula de Meyerhof.....	34
<b>Tabla 11</b> Factores de forma, profundidad, inclinación y terreno para la fórmula de Capacidad de Carga Extendida. .....	37
<b>Tabla 12</b> Factores de base usados en la fórmula de Hansen.....	38
<b>Tabla 13</b> Factores de forma, profundidad, inclinación y terreno para la fórmula de Capacidad de Carga según Vesic. ....	39
<b>Tabla 14</b> Rango de valores típicos de la Relación de Poisson.....	42
<b>Tabla 15</b> Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson para los distintos tipos de suelos. ....	43
<b>Tabla 16</b> Rangos de Modulo de Elasticidad de Suelos de acuerdo al ICG.....	43
<b>Tabla 17</b> Rangos de Relación de Poisson de Suelos de acuerdo al ICG .....	44
<b>Tabla 18</b> Rangos de Módulo de Elasticidad .....	44
<b>Tabla 19</b> Número de calicatas por área. ....	52
<b>Tabla 20</b> Definición Operacional .....	53
<b>Tabla 21</b> Ubicación de calicatas .....	55
<b>Tabla 22</b> Muestra mínima según el diámetro de las partículas.....	58
<b>Tabla 23</b> Masa redondeada para el espécimen de ensayo. ....	61
<b>Tabla 24</b> Data del Contenido de Humedad.....	64
<b>Tabla 25</b> Data de la Granulometría y Clasificación de suelos .....	65
<b>Tabla 26</b> Data de las Relaciones Gravimétricas .....	66
<b>Tabla 27</b> Data de las Relaciones Volumétricas .....	66
<b>Tabla 28</b> Data del Cono de Arena .....	66
<b>Tabla 29</b> Data de la Gravedad Específica .....	67
<b>Tabla 30</b> Data del ensayo Corte Directo .....	67
<b>Tabla 31</b> Data del ensayo Triaxial UU .....	68
<b>Tabla 32</b> Valores empleados en el análisis con software. ....	68
<b>Tabla 33</b> Configuración del Software .....	69
<b>Tabla 34</b> Características del Concreto de Zapata .....	69
<b>Tabla 35</b> Resumen de los resultados de las Propiedades Físicas y Mecánicas de las zonas MDA .....	71
<b>Tabla 36</b> Capacidad de Carga Última (kN/m <sup>2</sup> ) para Df 1.80 m Zapata 1.50 m x 1.00 m .....	85
<b>Tabla 37</b> Capacidad de Carga Última (kN/m <sup>2</sup> ) para Df 1.80 m Zapata 2.00 m x 1.00 m .....	85

<b>Tabla 38</b> Capacidad de Carga Última (kN/m <sup>2</sup> ) para Df 2.60 m Zapata 1.50 m x1.00 m .....	86
<b>Tabla 39</b> Capacidad de Carga Última (kN/m <sup>2</sup> ) para Df 2.60 m Zapata 2.00 m x1.00 m .....	86
<b>Tabla 40</b> Capacidad de Carga Admisible (kN/m <sup>2</sup> ) para Df 1.80 m Zapata 1.50 m x1.00 m.....	90
<b>Tabla 41</b> Capacidad de Carga Admisible (kN/m <sup>2</sup> ) para Df 1.80 m Zapata 2.00 m x1.00 m.....	91
<b>Tabla 42</b> Capacidad de Carga Admisible (kN/m <sup>2</sup> ) para Df 2.60 m Zapata 1.50 m x1.00 m.....	91
<b>Tabla 43</b> Capacidad de Carga Admisible (kN/m <sup>2</sup> ) para Df 2.60 m Zapata 2.00 m x1.00 m.....	92

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Vista del Campus de la UPeU en agosto del 2002.....	1
<b>Figura 2</b> Extracción del Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chosica.....	2
<b>Figura 3</b> a) Vectores del movimiento de la tierra; b) Límites de los esfuerzos principales.....	3
<b>Figura 4</b> Proceso de resolución de problemas de Mecánica de Suelos. ....	3
<b>Figura 5</b> Modelado de suelos mediante softwares: a) Optum G2, b) Autodesk Robot. ....	5
<b>Figura 6</b> <i>Resultado de nueva microzonificación para la ciudad de Bursa.</i> ....	8
<b>Figura 7</b> Mecanismo de falla con OxLim en el suelo sometido a cargas verticales y horizontales en cimentaciones superficiales. ....	9
<b>Figura 8</b> Mecanismo de falla con OxLim en el suelo sometido a cargas verticales y horizontales.....	9
<b>Figura 9</b> a) Ejemplo para el modelamiento SBFEM. b) Simulación usando 8 nodos. c) Gráfico de contorno del desplazamiento vertical.....	10
<b>Figura 10</b> Resultados obtenidos con el Análisis en Plaxis 2D. ....	10
<b>Figura 11</b> Análisis con software del Lotus Riverside.....	11
<b>Figura 12</b> <i>Comparación de cuatro sistemas que describen los suelos basado en el tamaño de partículas.</i> .....	17
<b>Figura 13</b> Diagrama de los componentes del suelo.....	23
<b>Figura 14.</b> Granulometría de las partículas del suelo. ....	24
<b>Figura 15</b> <i>Diagrama del arreglo para la prueba de corte directo</i> .....	26
<b>Figura 16</b> <i>Diagrama del equipo de prueba triaxial.</i> .....	27
<b>Figura 17</b> <i>Circulo de falla por tensión de Mohr</i> .....	29
<b>Figura 18</b> Modos de falla .....	30
<b>Figura 19</b> Método de estimación de la Capacidad de Carga mediante los factores N <sub>c</sub> , N <sub>q</sub> y N <sub>γ</sub> . ....	32
<b>Figura 20</b> Factores de capacidad de carga N <sub>q</sub> , N <sub>c</sub> y N <sub>γ</sub> para Meyerhof y Hansen. ....	35
<b>Figura 21</b> Equivalente y áreas efectivas de cimentaciones. ....	36
<b>Figura 22</b> <i>Valores de α para varias relaciones L/B.</i> .....	41
<b>Figura 23</b> Discretización con elementos triangulares, unidos con nodos.....	45
<b>Figura 24</b> Ejemplo de matriz de rigidez.....	46
<b>Figura 25</b> <i>Modos de deformación</i> .....	47
<b>Figura 26</b> Ejemplos de deformación plana y axisimétrico.....	48
<b>Figura 27</b> Sistema general de coordenadas tridimensionales.....	49
<b>Figura 28</b> Muestra de Estudio.....	52
<b>Figura 29</b> Identificación de calicatas.....	56
<b>Figura 30</b> Muestras alteradas e inalteradas.....	56

<b>Figura 31</b> Método del cono de arena.....	57
<b>Figura 32</b> Contenido de Humedad .....	58
<b>Figura 33</b> Tamizado de la muestra.....	59
<b>Figura 34</b> Granulometría de la muestra.....	59
<b>Figura 35</b> Determinación del límite líquido.....	60
<b>Figura 36</b> <i>Ensayo de límite plástico</i> .....	60
<b>Figura 37</b> Método de la balanza hidrostática.....	61
<b>Figura 38</b> Ensayo de gravedad específica.....	62
<b>Figura 39</b> Ensayo de corte directo.....	62
<b>Figura 40</b> Estratigrafía del suelo de la UPeU.....	63
<b>Figura 41</b> Geometría del modelo con nodos significativos.....	70
<b>Figura 42</b> Trazado de la malla con nodos significativos.....	70
<b>Figura 43</b> Zonificación de las zonas MDA a 1.80m de profundidad.....	74
<b>Figura 44</b> Zonificación de las zonas MDA a 2.60m de profundidad.....	75
Figura 45 Resultado del análisis de la capacidad de carga ultima en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m....	84
<b>Figura 46</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Última en suelos GP.....	87
<b>Figura 47</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Última en suelos SCSM.....	87
<b>Figura 48</b> <i>Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Última en suelos CL y CLML</i> .....	88
<b>Figura 49</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Última en suelos ML.....	88
<b>Figura 50</b> Análisis de la capacidad de carga admisible.....	90
<b>Figura 51</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Admisible en suelos GP.....	92
<b>Figura 52</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Admisible en suelos SCSM.....	93
<b>Figura 53</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Admisible en suelos CL y CLML.....	93
<b>Figura 54</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Admisible en suelos ML.....	94
<b>Figura 55</b> Resultado del análisis de asentamiento máximo en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m.....	95
<b>Figura 56</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento en suelos GP.....	96
<b>Figura 57</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento en suelos SCSM.....	96
<b>Figura 58</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento en suelos CL y CLML.....	97
<b>Figura 59</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento en suelos ML.....	97
<b>Figura 60</b> Deformación de la malla con un asentamiento controlado a 0.025 m en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m.....	98
<b>Figura 61</b> Análisis del asentamiento controlado a 0.025m en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m.....	99
<b>Figura 62</b> Capacidad de carga con un asentamiento controlado a 0.025m en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m.....	100
<b>Figura 63</b> Gráfico comparativo aumentado de Capacidad de Carga vs Asentamiento suelos GP.....	101
<b>Figura 64</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento controlado en suelos GP.....	102
<b>Figura 65</b> <i>Gráfico comparativo aumentado de Capacidad de Carga vs Asentamiento suelos SCSM</i> .....	102
<b>Figura 66</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento controlado en suelos SCSM.....	103
<b>Figura 67</b> Gráfico comparativo aumentado de Capacidad de Carga vs Asentamiento suelos CL y CLML.....	103
<b>Figura 68</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento controlado en suelos CL y CLML.....	104

<b>Figura 69</b> Gráfico comparativo aumentado de Capacidad de Carga vs Asentamiento suelos ML. ....	104
<b>Figura 70</b> Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento controlado en suelos ML. ....	105
<b>Figura 71</b> Gráfico general de capacidad de carga controlada obtenida mediante Plaxis No Saturado.....	105
<b>Figura 72</b> Gráfico general de capacidad de carga controlada obtenida mediante Plaxis Saturado.....	105
<b>Figura 73</b> Gráfico general de capacidad de carga controlada obtenida mediante Asentamiento Elástico.....	106

## Índice de Anexos

<b>Anexo A Mapas</b> .....	113
<b>Anexo B Ensayos de Laboratorio</b> .....	115
<b>Anexo C Planos</b> .....	191

## Abreviaturas y Símbolos Usados

- B : Ancho de la cimentación.
- c : Cohesión.
- CL : Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
- Df : Profundidad de desplante.
- e : Relación de vacíos.
- E : Módulo de Elasticidad.
- MEF : Método de Elementos Finitos.
- FS : Factor de seguridad.
- GP : Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.
- $k_{py}$  : Coeficiente de empuje pasivo.
- L : Longitud de la cimentación.
- m : Unidad métrica.
- MDA : Muestras de Análisis.
- ML : Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
- NTP : Norma Técnica Peruana.
- Qadm : Capacidad de carga admisible.
- Qu : Carga última.
- Se : Asentamiento elástico.
- SC : Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
- SM : Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
- SUCS : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- u : Relación de Poisson.

$w$  : Contenido de Humedad

$\phi$  : Angulo de fricción.

$\Psi$  : Angulo de dilatancia.

$\gamma$  : Peso específico del suelo.

$\gamma_s$  : Peso seco del suelo.

$\gamma_{sat}$  : Peso saturado del suelo.

$\sigma$  : Esfuerzo normal.

## **Resumen**

Los suelos son materiales altamente complejos ya que no son creados por el ser humano y existen varios tipos con distintas características y comportamientos, razón por la cual es difícil obtener un valor exacto sobre la capacidad carga o asentamientos a producirse. Se han presentados muchos casos donde los suelos tienen asentamientos de hasta 7 m o en otros casos llegan al colapso.

En el caso de la Universidad Peruana Unión, al ser un área con altas expectativas de crecimiento, se propone estudiar los suelos de la misma y así poder tener un estimado del comportamiento del suelo al someterlo a cargas de edificaciones de 6 hasta 10 pisos. Por lo cual se planteó caracterizar física y mecánicamente las propiedades de los suelos a profundidades de 1.80 m y 2.60 m, zonificando las áreas de toma de Muestras De Análisis (MDA) y asignándole el nombre de “M” a la primera área, “D” a la segunda y a la tercera “A”.

Se realizaron calicatas de hasta 3.55m de profundidad, y los ensayos realizados fueron: contenido de humedad, granulometría, relaciones gravimétricas y volumétricas, gravedad específica, densidad in situ, corte directo y triaxial no consolidado no drenado. Obteniendo como resultados suelos GP, SCSM, CL, CLML y ML, con los cuales se emplearon las fórmulas semi-empíricas de Terzaghi, Hansen, Meyerhof, Vesic y se compararon con análisis realizados en el software Plaxis, en relación a la capacidad de carga. Y en función a los asentamientos se empleó la fórmula básica de Asentamiento Elástico y se comparó con el mismo software.

**Palabras clave:** suelo, SUCS, capacidad de carga, esfuerzos, asentamiento.

## **Abstract**

The soils are highly complex materials since they are not created by the human being and there are several types with different characteristics and behaviors, reason why it is difficult to obtain an exact value on the capacity load or settlements to be produced. There have been many cases where the soils have settlements of up to 7 m or in other cases reach collapse.

In the case of the Universidad Peruana Union, being an area with high expectations of growth, it is proposed to study the soils of the same and thus be able to have an estimate of the behavior of the soil when subjected to loads of buildings from 6 to 10 floors. Therefore it was proposed to physically and mechanically characterize the properties of soils at depths of 1.80 m and 2.60 m, zoning the areas of sampling analysis (MDA) and assigning the name of "M" to the first area, "D" to the second and third "A".

Tests were carried out up to 3.55 m deep, and the tests performed were: moisture content, granulometry, gravimetric and volumetric relations, specific gravity, density in situ, direct cut and unconsolidated non-drained triaxial. The results obtained were GP, SCSM, CL, CLML and ML soils, with which the semi-empirical formulas of Terzaghi, Hansen, Meyerhof, Vesic were used and compared with analyses carried out in the Plaxis software, in relation to the load capacity. And according to the settlements, the basic formula of Elastic Settlement was used and compared with the same software.

**Keywords:** soil, SUCS, load capacity, stresses, settlement.

## Capítulo I. Problemática

### 1.1 Identificación del Problema

Existen en el mundo edificaciones importantes que ha sufrido fallas inminentes, una de ellas son los asentamientos diferenciales, tal es el caso del Palacio de las Bellas Artes de México, que se asentó 2m; la Torre de Pisa, con diferentes asentamientos, siendo 1 m por el norte y cerca de 3 m por el sur. Otra falla que se presenta son los movimientos ascensionales, como el ocurrido en edificaciones construidas en Coro - Venezuela, que se producen cuando el terreno se expande debido a que disminuye la presión del suelo de fundación y/o cuando aumenta la humedad del mismo (Lambe, 2012). Todo esto por el desconocimiento de los tipos de suelos que se encuentran en la zona de fundación y era muy común antiguamente, ya que la mecánica de suelos no estaba muy desarrollada o no le prestaban la debida importancia.

Como se observa en la Figura 1 las áreas libres del campus de la Universidad Peruana Unión (UPeU) eran zonas de cultivo, lo que indica que son suelos orgánicos. Normalmente los suelos con contenido de materia orgánica son solo superficiales, pero no se recomiendan para el apoyo de cimentaciones debido a que son inestables y deformables. A pesar de observarse este uso de suelos en el año 2002, es más crucial saber el origen de los suelos.

**Figura 1**  
*Vista del Campus de la UPeU en agosto del 2002.*



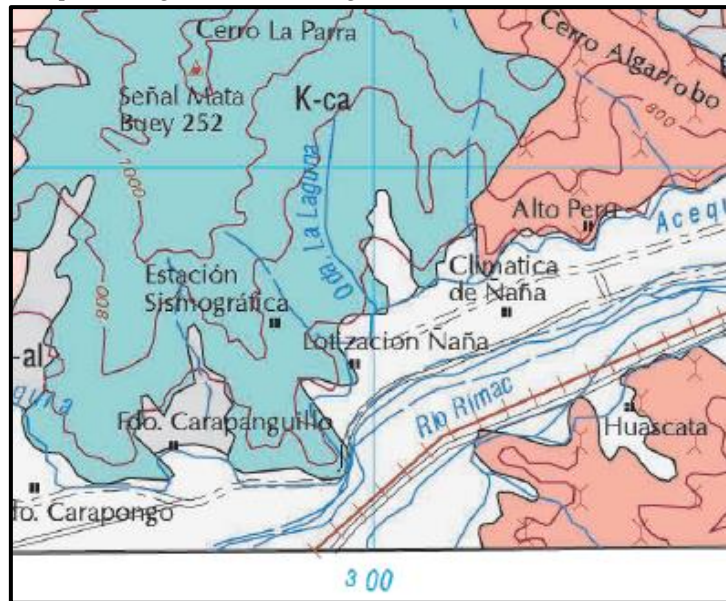
*Nota:* Tomado de Google Earth Pro.

De acuerdo al mapa geológico para el cuadrángulo de Chosica, mostrado en el Anexo A, las zonas inmediatas al río Rímac le pertenecen a la litografía de depósitos aluviales de la serie Pleistocena y Holocena, unidades estratigráficas del Grupo Casma aguas abajo y de la Familia

Arahuay aguas arriba, así como también rocas del tipo Tonalita-Diorita y Tonalita – Granodiorita. El campus de la UPeU está ubicado exactamente entre el Grupo Casma y los Depósitos aluviales (Qh-al) que son suelos depositados relativamente nuevos como se muestra en la **Figura 2** Estos depósitos aluviales normalmente contienen arenas, arcillas, gravas y cantos rodados, las cuales deben ser determinados mediante ensayos.

**Figura 2**

*Extracción del Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chosica.*



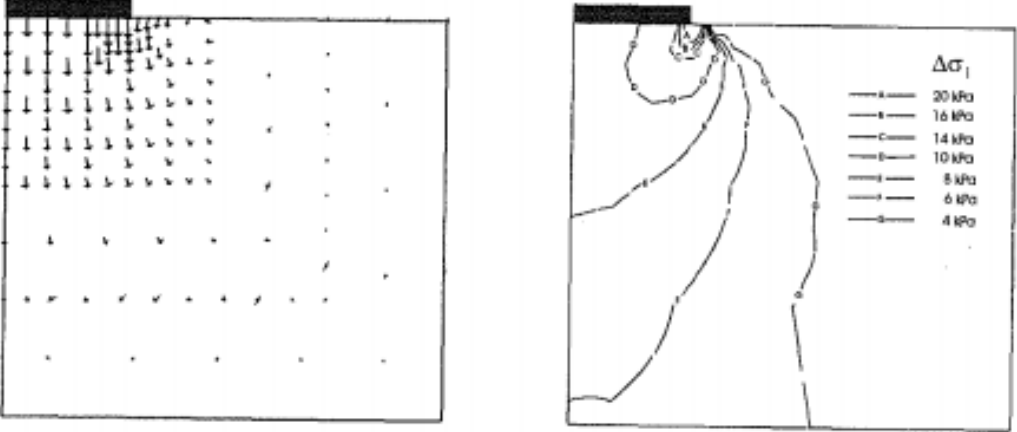
*Nota: Tomado del Reporte Técnico: "Zonificación sísmica geotécnica de la cuenca del río Rimac: Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo", por INGEMMET, 1992.*

Por otro lado, las construcciones de la UPeU suelen ser del tipo A, B y C (Norma E 0.30), Siendo el tipo A el más usual, específicamente el tipo A2. Esta categoría se refiere a edificaciones esenciales donde el daño por sismo debe ser leve, pudiendo ser ocupada luego del sismo. Al aplicar cargas o ya sean por peso o por sismo, dependiendo de las características físicas y mecánicas de los suelos, estos se comportan de distintas maneras; pudiendo acontecer un cambio en el estado del suelo pasando de sólido a estado líquido, a este fenómeno se le denomina licuefacción; así como también puede presentarse una deformación vertical del terreno, denominados asentamientos.

Por esta razón, se debe conocer la microzonificación geotécnica de las áreas libres y así tener una visión más amplia sobre las zonas más adecuadas para construir y el diseño más óptimo en cimentaciones. Para realizar la microzonificación es necesario saber cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo, con que fórmula se va determinar la capacidad portante y cómo será el comportamiento del suelo al aplicarle cargas. Mientras que, también es necesario conocer cuanto asentamiento se presentaría en las distintas zonas; para esto existen distintos

softwares que modelan el comportamiento de los suelos mediante el MEF (obsérvese en la Figura 3), entre ellos está el software Plaxis, entre otros.

**Figura 3**  
 a) Vectores del movimiento de la tierra; b) Límites de los esfuerzos principales.

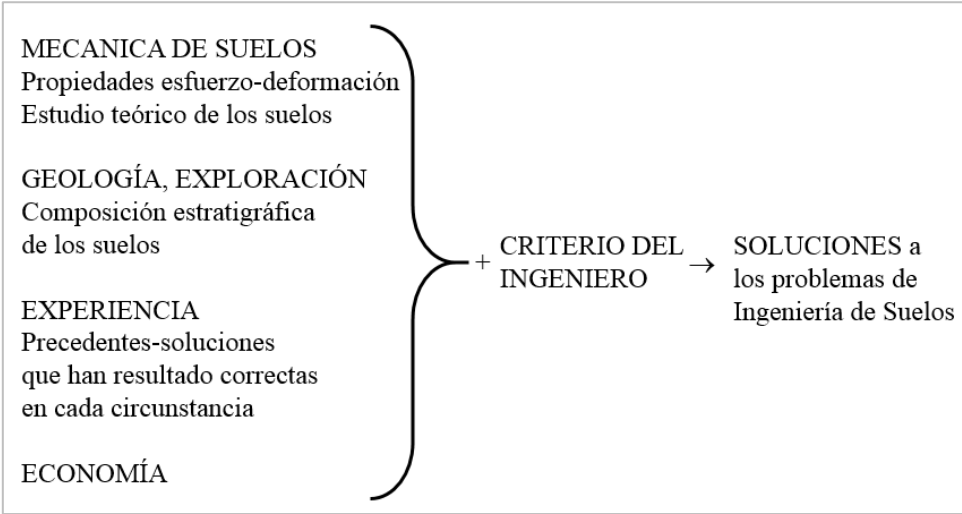


Nota: Tomado de *Finite element analysis in Geotechnical engineering. Theory*, por (Potts & Zdravkovic, 1999).

**1.2 Justificación**

Todo tipo de estructuras de ingeniería civil, de alguna manera, está comprometida con el terreno para todo tipo de obra de ingeniería no es suficiente conocer teorías esenciales, estimaciones y métodos de ensayo, Karl Terzaghi (1996) asegura que es necesario poseer experiencia a través de prácticas por medio de la observación, de modo que sean realistas los conocimientos teóricos y empíricos. Lambe (2012) alega que para resolver adecuadamente los problemas ingenieriles relacionados a suelos es necesario aplicar uno o más de los componentes mencionados en la Figura 4.

**Figura 4**  
 Proceso de resolución de problemas de Mecánica de Suelos.



Nota: Tomado de *Mecánica de Suelos*, por (Lambe, 2012, pág. 28).

Entonces, un estudio de mecánica de suelos en cualquier tipo de edificación es importante, debido a que los suelos son el principal soporte de las edificaciones, y al construir las estructuras, estas aplican un esfuerzo sobre el terreno, razón por la cual también se deben determinar las propiedades esfuerzo-deformación. Si este esfuerzo es mayor que la capacidad portante del suelo, la edificación es propensa a sufrir deficiencias estructurales: asentamientos diferenciales, rotulas plásticas y agrietamiento en elementos estructurales y no estructurales. Estas deficiencias reducen la capacidad estructural de la edificación, y es un costo adicional el del reforzamiento estructural o en otros casos la edificación podría quedar en abandono.

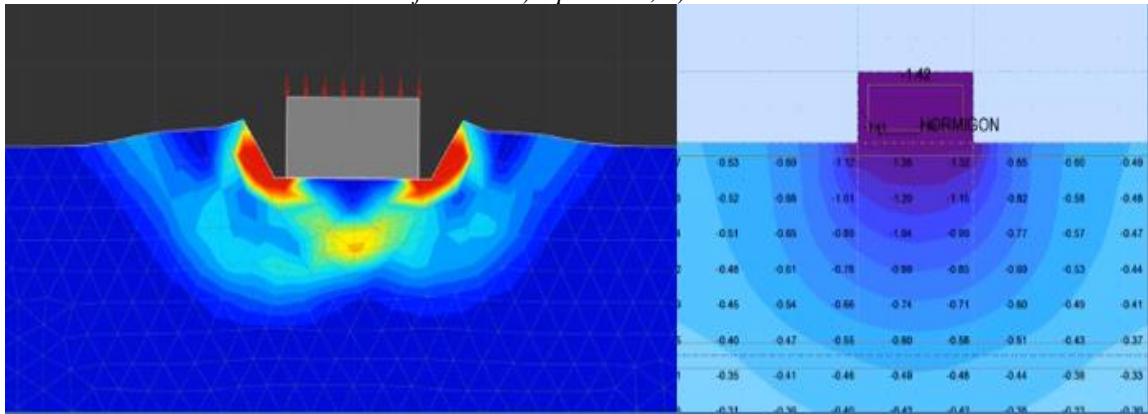
La UPeU tiene una gran extensión de área y el uso de esta es variada (por ejemplo: viviendas familiares, pabellones, iglesia, colegio, etc.), por lo que tiende a tener un crecimiento de infraestructuras a lo largo del campus. Razón por la cual, la trascendencia de esta investigación radica en que al tratarse de edificaciones tipo A2, estas deberían ser seguras en casos de sismo, así mismo, el suelo de su fundación debe tener la capacidad y características necesarias para mantener en pie la edificación. Por tanto, el análisis de capacidad de carga es importante al evaluar la estabilidad de las cimentaciones, así como también el análisis de asentamientos.

En el caso de las microzonificaciones geotécnicas, estas brindan información sobre las propiedades de los suelos, y son consideradas importantes ya que contribuyen en el desarrollo del diseño estructural para edificaciones o cualquier otra obra que se asiente en el suelo de estudio. Consecuentemente, al conocer la microzonificación mencionada se pueden analizar los asentamientos que se presentarían en las distintas zonas demarcadas, mediante métodos que faciliten la obtención de resultados, como el software Plaxis entre otros que trabajan con el MEF de forma que se tiene una predicción aproximada pero más clara del comportamiento a presentarse en la Figura 5.

Por tal motivo, el conocer los distintos tipos de suelos, la capacidad portante del campus y el comportamiento del suelo en función a asentamientos contribuiría significativamente en las decisiones a tomar al definir los proyectos de construcción. Pudiéndose lograr mediante fórmulas semi-empíricas como las de Terzaghi, Meyerhof, Hansen y Vesic, y añadiendo los avances tecnológicos, se podría emplear también los softwares desarrollados por ingenieros especialistas en geotecnia como Plaxis, Optum, Robot y otros.

**Figura 5**

Modelado de suelos mediante softwares: a) Optum G2, b) Autodesk Robot.



Nota: Tomado de (Villaruel, 2017).

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

Analizar de manera comparativa la capacidad de carga y asentamiento de masas de suelo en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante métodos semi-empíricos y software.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación Suelos.
- Zonificar las áreas MDA de acuerdo a sus características físicas proponiendo usos del suelo.
- Comparar la capacidad portante mediante los métodos semi-empíricos de Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic y Software Plaxis.
- Realizar un análisis del asentamiento del suelo ante cargas de cimentación mediante el software de Plaxis y la fórmula de Asentamiento Elástico.

## Capítulo II. Marco Teórico

### 1.4 Antecedentes

El Instituto Geofísico del Perú (2012), a través de Hernando Tavera, realizó un estudio de zonificación sísmica-geotécnica de la Cuenca del río Rímac, que comprende Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo. Contaron con un total de 10 estaciones acelerométricas en la zona de estudio, y revisaron 6 eventos sísmicos que fueron registrados durante el periodo de operatividad. Para los estudios sísmicos y geofísicos emplearon las técnicas de H/V, arreglos lineales, arreglos circulares, de prospección eléctrica y realizaron 15 calicatas de 3 m de profundidad. Luego del análisis e interpretación obtuvieron que los tipos de suelos varían entre suelos rígidos y suelos semi-rígidos, sólo para Carapongo hay una zona con suelos flexibles y sólo para Chosica zonas de  $A_{max} < 2$ . Es de nuestro interés la información proporcionada para la zona de Carapongo, de la cual realizamos una pequeña extracción del Mapa de Tipos de Suelos y el Mapa de Capacidad Portante, como se muestra en el Anexo A.

María Briones y Nelson Irigoín (2015) identificaron que muchos habitantes del Perú construyen sus viviendas sin realizar estudios de mecánica de suelos y en suelos de fundación inestables, a causa del precipitado crecimiento urbano. Considerando específicamente el Sector Lucmacucho Alto mencionan que la zona urbana está distribuida de manera desordenada y masificada, sin ninguna planificación ya que los pobladores no tienen conocimientos técnicos y no han sido debidamente asesorados. Con el fin de aumentar la calidad de vida de los pobladores de Lucmacucho (en torno a la protección a posibles asentamientos) realizaron una investigación para obtener la capacidad portante mediante el método de Terzaghi y clasificar los suelos mediante SUCS. Como parte de la investigación ejecutaron 17 calicatas, distribuidas por el método de cuadrículas de 6 Ha, a una profundidad de 1.50m. y como resultado de los ensayos y análisis realizados obtuvieron una zonificación de 4 tipos:

**Tabla 1**

*Resultados de la Investigación de María Briones y Nelson Irigoín.*

<b>ZONA</b>	<b>Cantidad de calicatas</b>	<b>Qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación SUCS</b>
<b>I</b>	7	0.0 – 0.5	OH, OL y MH
<b>II</b>	5	0.5 – 1.0	CL, CH y ML
<b>III</b>	3	1.0 – 1.5	SM y SC
<b>IV</b>	2	2.0 – 2.5	GC

Nota: Tomado de la investigación, por (Briones & Irigoín, 2015)

Ingrid Carranza y Adriana Ponce (2017) mencionan que los estudios de Geotecnia son la base de todo proyecto de construcción ya que de ellos parten los parámetros en el diseño estructural de cimentaciones. Los investigadores corroboraron que el Sector III del Centro Poblado el Milagro no contaba con Estudios Básicos de Ingeniería, ya que se ha construido edificaciones de manera informal y se han presentado patologías en las viviendas antiguas. El Sector III cuenta con un área aproximada de 1 Ha, y según la norma determinaron que se debían realizar 10 calicatas, la cuales se ejecutaron a una profundidad de 3 m con la ayuda de una retroexcavadora. Realizaron los ensayos de Determinación de Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Gravedad Específica y Corte Directo; y el método empleado para calcular la capacidad de carga fue el de Terzaghi. Finalmente se obtuvo como resultado 4 zonas:

**Tabla 2**

*Resultados de la Investigación de Ingrid Carranza y Adriana Ponce*

<b>ZONA</b>	<b>Clasificación SUCS</b>	<b>Clasificación ASSHTO</b>	<b>Qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>I</b>	GW	A-1-a(0)	3.51 – 5.36
<b>II</b>	GW	A-1-a(0)	3.44 – 5.26
<b>III</b>	GW	A-1-a(0)	3.47 – 5.30
<b>IV</b>	GW	A-1-a(0)	3.37 – 5.15

*Nota:* Tomado de la investigación, por (Carranza & Ponce, 2017).

Aunque, a nuestro parecer, la Tabla 2 de acuerdo a sus resultados se pudo zonificar en una sola zona, ya que las características son muy similares.

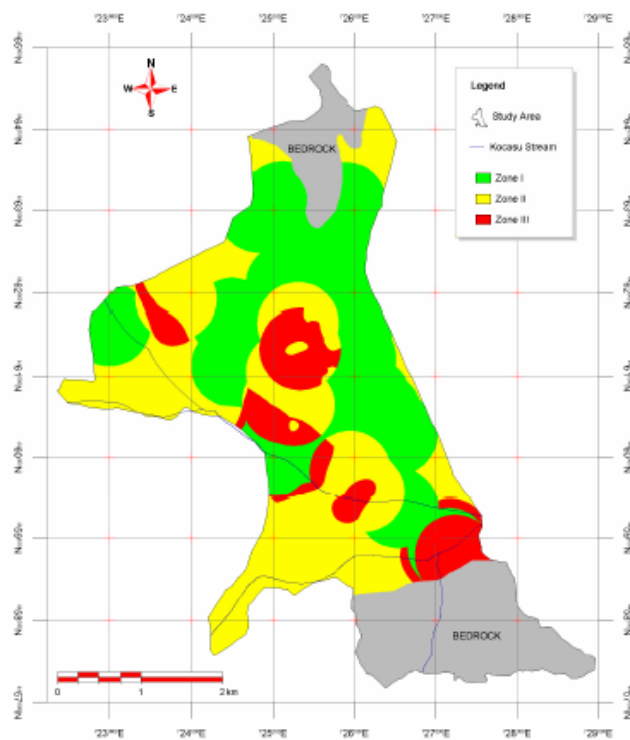
Jhaquelynn Celis y Tito Villacis (2018) ante el acelerado crecimiento de la población de Shamboyacu, aseguran que las edificaciones construidas no cumplen con la norma E.050 de suelos y cimentaciones, lo que significa que se tiene la población está en peligro. Con este criterio previo, plantean elaborar una zonificación en base a capacidad portante y características físicas del suelo, información que sería en beneficio de la Municipalidad Distrital de Shamboyacu y pobladores. Obtuvieron como resultado una sola zona, Zona I, la cual tiene un Qadm de 0.90-0.97Kg/cm<sup>2</sup>, con suelos CL, GM y GP. Y proponen, para el terreno estudiado, cimentaciones superficiales como zapatas aisladas y cimientos corridos a una profundidad de 1.50m.

Kolat (2010) afirma que Turquía es uno de los países con mayor actividad sísmica, y la ciudad de Yenişehir es una zona de primer grado de sismicidad que a su vez tiene un crecimiento

poblacional anual de 2.5% lo que se entiende como una ciudad densamente poblada. Y, es un área de asentamiento en desarrollo por lo cual propuso desarrollar un nuevo modelo de microzonificación geotécnica, de manera que se determinen las zonas idóneas para áreas residenciales. Su investigación estuvo basada en propiedades físicas, comportamiento dinámico, clasificación de suelos mediante SUCS, amplificación del suelo mediante una ecuación empírica basada en la estimación de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ), periodo predominante del suelo, fenómenos de resonancia y potencial licuefacción, evaluaciones dimensionales y tridimensionales, los datos de perforaciones microtremores los obtuvieron de estudios previos. Como resultado obtuvieron 3 zonas mostradas en la Figura 6.

**Figura 6**

*Resultado de nueva microzonificación para la ciudad de Bursa.*

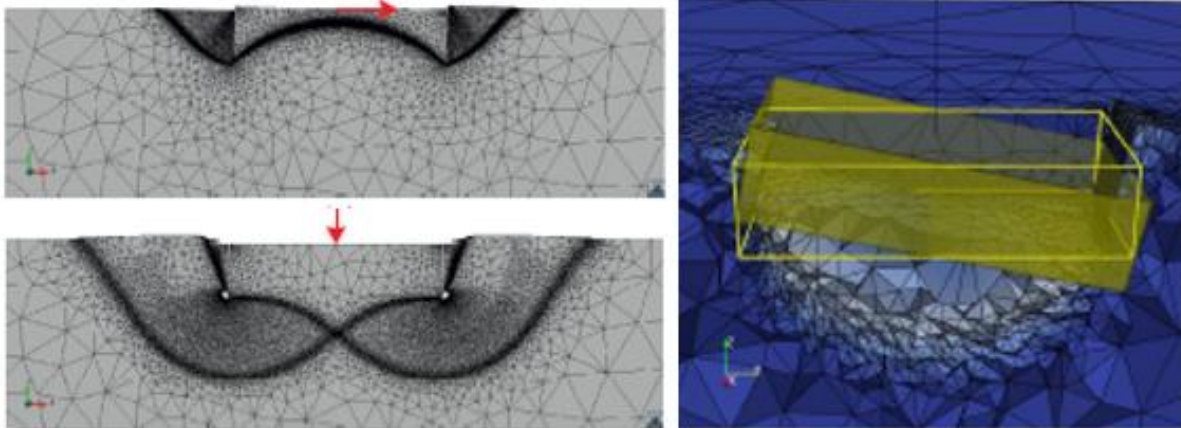


*Nota: Tomado de la investigación, por (Kolat, 2010, pág. 133).*

Dunne (2017) menciona que los análisis de capacidad son comunes como paso preliminar en el diseño de cimentaciones costeras, pero muchos métodos tradicionales eran inexactos y por lo que los diseñadores debían emplear métodos más complejos para optimizar las cimentaciones. Para su investigación emplea el análisis de elementos finitos 3D con el software OxLim para hallar rigurosamente las capacidades en el límite inferior y superior de cimentaciones superficiales, cimentaciones caisson y cimentaciones de pilotes híbridos de lodo en arcillas no drenadas. Parte de los resultados del análisis realizado se muestra en la Figura 7 y en la Figura 8.

**Figura 7**

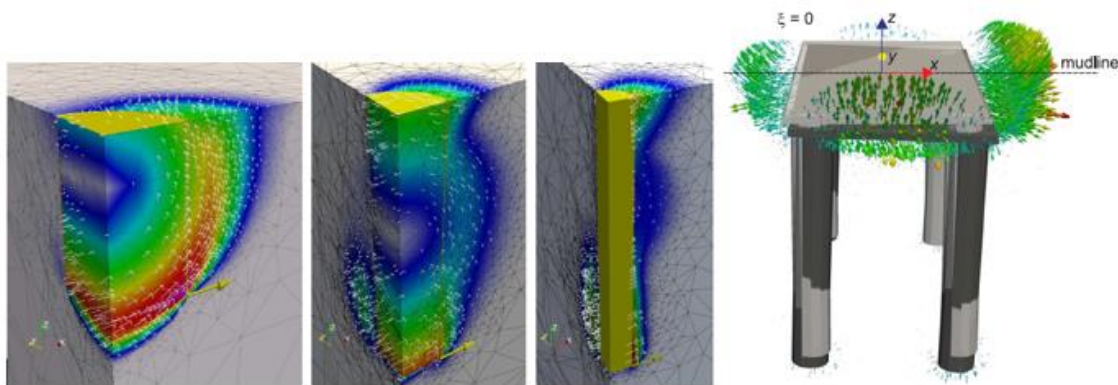
*Mecanismo de falla con OxLim en el suelo sometido a cargas verticales y horizontales en cimentaciones superficiales.*



*Nota:* Tomado de *Finite Element Limit Analysis of Offshore Foundations on Clay*, por (Dunne, 2017, págs. 95,96,117).

**Figura 8**

*Mecanismo de falla con OxLim en el suelo sometido a cargas verticales y horizontales.*



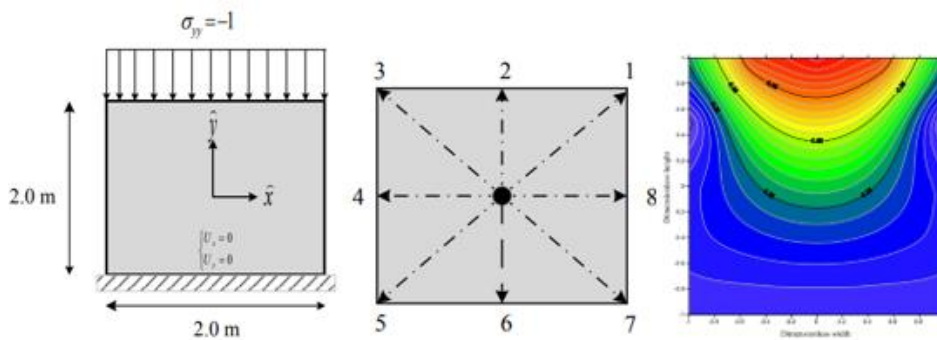
*Nota:* En cimentaciones Caisson y Pilotes Híbridos,. Tomado de la investigación, por (Dunne, 2017, págs. 141,201).

Dunne (2017) entre sus conclusiones tiene que, en cimentaciones superficiales se reduce la capacidad del suelo en 18% al tener un terreno con 5° de inclinación; se puede aplicar una carga muerta vertical de hasta la mitad de la capacidad vertical final con un efecto mínimo sobre la capacidad de carga viva para la carga horizontal en conjunción con niveles prácticamente factibles de carga torsional de momento. Para cimentaciones Caisson, estos tienen un punto de fijación de carga óptimo que es independiente de la longitud a la proporción del diámetro, este es  $0.6L$  en suelos uniformes y  $0.7L$  en suelos normalmente consolidados; y la capacidad se redujo por encima del 40% cuando se permitió el contacto entre la interfaz muro-suelo. Finalmente, menciona que empleando una malla gruesa en el análisis de elementos finitos, se obtiene una aproximación rápida de la capacidad para ser comprobada, y que al comparar los resultados de la malla gruesa se encuentra una buena estimación de la capacidad obtenida con una malla más refinada.

Khalaj-Hedayati y Khodakarami (2019) mencionan que existen varios tipos de métodos numéricos como el FEM, Método de Elementos Límite (BEM), Métodos de Límites Escalados (SBFEM), entre otros. En su artículo emplean el Método Elementos Finitos Límite Escalados Desacoplados para resolver las reglas de elementos finitos, de modo que dividen los límites en nodos Gaussian y colocan el Origen de Coordenadas de Localización (LCO) en el centro del área de la forma de dominio. Mencionan también que computarizando una matriz de 16x16 se obtiene resultados más rápidos y cercanos a la exactitud.

**Figura 9**

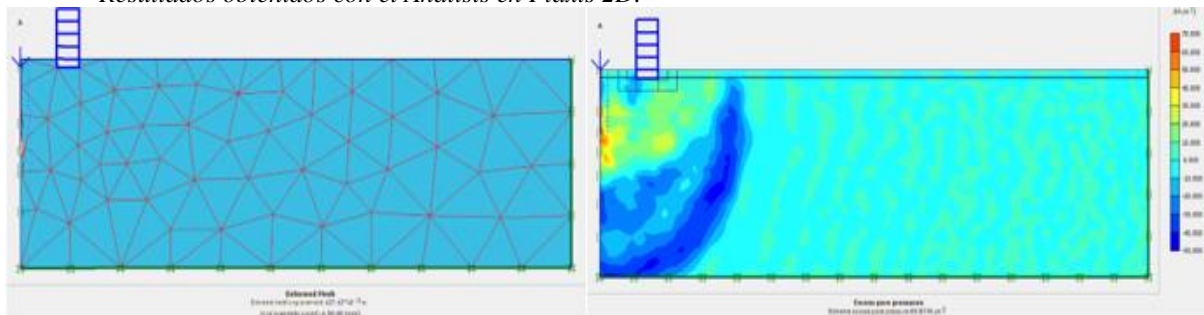
a) Ejemplo para el modelamiento SBFEM. b) Simulación usando 8 nodos. c) Gráfico de contorno del desplazamiento vertical.



Nota: Tomada del artículo, por (Khalaj-Hedayati & Khodakarami, 2019).

**Figura 10**

Resultados obtenidos con el Análisis en Plaxis 2D.



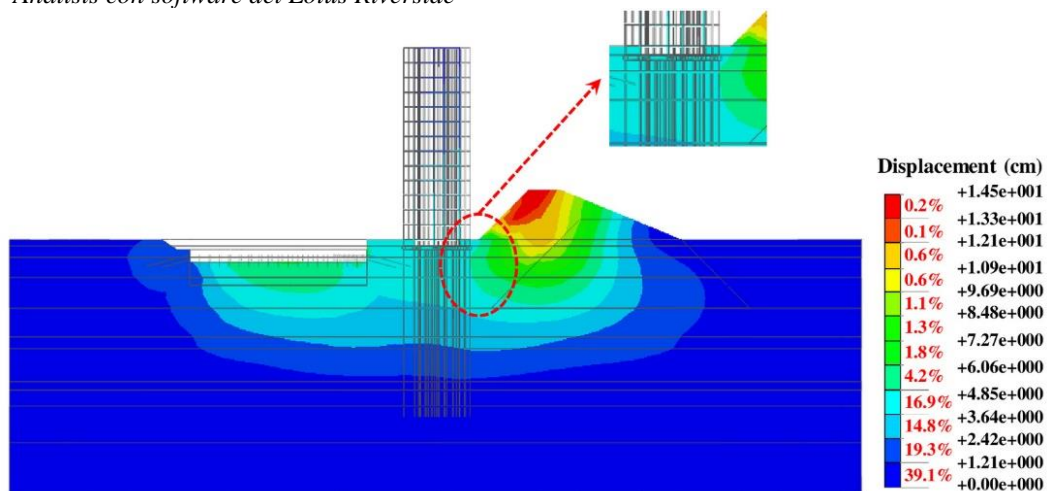
Nota: Tomado de la investigación, por (Basha & Elsiraghy, 2019, pág. 1729).

Basha y Elsiraghy (2019) mencionan que las vibraciones al ejecutar construcciones generan vibraciones en suelo adyacente con variaciones en la intensidad, donde pueden afectarse otras edificaciones. En el caso de pilotes, son instalados comúnmente usando el impacto o martillo vibratorios, cuando el pilote entra en contacto con el suelo circundante las vibraciones se transfieren al suelo ocasionando ondas de vibración que causan daños potenciales a edificaciones existentes. Ante la problemática mencionada emplean el software Plaxis 8.2 2D en la versión dinámica para analizar el pilote por MEF. Se analiza un suelo arenoso con una profundidad de 50m x 150m, la edificación (a 5m del pilote y con una altura 8m) y el pilote

(L=6m) sometido a cargas de martillo de 10Ton. Concluyendo que la presión de poros es mayor en la parte cercana a la fuente de vibración, el asentamiento del suelo alcanza valores altos cerca a la fuente de conducción y el aumento de la rigidez del suelo aumenta la amplitud de vibración lo que a su vez aumenta la presión de poros y el asentamiento.

En el artículo “Capacidad de carga en suelos parcialmente saturados” (García Tristán, Cobelo Cristí, Quevedo Sotolongo, & Castro Martínez, 2014), mencionan que un factor importante en el cálculo de la capacidad portante es la succión, ya que en suelos parcialmente saturados es el principal responsable de la modificación de parámetros mecánicos, incluyendo la tensión de carga y dilatación. Los autores resaltan que el emplear las fórmulas de suelos saturados, como son la Terzaghi, Hansen y otros, subestiman los valores de capacidad de carga y por ende se generan diseños conservadores y costosos. Los ensayos que realizaron fueron: granulometría, peso específico, límites de Atterberg, Proctor modificado, succión y corte directo. Obteniendo un ángulo de fricción de  $47^\circ$  y una cohesión de 0 kPa como parámetro de resistencia del suelo Mariel (denominación de autores). Finalmente obtienen que los suelos granulares tienden a disminuir la capacidad de carga cuando se tienen valores de succión elevados, y que además la capacidad de carga en estado parcialmente saturado es el doble en comparación al estado saturado.

**Figura 11**  
Análisis con software del Lotus Riverside



Nota: Tomado de la investigación, por (Yong, Wei-Zhen, Hai-Sheng, Ye, & Da-Long, 2020).

En la investigación realizada por Yong Tan y otros (2020) emplearon un software para análisis geotécnico forense del colapso del edificio conocido como Lotus Riverside, concluyó que la falla abrupta por vuelco hacia el sur del edificio 7 probablemente se debió a una falla por cizallamiento general sin drenaje de la subrasante debajo de la pila de almacenamiento de 10 m

seguida de una falla por deslizamiento profundamente arraigada de la pila a aproximadamente 1 m al norte del edificio 7. Levantamiento rápido del suelo contra el sótano del edificio dentro de la zona pasiva de falla de capacidad de carga para la subrasante de la pila y el deslizamiento de la masa de suelo produjo instantáneamente un momento de vuelco gigante alrededor del borde sur del edificio, que superó los momentos de resistencia de los pesos del edificio y sus pilotes subyacentes, las fuerzas de tracción de los pilotes, la resistencia del viento sureste y la presión lateral pasiva de la tierra contra el lado sur del sótano del edificio. El análisis es mostrado en la Figura 11.

### 1.4.1 Otros Antecedentes

**Tabla 3**  
*Resumen de otros antecedentes 1.*

Autor	Clasif.	Cohesión	Ángulo de Fricción	B x L	Df	Método	Qu	Qadm
		Kg/cm <sup>2</sup>	°	m x m	m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Teniente, 2016</b>	A-1-a	0.41	31.8	2 x 2	1.8	Terzaghi	28.46	9.49
	A-2-6	0.25	31.8	2 x 2	1.8	Terzaghi	20.22	6.74
	A-1-a	0.41	31.8	2 x 2	1.8	Meyerhof	48.8	16.27
	A-2-6	0.25	31.8	2 x 2	1.8	Meyerhof	32.74	10.91
<b>Celis y Villacis, 2018</b>	GP	0	31	1 x 1	1.5	Terzaghi	28.01	9.34
	CL	0.24	21	1 x 1	1.5	Terzaghi	29.03	9.68
	CL	0	31	1 x 1	1.5	Terzaghi	27.74	9.25
	CL	0	31	1 x 1	1.5	Terzaghi	28.01	9.34
	CL	0	31	1 x 1	1.5	Terzaghi	27.05	9.02
<b>Castillo, 2017</b>	SM	0	35	1.7 x 1.7	1.5	Terzaghi	9.858	3.286
	ML	0	34	1.7 x 1.7	1.5	Terzaghi	8.436	2.812
	ML	0	28	2 x 2	1.5	Terzaghi	3.249	1.083
	SM	0	31	2 x 2	1.5	Terzaghi	5.544	1.848
	ML	0	31	1.9 x 1.9	1.5	Terzaghi	5.7	1.9
	ML	0	31	1.9 x 1.9	1.5	Terzaghi	5.607	1.869
	SM	0	35	1.7 x 1.7	1.5	Terzaghi	9.918	3.306
<b>Fernández, 2015</b>	CL	0.25	14.4	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi y Peck	8.28	2.76
	CL	0.25	14.4	1.5 x 1.5	2.225	Meyerhof	10.98	3.66
	CL	0.25	14.4	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi	8.31	2.77
	CL	0.25	14.4	1.5 x 1.5	2.225	Parry	20.7	6.9
	CL	0.27	14.8	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi y Peck	3.96	1.32
	CL	0.27	14.8	1.5 x 1.5	2.225	Meyerhof	5.55	1.85

*Nota:* Tomado de investigaciones por (Teniente, 2016) (Celis & Villacis, 2018) (Castillo, 2017) (Fernandez, 2015)

**Tabla 4**  
Resumen de otros antecedentes 2.

Autor	Clasif.	Cohesión	Ángulo de Fricción	B x L	Df	Método	Qu	Qadm
		Kg/cm2	°	m x m	m		kg/cm2	kg/cm2
Fernández, 2015	CL	0.27	14.8	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi	3.96	1.32
	CL	0.27	14.8	1.5 x 1.5	2.225	Parry	9.9	3.3
	CL	0.26	14	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi y Peck	10.44	3.48
	CL	0.26	14	1.5 x 1.5	2.225	Meyerhof	14.67	4.89
	CL	0.26	14	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi	10.47	3.49
	CL	0.26	14	1.5 x 1.5	2.225	Parry	26.1	8.7
	CL	0.26	15.3	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi y Peck	5.76	1.92
	CL	0.26	15.3	1.5 x 1.5	2.225	Meyerhof	8.1	2.7
	CL	0.26	15.3	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi	5.79	1.93
	CL	0.26	15.3	1.5 x 1.5	2.225	Parry	14.4	4.8
	CL	0.3	13.9	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi y Peck	9.36	3.12
	CL	0.3	13.9	1.5 x 1.5	2.225	Meyerhof	13.14	4.38
	CL	0.3	13.9	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi	9.39	3.13
	CL	0.3	13.9	1.5 x 1.5	2.225	Parry	23.4	7.8
	CL	0.26	13.1	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi y Peck	3.6	1.2
	CL	0.26	13.1	1.5 x 1.5	2.225	Meyerhof	5.07	1.69
	CL	0.26	13.1	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi	3.6	1.2
	CL	0.26	13.1	1.5 x 1.5	2.225	Parry	9	3
	CL	0.29	13.9	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi y Peck	3.24	1.08
	CL	0.29	13.9	1.5 x 1.5	2.225	Meyerhof	4.56	1.52
	CL	0.29	13.9	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi	3.24	1.08
	CL	0.29	13.9	1.5 x 1.5	2.225	Parry	8.1	2.7
	CL	0.21	15.3	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi y Peck	5.4	1.8
	CL	0.21	15.3	1.5 x 1.5	2.225	Meyerhof	7.59	2.53
	CL	0.21	15.3	1.5 x 1.5	2.225	Terzaghi	5.43	1.81
	CL	0.21	15.3	1.5 x 1.5	2.225	Parry	13.5	4.5
	CL	0.25	14.4	1.5 x 1.5	3	Corte Directo	3.72	1.24
	CL	0.27	14.8	1.5 x 1.5	3	Corte Directo	3.96	1.32
	CL	0.26	14	1.5 x 1.5	3	Corte Directo	3.69	1.23
	CL	0.26	15.3	1.5 x 1.5	3	Corte Directo	4.23	1.41
	CL	0.3	13.9	1.5 x 1.5	3	Corte Directo	4.02	1.34
	CL	0.26	13.1	1.5 x 1.5	3	Corte Directo	3.45	1.15
CL	0.29	13.9	1.5 x 1.5	3	Corte Directo	3.87	1.29	
CL	0.21	15.3	1.5 x 1.5	3	Corte Directo	3.33	1.11	

Nota: Tomado de investigaciones por (Teniente, 2016) (Celis & Villacis, 2018) (Castillo, 2017) (Fernandez, 2015)

## **1.5 Reseña histórica**

En la historia mundial existen obras que muestran clara evidencia del cuidado que se tenía desde tiempos antiguos para las obras de tierra y sobre tierra, obras que hasta el momento de hoy se conservan y son vestigios del conocimiento que tenían los antiguos ingenieros y constructores (Crespo Villalaz, 2015). Entre estas obras están Las Pirámides de Egipto iniciada en el año 2600 a.C. aprox., la Gran Muralla China iniciada en el año 200 a.C. aprox, Pirámides Chichén Itzá, 525 d.C. aprox., y sin mirar tan lejos Caral iniciada entre 3000 y 2500 a.C., Pachacámac iniciada entre 200-600 d.C. aprox., Saqsaywaman iniciada en 1438 aprox., Machu Picchu construida en el siglo XV aprox., Choquequirao iniciada en 1536 aprox., entre otras.

Más adelante, en la historia, también existen obras que deformaron el terreno ya sea por la mala capacidad del suelo o por el sobreesfuerzo, presentándose asentamientos considerables, entre éstos tenemos el Domo Königsberg, con más de 5m de asentamiento; la Torre (Inclinada) de Pisa, con 5m de desplome (Crespo Villalaz, 2015); Palacio de Bellas Artes – México, 3.6m de asentamiento; entre otros (Lambe, 2012).

## **1.6 Mecánica de suelos**

Karl Terzaghi (1943) definió que la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánicas e hidráulica para tratar problemas de ingeniería relacionados con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración mecánica y química de las rocas, independientemente de si contienen o no materia orgánica.

Diaz Rodríguez (2014, pág. 17) menciona que la mecánica de suelos es la rama de la ingeniería geotécnica que estudia el comportamiento de los suelos y sus propiedades. Pero cómo se originan los suelos, qué tipos existen, en qué consisten, cómo se clasifican y cómo se comportan, son temas que se tratarán a continuación.

### **1.6.1 Formación del suelo**

Inicialmente es necesario conocer la definición de la palabra “suelo”, para esto tenemos distintos profesionales y eruditos que lo describen de la siguiente manera:

- Crespo (2015) define el suelo como una delgada capa sobre la corteza terrestre material que se origina de la desintegración y/o alteración de las rocas ya sea física y/o química, y de los residuos de los seres vivos por las actividades que realizan sobre ella.

- Graux (1975) llama suelos sueltos o simplemente suelos a los terrenos cuya capacidad es pequeña y en lo que, por tanto, una excavación de cierta importancia necesita generalmente un apuntalamiento.
- Para un geólogo el suelo es todo material intemperizado en el lugar en el que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2012, pág. 34).

Por lo tanto nuestra definición sobre “suelo” puede ser manifestada de distintas formas dependiendo de el campo en que se está considerando, para un geólogo el suelo es un material que se encuentra en una zona de la superficie relativamente delgada (en la cual se encuentra materia orgánica) hasta el resto de la corteza (o también agrupado bajo el término de roca, independientemente de su dureza). Para nosotros como ingenieros, los suelos serían los depósitos de minerales y partículas o fragmentos orgánicos que cubren gran extensión de la corteza terrestre.

La mayor parte de los suelos que cubren la superficie de la tierra están formados por la erosión de las rocas, por ende, las propiedades físicas del suelo se establecen principalmente por minerales derivados de la roca madre. Entonces el suelo es esencialmente un sistema de partículas. (Lambe, 2012) Los granos minerales que forman la fase sólida de un agregado del suelo son el producto de la intemperización y/o la erosión de la roca, y las propiedades físicas del suelo son dependientes de la forma, tamaño y composición química de los granos (Das, 2015).

La meteorización o intemperismo es el proceso de descomposición de las rocas por procesos mecánicos y químicos, convirtiéndose en fragmentos más pequeños. La meteorización mecánica puede ser causada por la expansión y contracción de las rocas a partir de la ganancia y la pérdida continua de calor, que da lugar a la desintegración final. Otros agentes físicos que ayudan a desintegrar las rocas son los glaciales, el viento, el agua de los arroyos y ríos, y las olas del mar (Das, 2015). Y, estos agentes físicos al intervenir también pueden movilizarlos a otros puntos en los que continúa la acción erosiva (Gonzales, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Los procesos químicos se originan por fenómenos de hidratación, disolución, cementación, etc.; y tienden tanto a disgregar como a cementar, pudiendo contribuir con procesos físicos para posteriormente, unir los productos formados, “dando unión química a las partículas pequeñas, tamaño de suelo, que se forman, aunque la mayor parte de las veces contribuye más a destruir y transformar que unir.” (Gonzales, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 18).

Existen también procesos biológicos por el cual las rocas se disgregan, debido a la acción bacteriana, donde se inducen putrefacciones de materiales orgánicos y se mezcla con otras partículas de origen químico o mecánico (Gonzales, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002). Todo ello da lugar a fenómenos de disgregación y transformación de la roca, creándose el perfil de meteorización.

**Tabla 5**  
Efectos de Transportación en Sedimentos.

	Agua	Aire	Hielo	Gravedad	Organismos
Tamaño	Reducción por disolución, ligera abrasión en suspensión, abrasión e impacto en el arrastre.	Considerable reducción	Considerable abrasión e impacto	Impactos considerables	Ligeros efectos de abrasión por el transporte directo por organismos
Forma y redondez	Redondeo de arenas y gravas	Elevado grado de redondeo	Partículas angulosas y aplanadas (▭)	Angulosas, no esféricas	
Textura superficial	Arena: lisa, pulimentada, brillante  Limo: escaso efecto	El impacto produce superficies mates	Superficies estriadas		
Clasificación por tamaños	Considerable	Muy considerable (progresiva)	Muy escasa	Nula	Limitada

*Nota:* Tomado de *Mecánica de Suelos*, por (Lambe, 2012, pág. 86).

Las rocas meteorizadas pueden mantenerse en el mismo lugar o ser transportados por el hielo, el viento, el agua y la gravedad. Los suelos que permanecen en su lugar de origen se llaman suelos residuales y tienen gradación del tamaño de sus partículas. Los suelos residuales pueden ser descritos como los suelos formados por materiales desintegrados encontrados encima de la corteza rocosa, en varios estados de cementación, y los cuales no han sido sujetos a la transportación y procesos de acomodamiento por efectos del agua y viento. (Taylor, 1961, pág. 72) Y los suelos que han sufrido transporte, formando depósitos coluviales, aluviales, etc., se llaman transportados, y tienen varios grupos de clasificación, ya que depende del modo de transporte y deposición. Este tipo de suelo según el agente de transporte se subdivide en aluviales o fluviales, glaciales y eólicos.

### 1.6.2 Tipos de suelos

Los suelos se dividen en dos grupos:

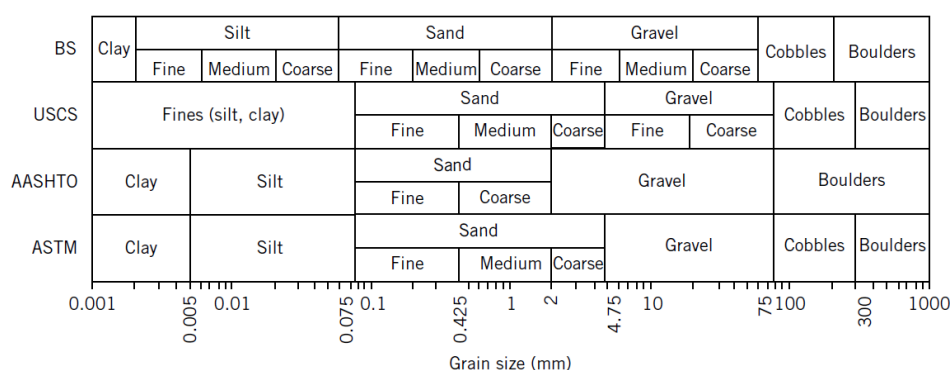
- **Suelos inorgánicos** que se debe a su origen de descomposición ya sea química y/o física, estos suelos se subdividen en suelos residuales y los suelos transportados.
- **Suelos orgánicos** que se forman en su mayoría de manera in-situ y contienen materia orgánica como raíces, entre otros.

Crespo (2015) describe a los suelos más comunes para su identificación (términos generalmente empleados por los ingenieros):

- a) **Gravas:** Fragmentos de rocas, el tamaño de sus partículas está en rangos de 3” a 2 mm. Estas pueden tener forma angular o redondeada dependiendo de su formación y si han sido transportadas.
- b) **Arenas:** Material de grano fino proveniente del desprendimiento externo de la corteza terrestre o por trituración artificial, el tamaño de sus partículas está en rangos de 2 mm a 0.05 mm.
- c) **Limos:** Material de grano fino con muy poca o incluso sin plasticidad, el tamaño de sus partículas está en rangos de 0.05 mm a 0.005 mm.
- d) **Arcillas:** Material fino, es considerado por la plasticidad que tiene, el tamaño de sus partículas es menor a 0.005 mm, algunas entidades consideran su tamaño menor a 0.002 mm.

**Figura 12**

*Comparación de cuatro sistemas que describen los suelos basado en el tamaño de partículas.*



*Nota:* Tomado de *Soil Mechanics and Foundation*, por (Budhu, 2011, pág. 18)

**Tabla 6**

*Tamaño del grano por tipo de suelo, de acuerdo a cada organización.*

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) < 0.075	

*Nota:* Tomado de *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, por (Crespo Villalaz, 2015).

## 1.7 Exploración de suelos

### 1.7.1 Tipos de Exploración de suelos

Dentro de la norma E.050 encontramos los siguientes tipos de exploración de suelos:

- a) Pozos o calicatas
- b) Perforaciones manuales y mecánicas
- c) Método de ensayo de penetración estándar (SPT)
- d) Ensayo de penetración cuasi - estática profunda de suelos con cono y cono de fricción (CPT)
- e) Cono dinámico superpesado (DPSH)
- f) Cono Dinámico Tipo Peck
- g) Método de ensayo normalizado para oscultar con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL)
- h) Método normalizado para el ensayo de corte con veleta de campo en suelos cohesivos
- i) Método de ensayo normalizado para la capacidad portante del suelo por carga estática y para cimientos aislados

Para esta investigación se usarán las calicatas: son excavaciones de formas diversas, en su mayoría rectangulares y circulares, que permiten observar de manera directa el terreno, así como también tomar las muestras y realizar los ensayos in situ que no requieran confinamiento.

### 1.7.2 Tipo de Muestras

Según la norma E. 050 existen dos tipos de muestras, las cuales son inalteradas y alteradas.

#### 1.7.2.1 Muestras inalteradas

Son muestras que al extraerse conservan sus características y condiciones del terreno donde se obtuvo, estas muestras se extraen del fondo o pared de la excavación, se usan para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y se subdividen en:

- **Muestra inalterada en bloque (Mib):** Como su nombre lo dice son muestras extraídas en bloques, las cuales mantienen las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su debido estado natural al momento del muestreo.
- **Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit):** Son muestras extraída en tubos la cuales se usa para determinar propiedades tales como la resistencia, compresibilidad, permeabilidad y densidad del suelo. Este tipo de muestra se utilizan principalmente en suelos cohesivos, blandos o granulares.

### 1.7.2.2 Muestras alteradas

Son muestras de material disgregado o fragmentado en las cuales no es importante conservar las características y condiciones en que se encontraba el terreno del cual se obtuvo la muestra. Se utilizan para determinar las propiedades índices, y se subdividen en:

- **Muestra alterada con bolsa de plástico (Mab):** son muestras que deben mantener inalterada la granulometría del suelo (en su estado natural) al momento del muestreo.
- **Muestra alterada en lata sellada (Mah):** son muestras que deben mantener inalterado el contenido de humedad.

## 1.8 Clasificación de suelos

Existe una gran variedad de suelos en la naturaleza, con distintas propiedades y comportamientos, por esta razón, los sistemas de clasificación brindan un lenguaje común que expresa las características generales (Das, 2015). Cada método tiene un campo de aplicación según la necesidad y uso, por tanto, la clasificación de los suelos será según el tamaño de sus partículas. Entre los distintos sistemas de clasificación tenemos los siguientes: la clasificación de Aeronáutica Civil (C.A.A.), la Asociación Americana de Funcionarios de Caminos Públicos (American Association State Highway Officials), SUCS, etc. (Crespo Villalaz, 2015)

La existencia de esta variedad de sistemas de clasificación de suelos se debe, posiblemente, al hecho de que tanto el ingeniero como el agrónomo y el geólogo analizan al suelo desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, lo fundamental es el hecho de que cualquier clasificación que quiera abarcar las necesidades correspondientes debe estar basada en las propiedades mecánicas de los suelos, ya que estas son elementales en las variadas aplicaciones de la ingeniería (Crespo Villalaz, 2015, pág. 87).

### 1.8.1 SUCS

En un comienzo este sistema de clasificación se llamaba “Sistema de Clasificación de Aeropuertos” y en 1942 A. Casagrande modificó el nombre a “SUCS este sistema fue adoptado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos de América, quienes lo aplicaban, como su nombre lo dice, a las construcciones de aeropistas.

El sistema divide a los suelos en 2 grandes fracciones: la gruesa, formada por partículas mayores que la malla N° 200 (0.074 mm) y menores que la malla de 3” (7.62 cm) y la fina, formada por las partículas que pasan la malla N° 200 (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2012, pág. 150).

**Tabla 7**

*Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.*

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**  
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕ MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA NÚMERO 200 ⊕ MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA POR LA MALLA No. 4 MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA POR LA MALLA No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	ARENAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA POR LA MALLA No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
			u		
	ARENAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		
		SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
	ARENAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA POR LA MALLA No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	ARENAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	
			* SM	d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
		u			
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.		
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	
	<p>DETERMINARSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA. DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIENTE: Menos del 5%: GW, GP, SW, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **</p> <p>G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad</p>				
	<p align="center"><b>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</b></p> <p>The chart plots Liquid Limit (L.L. %) on the x-axis (0 to 100) and Plasticity Index (I.P.) on the y-axis (0 to 60). A diagonal line labeled 'LINEA A' separates the upper and lower regions. A horizontal line at I.P. = 4 separates the upper and lower regions. A vertical line at L.L. = 25 separates the upper and lower regions. The chart also shows the U-line and various soil classification regions (CL, OL, CH, OH, etc.).</p>				

\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

\* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS ÚNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFICIO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFICIO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

*Nota:* Tomado de *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, por (Crespo Villalaz, 2015)

Los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el cribado del material por la malla N° 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicha malla y los finos a los que la pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en la malla N°200. Y fino si más del 50% de sus partículas son menores de dicha malla (Crespo Villalaz, 2015, pág. 88).

Los suelos se designan por símbolo de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba), mientras que los sufijos indican las subdivisiones en dichos grupos (Crespo Villalaz, 2015, pág. 88).

#### **1.8.1.1 Suelos Gruesos**

En los suelos se tienen las gravas (G) y las arenas (S) de tal modo que un suelo pertenece al grupo 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 las gravas como las arenas se dividen en cuatro grupos que son sus prefijos G y S acompañados de los sufijos W, P, M y C. (Crespo Villalaz, 2015, pág. 92).

En el sufijo W (well graded) quiere decir bien graduado, el sufijo P indica pobremente graduadas o mal graduadas (poorly graded gravel), el sufijo M indica limosas, en las que el sufijo M proviene del sueco mo, y el sufijo C indica arcilla (clay) (Crespo Villalaz, 2015).

#### **1.8.1.2 Suelos Finos**

Los suelos finos se subdividen en grupos, tomando en cuenta sus características de plasticidad, las cuales están relacionadas con las propiedades mecánicas e hidráulicas, una de las propiedades que más influyen para la formación de estos grupos es la compresibilidad, la cual está íntimamente ligada con las características de plasticidad, específicamente con el valor del límite líquido (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2012, pág. 150)

Crespo Villalaz menciona:

SUCS considera los suelos finos 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 baja o media, se añade el sufijo L (low compressibility) a los prefijos M, C y O, obteniéndose de ese modo los símbolos ML, CL y OL. (Crespo Villalaz, 2015, págs. 92, 93).

Crespo Villalaz menciona también:

Si el límite líquido es mayor de 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad alta, se añade el sufijo H (high compressibility) y a los prefijos M, C y O, obteniéndose así los símbolos MH (limos orgánicos de alta compresibilidad), CH (arcillas inorgánicas de alta compresibilidad) y OH (arcillas orgánicas de alta compresibilidad) (Crespo Villalaz, 2015, pág. 93).

## 1.9 Ensayos de laboratorio

Las características físicas de los suelos se pueden medir mediante pruebas de laboratorio de muestras extraídas en perforaciones o pozos de prueba. Los resultados de las pruebas de fuerza cortante se pueden usar para calcular la capacidad de carga final de suelos o la estabilidad de las paredes en excavaciones para cimentaciones y presas. Las pruebas de laboratorio proporcionan datos a partir de los cuales es posible clasificar los suelos y hacer predicciones sobre su comportamiento bajo la carga de cimentación. A partir de la información obtenida en las pruebas de laboratorio, se pueden establecer métodos de tratamiento del suelo para superar dificultades en las excavaciones.

Las pruebas del laboratorio deben ser tan simples como sea posible. Los resultados de las pruebas proporcionan una verificación de las descripciones de campo de las perforaciones basadas en la inspección visual y la manipulación de las muestras de suelo. (Tomlinson, 1996, págs. 41,42)

### 1.9.1 Contenido de humedad

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso del agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. (Comité Técnico de Normalización del Perú, 2014)

Se calcula el contenido de humedad de la muestra mediante la siguiente fórmula:

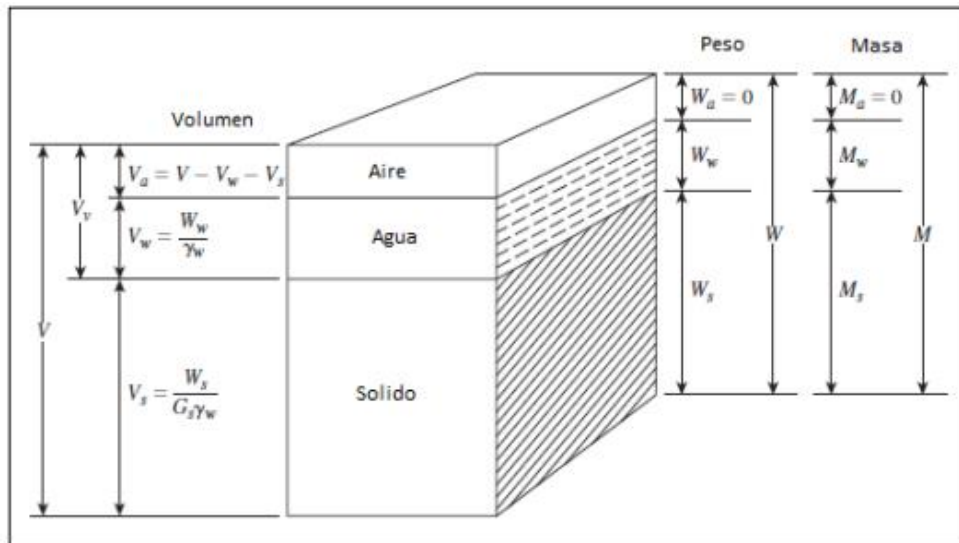
$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{peso de suelo seco al horno}} \times 100 \quad (1)$$

### 1.9.2 Método de Relaciones Gravimétricas y Volumétricas

Para desarrollar las relaciones volumétricas y gravimétricas separamos al suelo en tres fases (i.e. sólido, agua y aire) como se muestra en la Figura 13. Las relaciones volumétricas comúnmente usadas para las tres fases en un elemento de suelo son relaciones de vacíos, porosidad y grado de saturación. Mientras tanto, las relaciones gravimétricas más comunes son el contenido de humedad, el peso específico seco. Estas relaciones son empleadas en muchos cálculos de problemas de suelos, como son: la determinación de la estabilidad de las masas de suelo, la estimación de asentamientos de las edificaciones o para especificar el grado de compactación necesaria en la construcción de terraplenes.

**Figura 13**

*Diagrama de los componentes del suelo.*



*Nota: Tomado de Soils and Foundations, por (Cheng & Jack, 2008).*

### 1.9.2.1 Relación de Vacíos (e)

La relación de vacíos o índice de poros, es la relación que existe entre el volumen de los vacíos y el del sólido de un suelo, y es obtenida mediante la Ecuación 2.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2)$$

Donde:

$V_v$  : Volumen de los vacíos de la muestra del suelo.

$V_s$  : Volumen de sólidos.

### 1.9.2.2 Porosidad (n)

Se define como la relación del volumen de vacíos y volumen total, y es hallada mediante la Ecuación 3.

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (3)$$

Donde:

$V_v$  : volumen de vacíos.

$V_t$  : volumen total.

### 1.9.2.3 Grado de saturación (G)

Es la relación del volumen de agua que contiene el suelo y el volumen de vacíos del mismo, y se emplea la Ecuación 4.

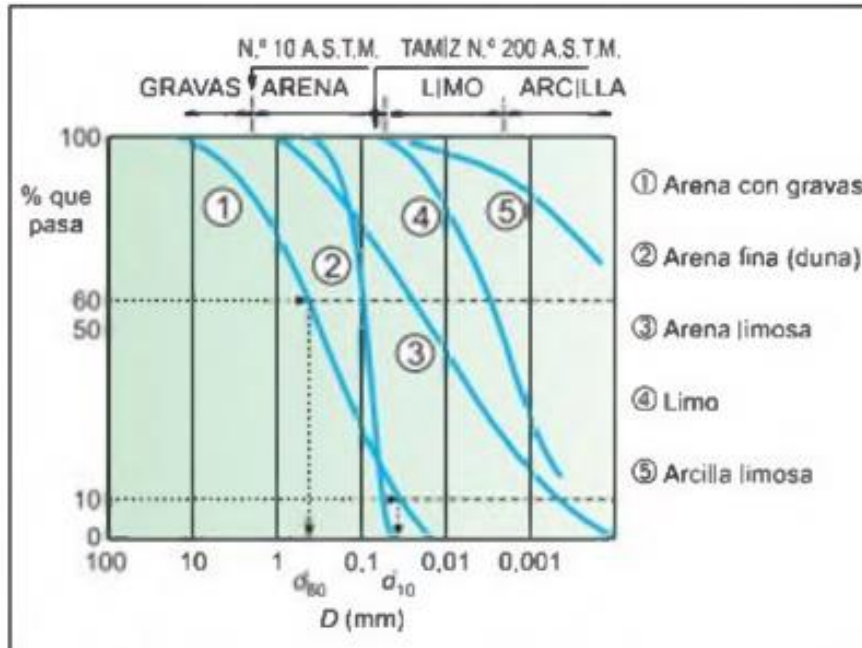
$$G = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (4)$$

### 1.9.3 Granulometría

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño (Ingenieros, 1975).

**Figura 14**

*Granulometría de las partículas del suelo.*



*Nota:* Tomado de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, por (Das, 2015).

Se denomina distribución granulométrica de un suelo a la división del mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes; las partículas de cada fracción se caracterizan por su tamaño se encuentran comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las distintas fracciones, de tal modo que el máximo de una fracción es el mínimo de la que la sigue correlativamente. La separación en fracciones se hace sencillamente por mallas, cuando es posible el cribado; pero en suelos de grano muy pequeño, que forman grumos, deben adaptarse procedimientos bastante más complicados para separar las partículas individuales (Rico Rodriguez & Del Castillo, 2005, pág. 24).

En suelos gruesos, de estructura simple, la característica más importante para definir su resistencia es la compacidad; la angulosidad de los granos y orientación de las partículas que juegan un papel importante, aunque menor (Rico Rodriguez & Del Castillo, 2005, pág. 24).

Para conocer la proporción de cada material que tiene un suelo se realizan análisis granulométricos, utilizando la vía seca para partículas de tamaños superiores a 0.075 mm, y la

granulometría por sedimentación mediante el hidrómetro (vía húmeda) para tamaños iguales o inferiores a 0.075 mm. Los primeros se llevan a cabo tomando una muestra representativa del suelo, secándola y disgregando en seco el conjunto de partículas. A estas muestras se las hacen pasar por un conjunto de tamices agitando el conjunto. Después se pesa lo retenido en cada tamiz, con lo que, conocido el peso inicial de muestra se determina el porcentaje del material. (Gonzales, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 22)

#### **1.9.4 Límites de Consistencia**

La consistencia representa la mayor o menor resistencia que el suelo ofrece para cambiar de forma, y está en función al contenido de agua y de la mineralogía de las partículas. Se relaciona con las fuerzas de atracción entre partículas individuales o agregados de estas partículas (Díaz Rodríguez, 2014, pág. 39). La plasticidad de un suelo se puede definir como la propiedad para cambiar de forma bajo la acción de esfuerzos aplicados, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse, además de mantener la nueva forma al cesar la aplicación de esfuerzos (Díaz Rodríguez, 2014, pág. 39). La plasticidad de un suelo se atribuye a la deformación de la capa de agua absorbida alrededor de los minerales; desplazándose como sustancia a lo largo de la superficie mineral, controlada por la atracción iónica (Duque & Escobar, 2002, pág. 33).

Un suelo está en estado líquido cuando se comporta como un fluido viscoso, deformándose por su propio peso y con resistencia a la cizalladura casi nula. Al perder agua, ese suelo pierde su fluidez, pero continúa deformándose plásticamente; dado que ni pierde su forma, sin agrietarse. Si se continúa con el proceso de secado, el suelo alcanza el estado semi sólido, si al intentar remoldeo se desmorona. Si se saca más agua, a un punto en el cual su volumen ya no se reduce por la pérdida de agua, y el color toma un tono más claro, el estado del suelo se define como sólido (Duque & Escobar, 2002, pág. 33).

El límite líquido de un suelo se determina utilizando la copa de Casagrande y se define como el contenido de humedad, en el que se cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes (Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012, pág. 15)

El límite plástico se define como el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar un rollito de 3.18 mm de diámetro (Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012, pág. 15).

El límite de contracción se define como el contenido de humedad en el que el suelo no experimenta ningún cambio adicional en su volumen con la pérdida de humedad (Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012, pág. 16).

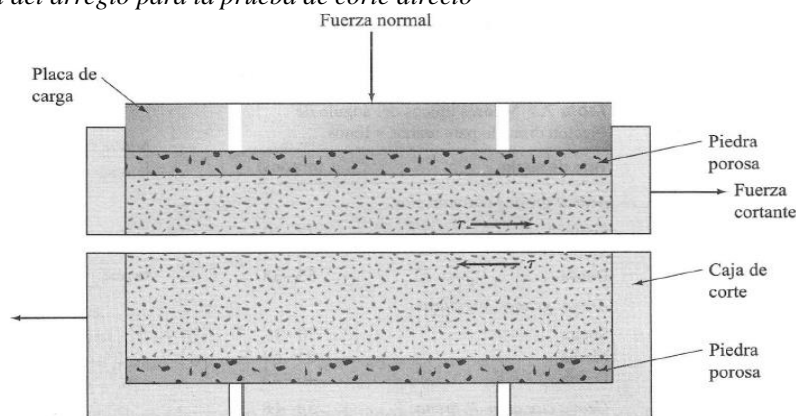
La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo se define como el índice de plasticidad (IP) (Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012, pág. 16).

### 1.9.5 Corte Directo

El corte directo es una prueba antigua y siempre. Consta de una caja de corte, con especímenes pequeños de entre 20 y 25 cm<sup>2</sup>. La caja se corta horizontalmente en dos partes, la fuerza normal es aplicada en la parte superior y la fuerza cortante se aplica moviendo las cajas horizontalmente en sentidos opuestos. En pruebas controladas por el esfuerzo se van aplicando incrementos de cargas hasta conseguir la falla, la cual se lee mediante un micrómetro. Y en pruebas controladas por la deformación unitaria se aplica una fuerza constante de desplazamiento cortante a una mitad de la caja mediante engranes, y la tasa de desplazamiento se mide mediante un micrómetro horizontal. (Das, 2015).

**Figura 15**

*Diagrama del arreglo para la prueba de corte directo*



*Nota: Tomada de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, por (Das, 2015, pág. 212).*

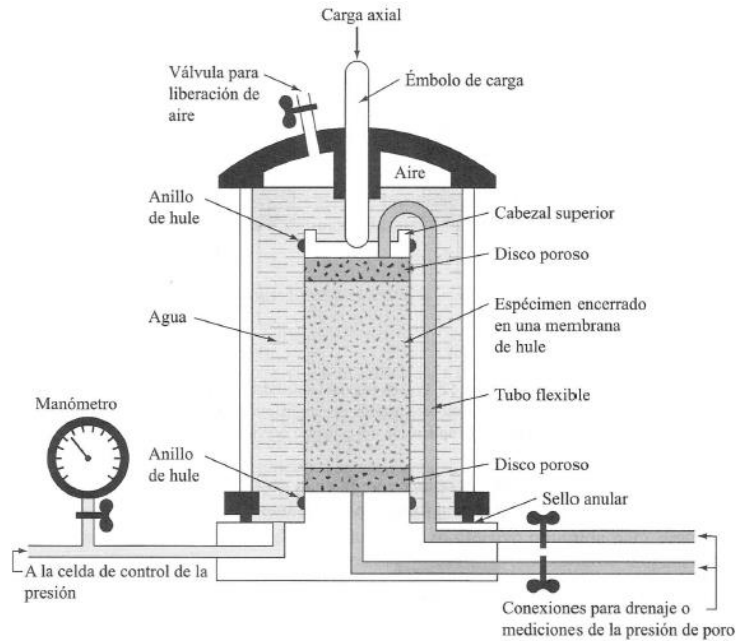
### 1.9.6 Triaxial

Según Das (2015) la prueba triaxial es un método confiable para hallar la resistencia al corte. Para esta prueba se usa un espécimen de suelo de diámetro 36mm y de longitud 76mm aproximadamente. El espécimen se encierra con una membrana delgada de hule y es colocado dentro de una cámara cilíndrica de plástico llenándola con agua o glicerina. Se somete a una presión de confinamiento por compresión del fluido, luego se aplican un esfuerzo axial a través de un embolo vertical, y finalmente el esfuerzo se suma de dos maneras: uno es la aplicación de presión hidráulica o pesos muertos en incrementos hasta la falla; y el otro es la aplicación de

una deformación axial constante mediante una prensa. Existen 3 tipos de pruebas triaxiales: consolidada-drenada (CD), consolidada-no drenada (CU) y no consolidada-no drenada (UU).

**Figura 16**

*Diagrama del equipo de prueba triaxial.*



*Nota:* Tomado de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, por (Das, 2015, pág. 219).

### 1.9.7 Valores representativos para el ángulo de fricción interna

**Tabla 8**

*Valores representativos para el ángulo de fricción interna.*

Soil	Type of test*		
	Unconsolidated-undrained, U	Consolidated-undrained, CU	Consolidated-drained, CD
Gravel			
Medium size	40–55°		40–55°
Sandy	35–50°		35–50°
Sand			
Loose dry	28–34°		
Loose saturated	28–34°		
Dense dry	35–46°		43–50°
Dense saturated	1–2° less than dense dry		43–50°
Silt or silty sand			
Loose	20–22°		27–30°
Dense	25–30°		30–35°
Clay	0° if saturated	3–20°	20–42°

*Nota:* Tomado de *Foundations Analysis and Design*, por (Bowles, 1996, pág. 108).

El ángulo de fricción del suelo es un parámetro de resistencia al corte. Su definición deriva del criterio de falla de Mohr-Coulomb y se utiliza para describir la resistencia al corte por fricción

de los suelos junto con la tensión efectiva normal. En función a los ratios que brindan estudios de laboratorio anteriores que caracterizan propiedades físicas y mecánicas del suelo, se presenta la Tabla 8 para los ratios de ángulo de fricción en suelos como gravas, arenas, limos y arcillas.

## 1.10 Equilibrio plástico en los suelos

### 1.10.1 Teoría de Corte Mohr-Coulomb

Coulomb atribuye que la resistencia al corte de un suelo (tensión de corte o cizallamiento producido sobre un plano al momento de falla) se debe a la fricción que se produce entre las partículas del suelo. Él establece que la falla se da cuando el esfuerzo cortante actuante alcanza el límite máximo de resistencia. No todos los suelos tienen el mismo comportamiento, algunos alcanzan cierta elasticidad; aunque en ocasiones se producen deformaciones mayores al estándar, razón por la que se deben realizar cálculos del comportamiento plástico.

Cuando el suelo es sometido a una fuerza cortante las partículas se desplazan entre sí o se desprenden de una parte con respecto al resto. Entre los comportamientos típicos se tienen el disgregamiento de partículas, corte en líneas de fractura y la fluencia plástica. En todos los comportamientos mencionados, los movimientos son contrarrestados por la resistencia al corte del suelo.

Por lo tanto, Coulomb, basándose en la Ley de Fricción de Amontons para el deslizamiento de dos superficies planas, postula que la Máxima Resistencia al Corte ( $\tau_f$ ) en un plano de falla se determina por la siguiente fórmula:

$$\tau_f = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (5)$$

Para materiales granulares la cohesión es igual a cero, siendo la fórmula la siguiente:

$$\tau_f = \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (6)$$

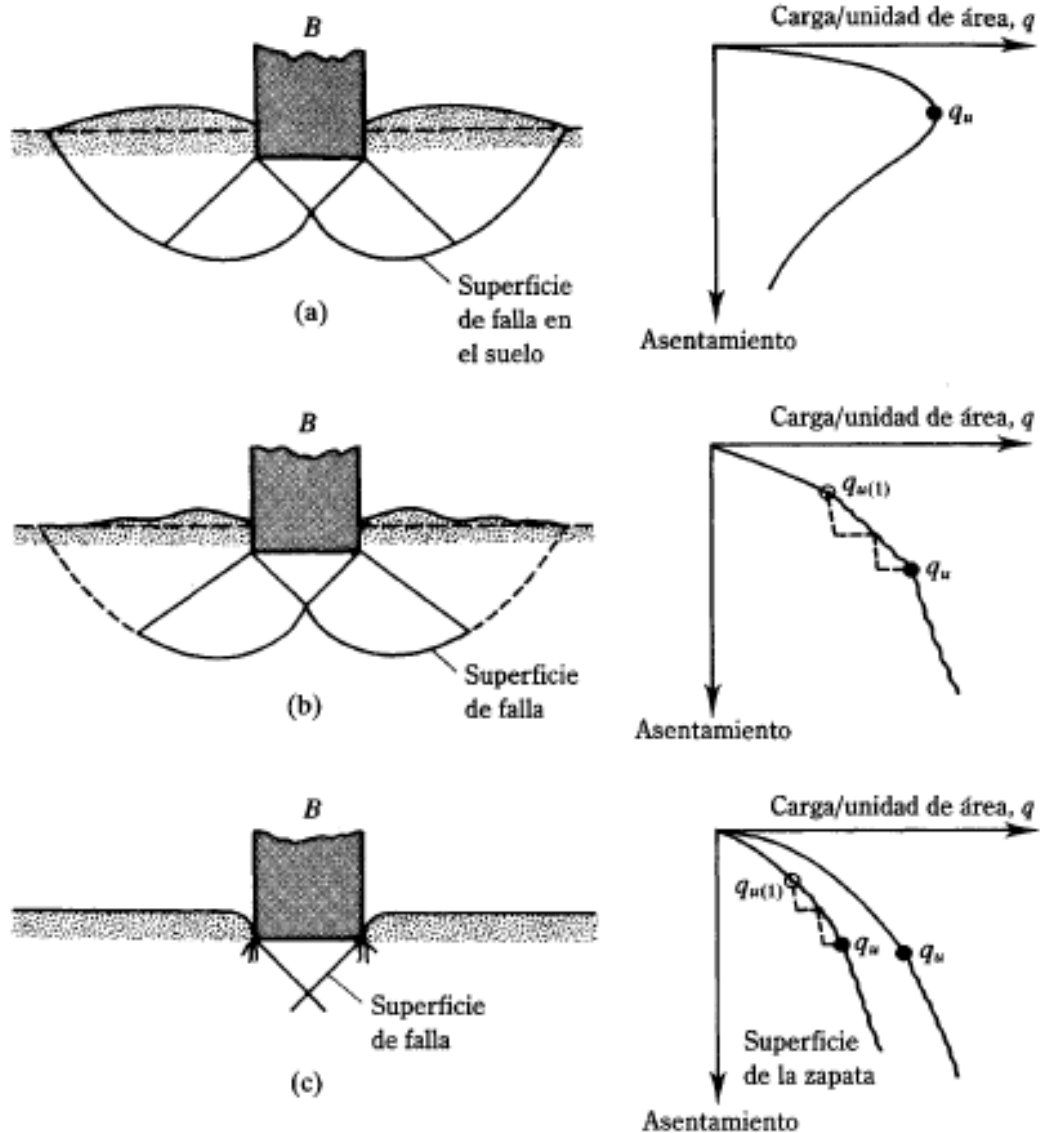
Y cuando son suelos puramente cohesivos, la fórmula es lo contrario de la anterior:

$$\tau_f = c \quad (7)$$

Pero antiguamente estos resultados obtenidos solo eran una aproximación del comportamiento real, debido a que la Ecuación 5 es una ecuación lineal, y el comportamiento del suelo no es lineal. Más adelante aparece Terzaghi quien complementa la formula con el principio de esfuerzos efectivos.



**Figura 18**  
*Modos de falla*



*Nota:* a) Corte General, b) Corte Local y c) Corte por Punzonamiento. Tomado de *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, por (Das, 2012, pág. 153) (Vesic, 1973).

Entre los cálculos de capacidad portante de un suelo se tiene la presión media que se puede aplicar en la zona de contacto suelo-cimentación, o también llamada presión portante admisible, que es la máxima presión que transmite la cimentación al suelo de soporte sin que se efectúen fallas por corte ni mayores asentamientos a los permitidos por norma. También se debe calcular la presión que una zapata puede ejercer para causar una falla por corte al suelo, ésta es llamada capacidad portante última. Finalmente, para los diseños de cimentación se calcula la capacidad portante admisible que es la presión ejercida en el suelo-cimentación con la cual no se producirá una posible falla por corte, la cual está controlada por criterios de asentamiento.

Lambe (Lambe, 2012) menciona que existen dos leyes básicas de la fricción:

4. La resistencia al corte entre dos cuerpos es proporcional a la fuerza normal entre dos cuerpos
5. La resistencia entre dos cuerpos es independiente de la dimensión de los dos cuerpos.

### 1.10.3 Teoría de Terzaghi (1943)

Terzaghi (1943) se basa en las teorías de Rankine y Coulomb, empleando el método de la superposición para el cálculo de la capacidad portante de las zapatas sobre los suelos.

Se indica (Terzaghi, 1943) que al aplicarse cargas sobre el suelo en una región 2B, la zona receptora se desplaza de un estado de equilibrio plástico a un estado de equilibrio elástico, y el ángulo que se forma con la horizontal es de  $45^\circ - \phi/2$ , como se muestra en la figura 19.

$$q_u = cN_c S_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma \quad (8)$$

Donde:

$$q : \gamma \cdot D_f$$

$N_c, N_q, N_\gamma$  : Factores de capacidad portante adimensionales y en función al ángulo de fricción

#### 1.10.3.1 Factores de capacidad de carga (N)

Los factores de capacidad de carga de la Ecuación 8 se pueden hallar con las fórmulas mostradas debajo, que dependiendo del ángulo de fricción se tienen los valores  $N_q$ ,  $N_c$  y  $N_\gamma$  del suelo como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$N_q = \frac{a}{2 \cos^2(45 + \phi/2)} \quad (9a)$$

$$a = e^{2(\frac{3}{4}\pi - \phi/2)\tan\phi} \quad (9a.1)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot\phi \quad (9b)$$

$$N_\gamma = \frac{\tan\phi}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi} - 1 \right) \quad (9c)$$

Donde:

$K_{p\gamma}$  : Coeficiente de empuje pasivo

$$K_{p\gamma} = \left[ \frac{\operatorname{cosec}\beta \operatorname{sen}(\beta + \phi')}{\sqrt{\operatorname{sen}(\beta - \delta)} - \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(\delta + \phi') \operatorname{sen}(\phi' + i)}{\operatorname{sen}(\beta - i)}}} \right]^2 \quad (10)$$

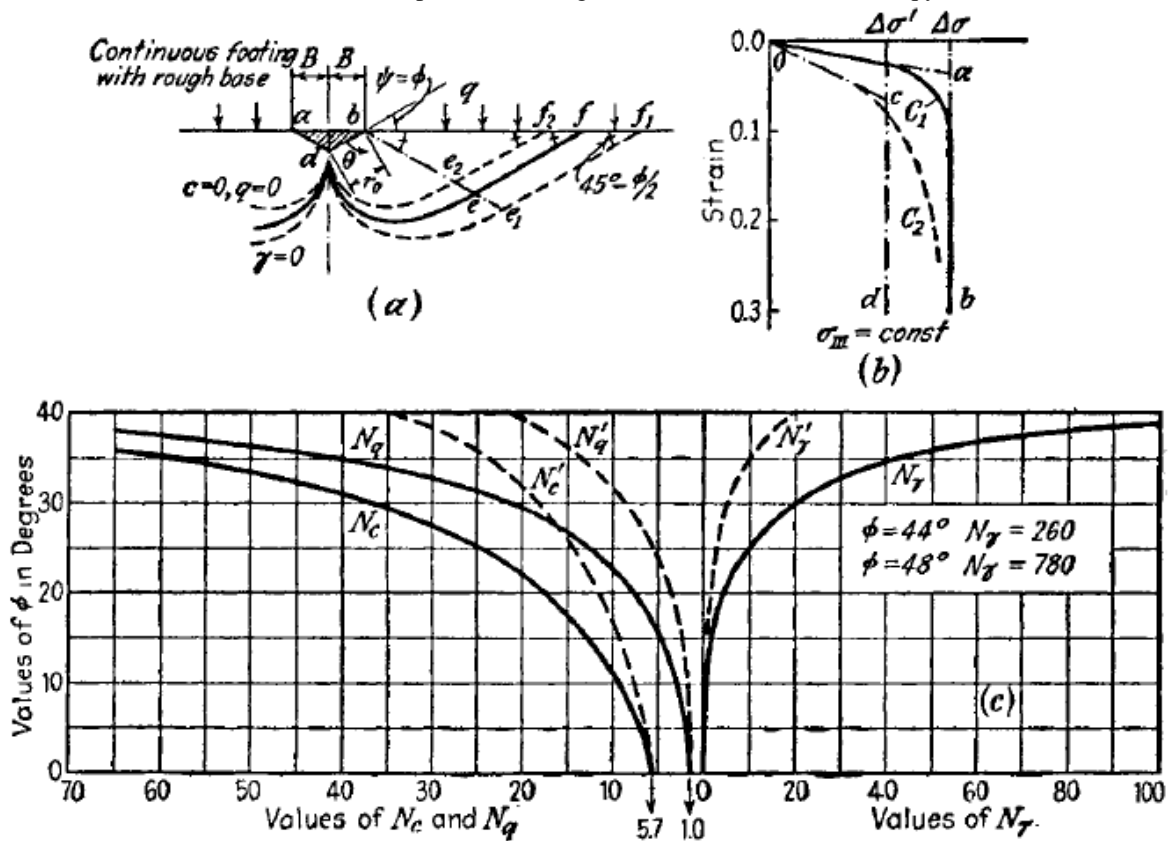
**Tabla 9**

Factores  $S_c$  y  $S_\gamma$  en fórmula de Terzaghi para falla general.

Cimentaciones en formula de falla general			
Para	Corrida	Redondas	Cuadradas
$S_c$	1.00	1.30	1.30
$S_\gamma$	1.00	0.60	0.80

**Figura 19**

Método de estimación de la Capacidad de Carga mediante los factores  $N_c$ ,  $N_q$  y  $N_\gamma$ .



Nota: Tomado de *Theoretical Soil Mechanics*, por (Terzaghi, 1943)

Para el caso de una falla por corte local, la formula varía un poco, y de acuerdo a Lambe (2012) se establece de la siguiente manera:

$$q_u = c'N_c'S_c + qN_q' + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma'S_\gamma \quad (11a)$$

Donde:

$$c' = 2c/3 \quad (11b)$$

Y se aplica la misma que se aplicó en la ecuación de falla por corte general. Y los factores de capacidad de carga  $N_c', N_q', N_\gamma'$  se obtienen sustituyendo  $\phi' = \tan^{-1}(0.67 \tan \phi)$  por  $\phi$  en las Ecuaciones 9a, 9a.1, 9b y 9c (Das, 1999).

#### 1.10.4 Teoría de Meyerhof (1963)

Gracias a Terzaghi, la mecánica de suelos empezó a ser reconocida como una disciplina en la Ingeniería Civil, con el tiempo pasó a ser llama ingeniería geotécnica. Entre las tantas investigaciones de Karl Von Terzaghi, se encuentra la teoría de la capacidad de carga de los suelos sometidos a cargas de cimentaciones superficiales.

Esencialmente propone la Ecuación 12, con los factores de forma, profundidad e inclinación que se muestran a continuación (Bowles, 1996).

$$q_u = c' N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (12)$$

Donde:

$s_c, s_q, s_\gamma$  : Factores de forma.

$d_c, d_q, d_\gamma$  : Factores de profundidad.

$i_c, i_q, i_\gamma$  : Factores de inclinación de la carga.

Los Factores de capacidad de carga  $N_q, N_c$  y  $N_\gamma$  según Meyerhof. (Craig, 2004) son los mostrados en la ecuación 13a, 13b y 13c.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (13a)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (13b)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1.4 \phi) \quad (13c)$$

En la Ecuación 13a, se muestra la ecuación que originalmente fue obtenida por Prandtl (1921).

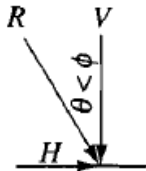
##### 1.10.4.1 Factores de forma, profundidad e inclinación

La Tabla 10 muestra los factores de Forma, Profundidad e Inclinación que se emplean en la Ecuación 12, ecuaciones formuladas a partir de los estudios realizados por Terzaghi.

**Tabla 10**

*Factores de forma, profundidad e inclinación para la fórmula de Meyerhof.*

Factores	Valores	Condición
Forma:	$s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$	Cualquier $\phi$
	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$	$\phi > 10^\circ$
	$s_q = s_\gamma = 1$	$\phi = 0$
Profundidad:	$d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \frac{B}{L}$	Cualquier $\phi$
	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{B}{L}$	$\phi > 10^\circ$
	$d_q = d_\gamma = 1$	$\phi = 0$
Inclinación:	$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta}{90^\circ}\right)^2$	Cualquier $\phi$
	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\phi}\right)^2$	$\phi > 0$
	$i_\gamma = 0$ para $\theta > 0$	$\phi = 0$



Donde

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

$\theta$  = ángulo de la resultante R medido desde la vertical sin un signo; si  $\theta=0$  todas  $i_i=1.0$ .

B, L, Df = Previamente definido

*Nota:* Tomado de *Foundations Analysis and Design*, por (Bowles, 1996, pág. 222).

### 1.10.5 Teoría de Hansen (1970)

Esta teoría es similar a lo propuesto por Terzaghi. Hansen incorpora una serie de coeficientes relacionados al factor de influencia, los cuales modifican el valor final de la capacidad de carga, esta ecuación es la representada en la ecuación 14 y 15 (Hansen, 1970, pág. 6). Estos factores toman en cuenta la inclinación de la carga, profundidad de cimentación, forma de la cimentación, inclinación del terreno, área efectiva de la cimentación capacidad de carga del terreno. Otra ecuación empleada se muestra en la página 220 del libro de Bowles 1996, siendo esta la ecuación 16.

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (14)$$

$$q_u = (\bar{q} + c \cot \phi) N_q s_q d_q i_q b_q - c \cot \phi + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma \quad (15)$$

$$q_u = 5.14 s_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c - g_c - b_c) + \bar{q} \quad (16)$$

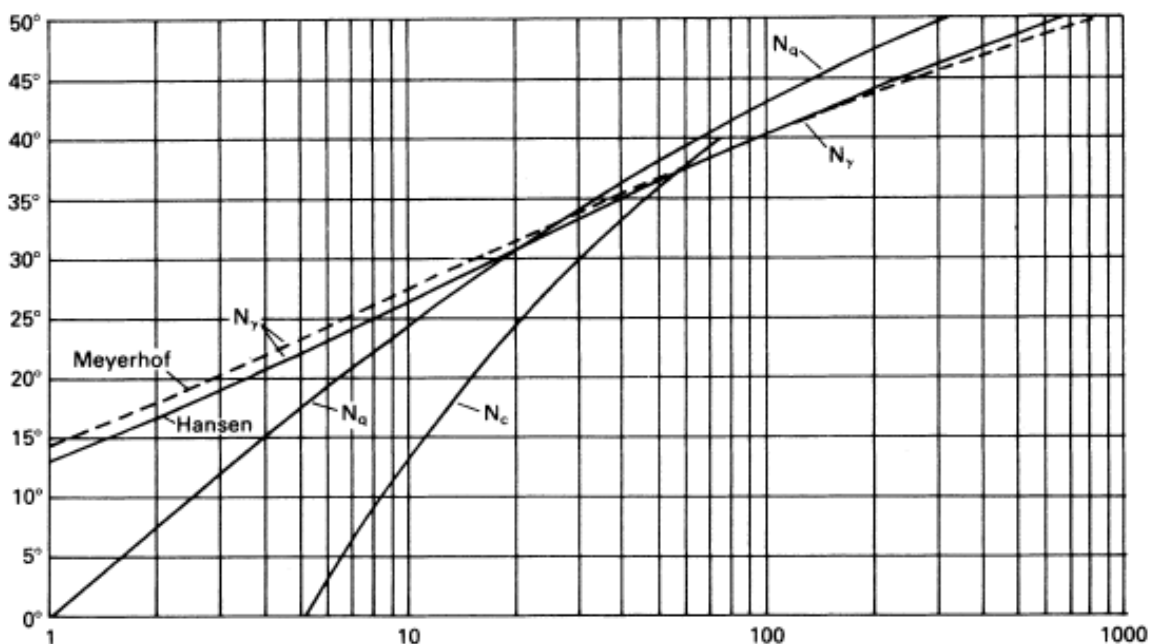
Donde:

- $g_c, g_q, g_\gamma$  : Factores de inclinación de la superficie del terreno.
- $b_c, b_q, b_\gamma$  : Factores de inclinación de la base.

Das (1999) menciona que para el factor  $N_\gamma$  de Hansen existe una considerable controversia, ya que Craig (2004), menciona que la ecuación 17c en lugar de 1.5 el valor es 1.8, razón por la cual queda en discusión.

**Figura 20**

Factores de capacidad de carga  $N_q$ ,  $N_c$  y  $N_\gamma$  para Meyerhof y Hansen.



Nota: Tomado de Craig's Soil Mechanics, por (Craig, 2004).

Los factores  $N_q$ ,  $N_c$  y  $N_\gamma$  se muestran en la ecuación 17a, 17b y 17c (Hansen, 1970, pág. 5).

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (17a)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (17b)$$

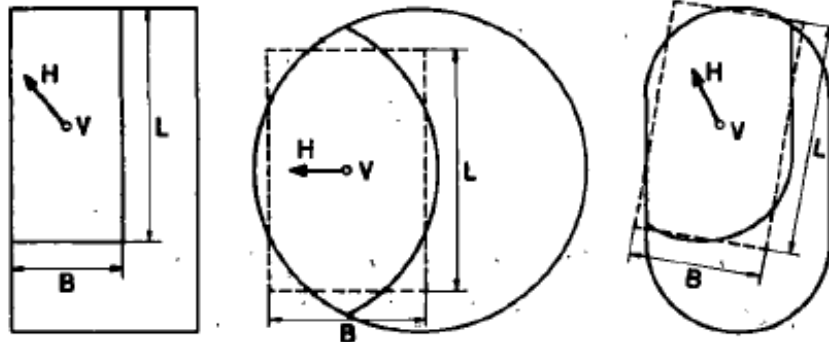
$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi \quad (17c)$$

Hansen (1970) menciona que existen casos donde la base de la cimentación puede recibir una carga excéntrica o inclinada o ambas, así como también la base de la cimentación puede ser inclinada y la superficie del suelo (terreno) puede estar inclinada.

Las fórmulas propuestas se aplican para los casos mencionados en la parte superior, considerando el llamado área efectiva de la cimentación. El área efectiva sería  $A=B \cdot L$ , donde  $B$  es el lado más corto, y Hansen (1970) escribe que Meyerhof y otros escritores han demostrado que la capacidad de carga real para una cimentación cargada excéntricamente será casi igual a la capacidad de carga del área efectiva de una cimentación cargada centralmente. Por lo que en las fórmulas se considera  $B'$  y  $L'$  siendo el largo y ancho efectivo respectivamente de la cimentación, los ejemplos propuestos por el autor se muestran en la figura 21.

**Figura 21**

*Equivalente y áreas efectivas de cimentaciones.*



*Nota: Tomado de A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity, por (Hansen, 1970, pág. 6).*

Bowles (1996) menciona que la ecuación de Hansen implícitamente permite que cualquier  $D_f/B$  y, por lo tanto, se puede usar en ambos tipos de cimentaciones (superficiales y profundas), Pero tiene las condiciones mostradas en la tabla 11 y tabla 12.

**Tabla 11**

Factores de forma, profundidad, inclinación y terreno para la fórmula de Capacidad de Carga Extendida.

Factores	Valores	Condición
Forma:	$s_c = 0.2 \frac{B'}{L'}$ $s_c = 1 + \frac{B'}{L'} * \frac{N_q}{N_c}$ $s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \phi$ $s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'}$	$\phi = 0$
Profundidad:	$d_c = 0.4k$ $d_c = 1.0 + 0.4k$ $d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$	$\phi = 0$
Donde:	$k = Df/B$ , para $Df/B \leq 1$ $k = \tan^{-1} (Df/B)$ , para $Df/B > 1$	k en radianes
	$d_\gamma = 1$	Todos los $\phi$
Inclinación:	$i_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f C_a}}$ $i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$ $i_q = \left( 1 - \frac{0.5 H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_1}$ $i_\gamma = \left( 1 - \frac{0.7 H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_2}$ $i_\gamma = \left( 1 - \frac{(0.7 - \frac{v^\circ}{450}) H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_2}$	$\phi = 0$  $2 \leq \alpha_1 \leq 5$ $2 \leq \alpha_2 \leq 5$
		Cuando la base de la fundación sea un muro vertical ( $v=90^\circ$ )
Terreno:	$g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$	
(Base en pendiente)	$g_c = 1.0 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$	
	$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^\beta$	

Nota: Tomado de A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity, por (Hansen, 1970).

**Tabla 12***Factores de base usados en la fórmula de Hansen*

<b>Factores</b>	<b>Valores</b>	<b>Condición</b>
Base:	$b_c = \frac{v^\rho}{147^\circ}$	$\phi = 0$
(Base inclinada)	$b_c = 1 + \frac{v^\rho}{147^\circ}$	$\phi > 0$
	$b_q = e^{-2v \tan \phi}$	
	$b_\gamma = e^{-2.7v \tan \phi}$	v en radianes

*Nota:* Tomado de *A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity*, por (Hansen, 1970) (Bowles, 1996).

### 1.10.6 Teoría de Vesic (1973)

Para esta teoría se toma en cuenta el efecto de la compresibilidad del suelo, la ecuación a emplear es la ecuación 18 mostrada a continuación.

$$q_u = c' N_c s_c d_c i_c c_c + q N_q s_q d_q i_q c_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma c_\gamma \quad (18)$$

Donde:

$c_c, c_q, c_\gamma$  : Factores de compresibilidad del suelo

Los factores  $N_q, N_c$  y  $N_\gamma$  se muestran en la ecuación 19a, 19b y 19c.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (19a)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (19b)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (19c)$$

Vesic (1973) menciona que el índice de rigidez es un factor importante para predecir el tipo de falla que presentarán los suelos, por lo que propone lo siguiente: si el Índice de Rigidez  $I_r$  (Ecuación 20) es mayor que el  $I_r(\text{cr})$  (Ecuación 21) se denomina Falla por Corte General, de ser  $I_r$  menor que el  $I_r(\text{crítico})$  se le denomina Falla por Corte Local y se emplea la Ecuación 22 para calcular la compresibilidad.

En el caso de los factores de forma, para el factor de compresibilidad se emplean las ecuaciones 23a o 23b dependiendo de la condición (Das, 2012), y para los de forma, profundidad, inclinación y terreno se emplean las ecuaciones de la Tabla 13.

$$I_r = \frac{G}{c+q \tan \phi} \quad (20)$$

$$I_{r(cr)} = \frac{1}{2} \left\{ \exp \left[ \left( 3.30 - 0.45 \frac{B}{L} \right) \cot \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \right] \right\} \quad (21)$$

$$c_q = \left\{ \exp \left[ \left( -4.4 + 0.6 \frac{B}{L} \right) \tan \phi + \left[ \frac{(3.07 \sin \phi)(\log 2I_r)}{1 + \sin \phi} \right] \right] \right\} \quad (22)$$

Para  $\phi = 0$

$$F_{CC} = 0.32 + 0.12 \frac{B}{L} + 0.60 \log I_r \quad (23a)$$

Para  $\phi > 0$

$$F_{CC} = F_{qc} - \frac{1-F_{qc}}{N_q \tan \phi} \quad (23b)$$

**Tabla 13**

*Factores de forma, profundidad, inclinación y terreno para la fórmula de Capacidad de Carga según*

*Vesic.*

<b>Factores</b>	<b>Valores</b>	<b>Condición</b>
Forma:	$s_c = 1 + \frac{B}{L} * \frac{N_q}{N_c}$	Rectángulo
	$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}$	Círculo y cuadrado
	$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$	Rectángulo
	$s_q = 1 + \tan \phi$	Círculo y cuadrado
	$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$	Rectángulo
	$s_\gamma = 0.60$	Círculo y cuadrado
Profundidad:	$d_c = 0.4k$	$\phi = 0$
	$d_c = 1.0 + 0.4k$	
	$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$	
Donde:	$k = Df/B, \text{ para } Df/B \leq 1$	k en radianes
	$k = \tan^{-1} (Df/B), \text{ para } Df/B > 1$	
	$d_\gamma = 1$	Todos los $\phi$
Inclinación:	$i_c = 1 - \frac{mH_i}{A_f c_\alpha N_c}$	$\phi = 0$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad \phi > 0$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{0.5H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_1} \quad 2 \leq \alpha_1 \leq 5$$

$$i_y = \left( 1 - \frac{0.7H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_2} \quad 2 \leq \alpha_2 \leq 5$$

$$i_y = \left( 1 - \frac{(0.7 - \frac{v^{\circ}}{450^{\circ}})H_i}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_2} \quad \begin{array}{l} \text{Cuando la base de la} \\ \text{fundación sea un muro} \\ \text{vertical (v=90}^{\circ}\text{)} \end{array}$$

Terreno: 
$$g_c = \frac{\beta^{\circ}}{147^{\circ}}$$

(Base en pendiente) 
$$g_c = 1.0 - \frac{\beta^{\circ}}{147^{\circ}}$$

$$g_q = g_y = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$$

---

*Nota:* Tomado de *Foundations Analysis and Design*, por (Bowles, 1996)

### 1.11 Asentamiento Elástico

Al aplicar un esfuerzo a los suelos, estos se deforman, y la deformación es definida por un módulo de Young y coeficiente de Poisson, cuyos valores pueden ser obtenidos por ensayo de probetas o ratios en tablas presentadas por investigadores.

En una cimentación superficial el asentamiento elástico es estimado usando la teoría de elasticidad aplicando la ley de Hooke (Das, 2012), y empleando la Ecuación 24.

$$S_e = \int_0^H \varepsilon_z dz = \frac{1}{E_s} \int_0^H (\Delta p_z - \mu \Delta p_x - \mu \Delta p_y) dz \quad (24)$$

Donde:

$E_s$  : Módulo de elasticidad del suelo

H : Espesor del estrato del suelo

$\mu$  : Relación de Poisson del suelo

$\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$  : Incremento del esfuerzo debido a la carga neta aplicada la cimentación.

En un sentido teórico, si Df es igual a 0, la distancia de la profundidad de cimentación hasta la roca es infinita y la cimentación es completamente flexible, para el cálculo del asentamiento se emplearían las siguientes fórmulas:

Esquina de la cimentación flexible:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu^2) \frac{\alpha}{2} \quad (25a)$$

Centro de la cimentación flexible:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu^2) \alpha \quad (25b)$$

Promedio para cimentación flexible:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu^2) \alpha_{prom} \quad (25c)$$

Cimentación rígida:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu^2) \alpha_r \quad (25d)$$

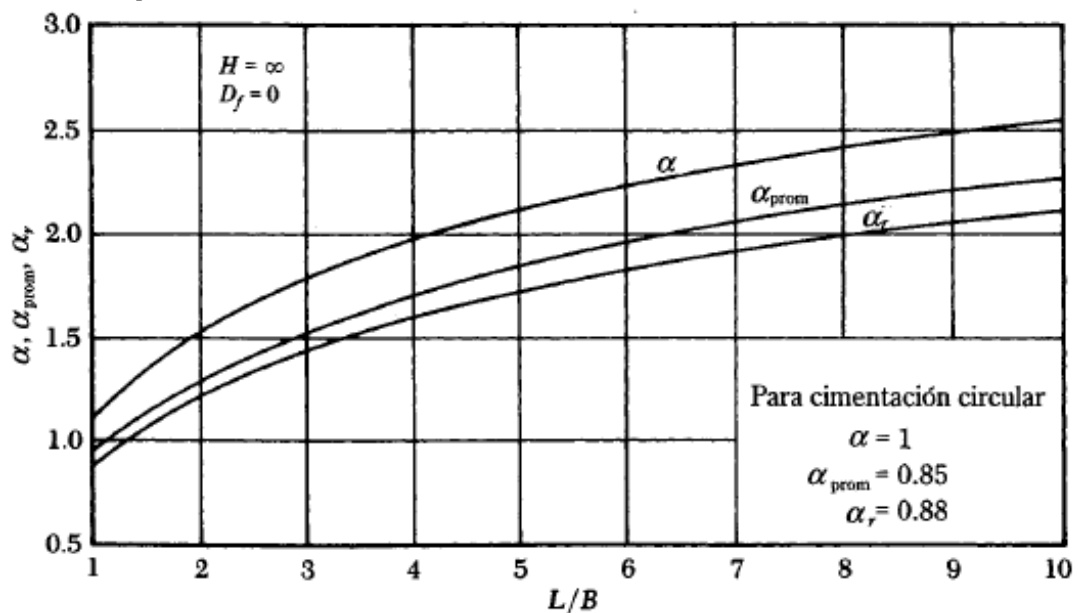
Donde:

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{\sqrt{1+m_1^2+m_1}}{\sqrt{1+m_1^2-m_1}} \right) + m \ln \left( \frac{\sqrt{1+m_1^2+m_1}}{\sqrt{1+m_1^2-m_1}} \right) \right] \quad (26)$$

- $m_1$  : L/B
- $q_0$  : Esfuerzo al nivel de la cimentación
- $E_s$  : Módulo de elasticidad

**Figura 22**

Valores de  $\alpha$  para varias relaciones L/B.



Nota: Tomado de *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, por (Das, 2012, pág. 241).

El módulo de Young es el ratio del esfuerzo – deformación, y es obtenido de la pendiente de desviación de las curvas de deformación axial – tensión, representada en la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\delta(\sigma_1 - \sigma_3)}{\delta\varepsilon_a} \quad (27)$$

Donde  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  = Diferencia entre tensiones principales mayores y menores en una prueba triaxial,  $\delta\varepsilon_a$  = deformación axial.

Para cualquier curva de tensión-deformación particular, el módulo se puede definir como el módulo de tangente inicial (Ei), el módulo de tangente (Et) a un nivel de prueba especificado o el módulo secante (Es) a un nivel de prueba especificado. Estos módulos también variarán con la tensión de confinamiento para cada curva tensión-deformación. Por lo tanto, los módulos del suelo se describen como no lineales y dependientes del estrés. En modelos numéricos sofisticados, se puede seguir la trayectoria de tensión real y se puede evaluar el módulo para cada estado de tensión a lo largo de la trayectoria de tensión.

La relación de Poisson, se define de forma análoga para las pruebas triaxiales en las que se miden las deformaciones tanto axiales como volumétricas, expresada en la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\delta\varepsilon_r}{\delta\varepsilon_a} \quad (28)$$

Siendo  $\mu$  = relación de Poisson;  $\delta\varepsilon_r$  = deformación radial;  $\delta\varepsilon_a$  = deformación axial. Y este parámetro no presenta mucha variación en materiales elásticos isotrópicos, yendo de 0 a 0.5.

En nuestro caso de estudio, el módulo de Young, tanto como la Relación de Poisson serán determinadas mediante tablas, las cuales son resultado de investigaciones previas, mostradas a continuación:

**Tabla 14**  
*Rango de valores típicos de la Relación de Poisson*

<b>Estado</b>	<b>Suelo</b>	<b>Relación de Poisson</b>
<b>Drenado</b>	Arcilla	0.2 – 0.4
	Arena densa	0.3 – 0.4
	Arena suelta	0.1 – 0.3
	Grava y rockfill	0.1 – 0.3
<b>No drenado</b>	Arcilla saturada	0.5

*Nota:* Tomado de *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*, por (Kulhawy & Mayne, 1990).

**Tabla 15**

*Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson para los distintos tipos de suelos.*

Tipo de Suelo	Módulo de Elasticidad		Relación de Poisson, $\nu_s$
	lb/pulg <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	
Arena suelta	1 500 – 3 500	10,35 – 24,15	0,20 – 0,40
Arena densa media	2 500 - 4 000	17,25 – 27,60	0,25 – 0,40
Arena densa	5 000 – 8 000	34,50 – 55,20	0,30 – 0,45
Arena limosa	1 500 – 2 500	10,35 – 17,25	0,20 – 0,40
Arena y grava	10 000 – 25 000	69,00 – 172,50	0,15 – 0,35
Arcilla suave	600 – 3 000	4,10 – 20,70	
Arcilla media	3 000 – 6 000	20,70 – 41,40	0,20 – 0,50
Arcilla firme	6 000 – 14 000	41,40 – 96,60	

*Nota: Tomado de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, por (Das, 2012, pág. 223).*

**Tabla 16**

*Rangos de Modulo de Elasticidad de Suelos de acuerdo al ICG.*

Tipo de Suelo		Es (Ton/m <sup>2</sup> )
<b>Arcilla</b>	Muy blanda	30 – 300
	Blanda	200 – 400
	Media	450 – 900
	Dura	700 – 2000
<b>Arcilla Arenosa</b>		3000 – 4250
<b>Suelos Glaciares</b>		1000 – 16000
<b>Loess</b>		1500 – 6000
<b>Arena Limosa</b>		500 – 2000
<b>Arena:</b>	Suelta	1000 – 2500
	Densa	5000 – 10000
<b>Grava Arenosa:</b>	Densa	8000 – 20000
	Suelta	5000 – 10000
<b>Arcilla Esquistosa</b>		14000 – 140000
<b>Limos</b>		200 - 2000

*Nota: Tomado de Diseño de Cimentaciones, por (Alva Hurtado, 2017).*

**Tabla 17***Rangos de Relación de Poisson de Suelos de acuerdo al ICG*

<b>Tipo de Suelo</b>		<b><math>\mu</math> (-)</b>
<b>Arcilla:</b>	Saturada	0.4 – 0.5
	No saturada	0.1 – 0.3
	Arenosa	0.2 – 0.3
<b>Limo</b>		0.3 – 0.35
<b>Arena:</b>	Densa	0.2 – 0.4
	De grano grueso	0.15
	De grano fino	0.25
<b>Roca</b>		0.1 – 0.4
<b>Loess</b>		0.1 – 0.3
<b>Hielo</b>		0.36
<b>Concreto</b>		0.15

*Nota:* Tomado de *Diseño de Cimentaciones*, por (Alva Hurtado, 2017).

**Tabla 18***Rangos de Módulo de Elasticidad*

<b>Tipo de Suelo</b>		<b>Es (Ton/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Arcilla</b>	Muy blanda	200 – 1500
	Blanda	500 – 2500
	Media	1500 - 5000
	Dura	5000 – 10000
	Arenosa	2500 – 25000
	<b>Till Glacial</b>	Suelto
	Denso	15000 – 72000
	Muy denso	50000 – 144000
<b>Loess</b>		1500 – 6000
<b>Arena</b>	Limosa	500 – 2000
	Suelta	1000 – 2500
	Densa	5000 – 8100
<b>Arenas y Gravas</b>	Suelta	5000 – 15000
	Densa	10000 – 20000
<b>Arcilla Esquitosa</b>		15000 – 500000

*Nota:* Tomado de (Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012)

## 1.12 Método de Elementos Finitos

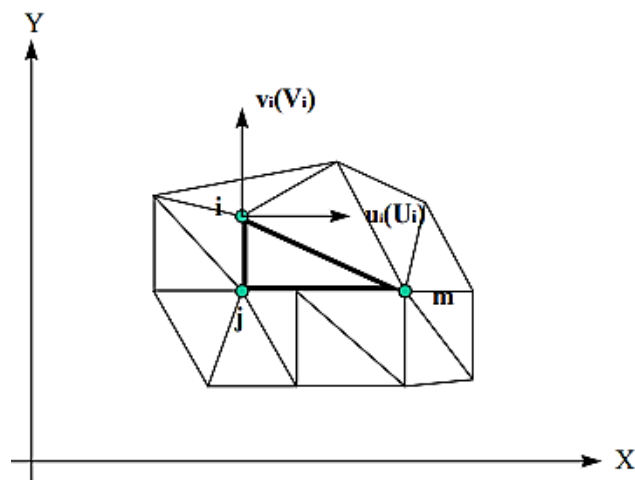
El suelo es un material multifásico altamente complejo que se comporta de forma no lineal cuando se carga; por esta razón, las soluciones analíticas completas para problemas reales de geotecnia no son generalmente posibles, por lo que se pueden obtener de dos clases simples de problemas:

- Existen soluciones donde el suelo supone un comportamiento isotrópico elástico lineal, en el que se obtiene un primer estimado de movimientos y fuerzas estructurales, pero son poco utilizados para investigar la estabilidad. Entonces, dichas soluciones del comportamiento de suelo no proveen predicciones realistas.
- Hay algunas soluciones para problemas que contienen simetrías geométricas suficientes que reducen el problema a ser esencialmente dimensional, por ejemplo, la expansión de cavidades esféricas e infinitamente cilíndricas en una continuidad infinita elasto-plástica.

El MEF es una aproximación de problemas continuos, los cuales se dividen en un número finito de elementos, donde el comportamiento se especifica mediante un “n” finitos de parámetro asociados a puntos característicos llamados nodos. Con este método se solucionan sistemas de ecuaciones de derivadas parciales, se establecen ecuaciones de contorno, condiciones iniciales y se discretizan los dominios del problema en subdominios llamados elementos. Los nodos son la unión de cada elemento con sus adyacente.

**Figura 23**

*Discretización con elementos triangulares, unidos con nodos.*



Para este método se emplean una matriz de rigidez (Figura 24), con la cual se establece la relación de la deformación para establecer el comportamiento de un elemento sometido a tensión, esta considera el término de energía.

Cuando el cuerpo se deforma, la fuerza externa genera un desplazamiento, que se puede evaluar en 2D o en 3D, las cuales van en función a “u, v, w” que son desplazamientos en las direcciones x, y, z respectivamente. Entonces, la ecuación de la deformación lineal va en función a los desplazamientos, donde al aplicar la regla de cadena de diferenciación los esfuerzos se representan por sus componentes independiente, para finalmente obtener ecuaciones de equilibrio mostradas en las Ecuaciones 29a, 29b y 29c.

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x = 0 \quad (29a)$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x = 0 \quad (29b)$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x = 0 \quad (29c)$$

**Figura 24**

*Ejemplo de matriz de rigidez.*

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & k_4 & -k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \end{Bmatrix}$$

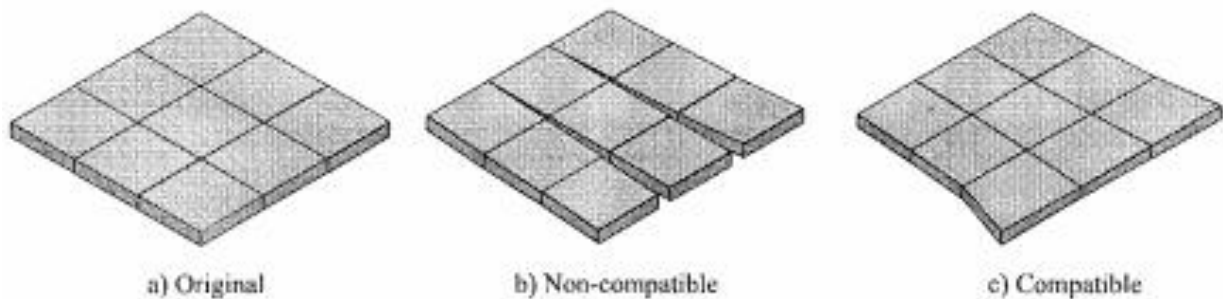
### 1.12.1 Software de análisis

Plaxis es software empleado como herramienta avanzada de análisis estructural, con el cual se realizan análisis lineales y no lineales de modelos. Este software emplea el MEF que, se entiende como la generalización del cálculo matricial de estructuras de análisis de sistemas continuos, mediante funciones de interpolación o de forma, con los que se define el comportamiento interior de cada nodo.

Las funciones de forma son: integralidad, derivabilidad, semejanza con las leyes de distribución de corrimientos y, condición de polinomio completo. Los errores que se pueden presentar son de modelización, en la discretización y de computación.

Plaxis está diseñado para realizar análisis de deformación y estabilidad de diversos problemas geotécnicos, mediante el software podemos realizar modelamientos de deformación plana o con axisimetría.

**Figura 25**  
*Modos de deformación*



*Nota:* Tomado de *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering Theory*, por (Potts & Zdravkovic, 1999, pág. 6)

El software está compuesto por cuatro subprogramas que son:

- **Input:** Nos permite crear, modificar un modelo geométrico del suelo y cimiento, además de las cargas; estos modelos pueden ser de deformación plana o axisimétrica.
- **Calculations:** Nos permite describir el tipo de análisis que se desea ejecutar en un tiempo determinado y la aplicación de las cargas al modelo, en este subprograma se define las etapas de construcción y el proceso de cálculo. Dentro de los tipos de análisis de deformación están: el cálculo plástico, análisis de consolidación, análisis de seguridad y el cálculo dinámico.
- **Output:** Nos muestra los resultados de la situación inicial y de cada fase de cálculo, los resultados más importantes de un cálculo de elementos finitos son las deformaciones y tensiones.
- **Curves:** Nos muestra de manera sencilla los resultados mediante graficas (curvas) de carga – desplazamiento o de tiempo desplazamiento y diagramas de tensión – deformación.

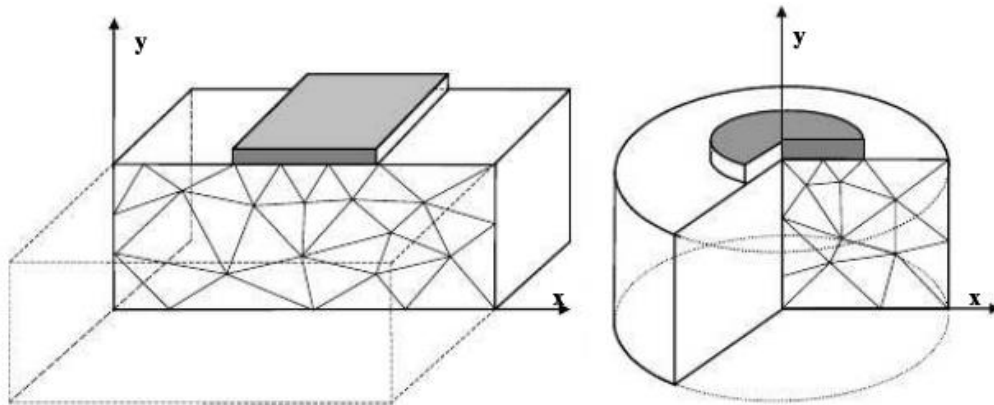
Es importante entender los modelos del software que se definen en el subprograma Input.

#### **1.12.1.1 Parámetros a utilizar**

En el software es importante definir los parámetros que se van a utilizar, como se van a aplicar en el modelo y el tipo de análisis que se realizará. Primero se debe elegir el modelo de elementos finitos, pueden ser de deformación plana o Axisimétrico (Figura 26); el primero se usa en geometrías con una sección transversal uniforme es decir en estructuras cuadradas y rectangulares, el segundo se usa en estructuras circulares con una sección transversal radial. Para esta investigación se utilizará el método de deformación plana.

**Figura 26**

*Ejemplos de deformación plana y axisimétrico.*



*Nota:* Tomado de *Plaxis Manual de Referencia*, por (Brinkgreve, 2004, pág. 24).

Para generar un modelo de elementos finitos primero se comienza con la creación de un modelo geométrico que represente el problema que desea resolver. Un modelo geométrico está constituido por elementos triangulares de 6 nodos o de 15 nodos y es en los nodos donde se calculan los desplazamientos, además de estos componentes básicos, se pueden añadir al modelo geométrico objetos estructurales y se establece los datos de materiales del modelo, una vez asignada todas las propiedades a los componentes se genera la malla de elementos finitos.

Plaxis nos permite el estudio de diversos modelos constitutivos para simular el comportamiento del suelo: modelo elástico lineal, modelo de Mohr- Coulomb, modelo de suelo con endurecimiento, modelo para suelo blando y modelo de suelo blando con fluencia. Los modelos más usados son descritos a continuación:

- **Modelo Elástico:** Este modelo se basa en la ley de Hooke de elasticidad isotrópica, el modelo incluye dos parámetros de rigidez elásticas: el módulo de Young ( $E$ ), relación de Poisson ( $\nu_s$ ). Este modelo tiene muchas limitaciones en relación a la simulación del comportamiento de los suelos, se utiliza para capas rígidas del suelo.
- **Modelo de Mohr- Coulomb:** Este modelo es elastoplástico, en donde las deformaciones se descomponen en una parte elástica y en una parte plástica, incluye cinco parámetros geotécnicos: el módulo de Young ( $E$ ), relación de Poisson ( $\mu$ ), la cohesión ( $c$ ), el ángulo de fricción ( $\phi$ ), y el ángulo de dilatancia ( $\psi$ ), y se utiliza como una primera aproximación al comportamiento del suelo. Este método fue el que se usó en la investigación.

### 1.12.1.2 Definiciones generales de esfuerzo

El esfuerzo es un tensor que actúa sobre las masas del suelo y que se puede representar mediante una Matriz de Esfuerzo en Coordenadas Cartesianas, esta matriz se visualiza en la siguiente ecuación:

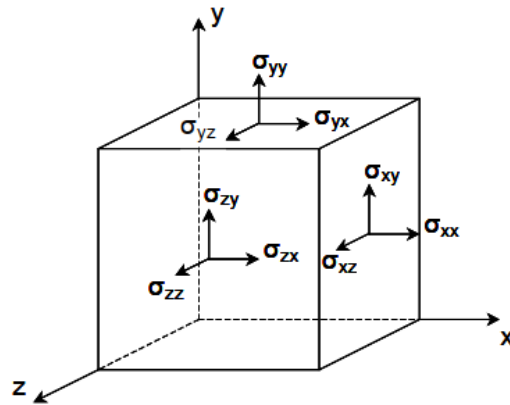
$$\underline{\underline{\sigma}} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (30)$$

De acuerdo al principio de Terzaghi, los esfuerzos en el suelo están divididos entre esfuerzos efectivos, y presión de poros. Se considera que el agua no soporta ningún esfuerzo cortante, como resultado, los esfuerzos cortantes efectivos son iguales a los esfuerzos cortantes totales. Y los componentes de tensión normal positivos son considerados para representar la tensión, mientras que los componentes de tensión normal negativos indican presión (o compresión). La ecuación de esfuerzos se representa en la mostrada a continuación:

$$\underline{\underline{\sigma'}} = (\sigma'_{xx} \quad \sigma'_{yy} \quad \sigma'_{zz} \quad \sigma'_{xy} \quad \sigma'_{yz} \quad \sigma'_{zx})^T \quad (31)$$

**Figura 27**

*Sistema general de coordenadas tridimensionales.*



Además de la tensión principal, también es útil definir invariantes de tensión, que son medidas de tensión que son independientes de la orientación del sistema de coordenadas. Dos invariantes de estrés útiles son el esfuerzo efectivo isotrópico o esfuerzo efectivo medio (Ecuación 32) y el esfuerzo cortante equivalente (Ecuación 33).

$$p' = -\frac{1}{3}(\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy} + \sigma'_{zz}) = -\frac{1}{3}(\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3) \quad (32)$$

$$q = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma'_{xx} - \sigma'_{yy})^2 + (\sigma'_{yy} - \sigma'_{zz})^2 + (\sigma'_{zz} - \sigma'_{xx})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2))} \quad (33)$$

### 1.12.1.3 Definiciones generales de deformación

La deformación es un tensor que se puede representar mediante una matriz en coordenadas cartesianas, esta matriz es una matriz de deformación en coordenadas que se ve representada en la Ecuación 34.

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (34)$$

De acuerdo con la teoría de la pequeña deformación, solo la suma de los componentes complementarios de la deformación por cortante cartesiana  $E_{ij}$  y  $E_{ji}$  resulta en un esfuerzo cortante. Esta suma se denota como la deformación cortante. Por lo tanto, en lugar de  $E_{xy}$ ,  $E_{yx}$ ,  $E_{yz}$ ,  $E_{zy}$ ,  $E_{zx}$ , se utilizan los componentes del esfuerzo cortante  $Y_{xy}$ ,  $Y_{yz}$  e  $Y_{zx}$ , respectivamente.

De manera similar a los esfuerzos, los componentes positivos de la deformación normal se refieren a la extensión, mientras que los componentes negativos de la deformación normal indican compresión.

En la formulación de modelos de materiales, donde se consideran incrementos infinitesimales de deformación, estos incrementos están representados por tasas de deformación como se muestra en la Ecuación 35.

$$\underline{\underline{\dot{\varepsilon}}} = (\dot{\varepsilon}_{xx} \quad \dot{\varepsilon}_{yy} \quad \dot{\varepsilon}_{zz} \quad \dot{\gamma}_{xy} \quad \dot{\gamma}_{yz} \quad \dot{\gamma}_{zx})^T \quad (35)$$

### 1.12.1.4 Deformación elástica

El modelo de material más simple en PLAXIS se basa en la ley de Hooke (Ecuación 36) para el comportamiento elástico lineal isotrópico. Este modelo está disponible bajo el nombre de modelo Linear Elastic, pero también es la base de otros modelos.

$$\begin{bmatrix} \dot{\sigma}'_{xx} \\ \dot{\sigma}'_{yy} \\ \dot{\sigma}'_{zz} \\ \dot{\sigma}'_{xy} \\ \dot{\sigma}'_{yz} \\ \dot{\sigma}'_{zx} \end{bmatrix} = \frac{E'}{(1-2\nu')(1+\nu')} \begin{bmatrix} 1-\nu' & \nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & 1-\nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & \nu' & 1-\nu' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\varepsilon}'_{xx} \\ \dot{\varepsilon}'_{yy} \\ \dot{\varepsilon}'_{zz} \\ \dot{\gamma}'_{xy} \\ \dot{\gamma}'_{yz} \\ \dot{\gamma}'_{zx} \end{bmatrix} \quad (36)$$

## **Capítulo III. Materiales y Métodos**

### **1.13 Tipo de Investigación**

Es una investigación de enfoque cuantitativo, porque los datos recolectados son numéricos ya que se hicieron a través de mediciones y verificaciones numéricas para determinar la capacidad de carga del suelo, y del tipo descriptivo porque se busca especificar las propiedades y características del suelo.

### **1.14 Diseño de la investigación**

No experimental, ya que en la investigación se recolecto datos de las exploraciones a cielo abierto realizadas, el terreno que se usó regreso a su estado inicial después de tomar las muestras para realizar los ensayos pertinentes y así determinar las propiedades del suelo. La investigación es transversal ya que apunta a un momento y tiempo definido.

### **1.15 Limitaciones de la investigación**

- Los ensayos se realizaron en la parte plana del campus, dónde no existen construcciones, debido a que realizar ensayos en zonas con pendientes pronunciadas elevaban el presupuesto de la investigación.
- Se realizo un ensayo de corte directo por calicata y 2 ensayos de triaxial que fueron distribuidos según la clasificación de suelos en las zonas “M” y “A”, ya que en estas zonas se construirán un hospital y pabellones.
- No se realizó el ensayo de consolidación, porque los asentamientos que se determinaron fueron por carga estática. Los únicos ensayos que se realizaron son los descritos en la recolección de datos. Para la clasificación de suelos se consideró SUCS y las únicas fórmulas que se emplearon para el cálculo de la capacidad de carga son Terzaghi, Meyerhof, Hansen y Vesic,

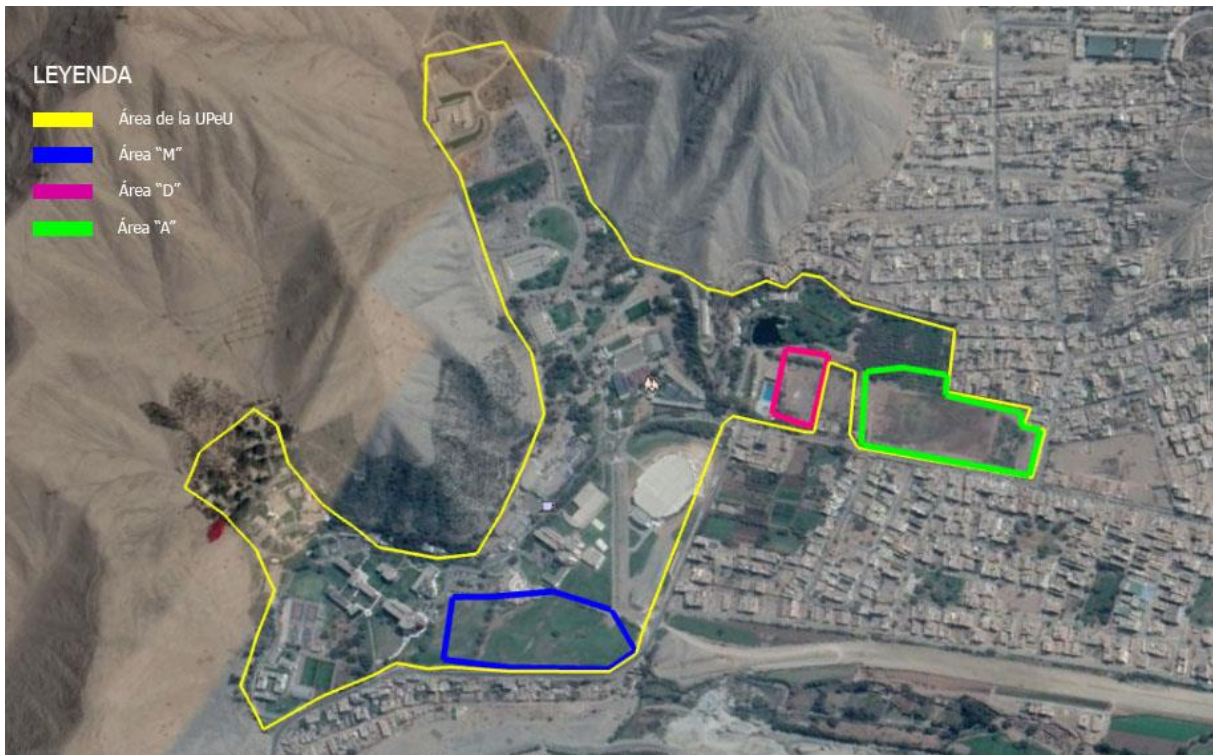
### **1.16 Población**

La población que se evaluó en esta investigación son los suelos del campus de la UPeU sede Lima. Que se encuentra ubicada en la Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica.

#### **1.16.1 Muestra**

Para la presente investigación se consideró el método de muestreo estratificado. Para definir la muestra se consideró lo siguiente: el plan director de infraestructura de la UPeU y los suelos sin construcciones ubicados en superficies planas. Se determinaron 3 estratos (en lo siguiente se considerará a los estratos como áreas): M,D,A; como se muestra en la Figura 28.

**Figura 28**  
*Muestra de Estudio.*



*Nota:* Tomado de Google Earth.

Según el número de hectáreas que tenían estas áreas se establecieron las calicatas mostradas en la Tabla 19.

**Tabla 19**  
*Número de calicatas por área.*

Área	Ha	# Calicatas
M	2.86	4
D	0.7	1
A	2.86	4
Total	6.42	9

Las dimensiones de las calicatas son de 1.50 m x 1.50 m x 3.00 m de profundidad, se extrajeron muestras de suelos en estado alterado e inalterado para determinar sus propiedades.

## 1.17 Variables de Estudio y Operacionalización

### 1.17.1 Variable Independiente:

- Capacidad de Carga
- Asentamiento

### 1.17.2 Definición de variables:

- Microzonificación.
- Análisis de Software.

### 1.17.3 Definición Operacional

**Tabla 20**  
*Definición Operacional*

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Independientes</b>		
Capacidad de Carga	Análisis comparativo de capacidades de carga admisible y capacidades de carga última.	Rango de 0 – 1 kg/cm <sup>2</sup>
		Rango de 1 – 2 kg/cm <sup>2</sup>
		Rango de 2 – 3 kg/cm <sup>2</sup>
		Rango mayor a 3 kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento	Análisis comparativo del asentamiento de los suelos con cargas de cimentación	Rango de 0 – 0.025 m
		Rango de 0.025 m a más
<b>Sub-Independiente</b>		
Propiedades físicas y mecánicas del suelo	Clasificación de los suelos por propiedades físicas y mecánicas	Clasificación SUCS y Zonificación por usos de Suelo
<b>Dependientes</b>		
Métodos Semi-Empíricos en Capacidad de Carga	Método de Terzaghi	Capacidad de Carga Admisible y Última
	Método de Meyerhof	
	Método de Hansen	
	Método de Vesic	
Software Plaxis	Análisis No drenado	Capacidades de Carga y Asentamientos finales y controlados.
	Análisis Drenado	
Método Semi-Empírico en Asentamiento	Método de Asentamiento Elástico con la Ley de Hooke	Asentamiento iterado y final.

## **1.18 Instrumentos de Recolección de Datos**

Se utilizaron formatos para que la recolección y registro de datos se realice de manera ordenada y sistemática.

### **1.18.1 Instrumentos de Ingeniería**

#### **1.18.1.1 Tamices**

Para el análisis granulométrico de los suelos, se debe tener una serie de tamices, el cual nos permite cernir y obtener los diferentes volúmenes retenidos dentro de una malla, estos son enumerados de manera ascendente, siendo la malla 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200 y fondo. A partir de los valores del número de tamices, se define las aperturas del tamiz por pulgada lineal (Sanchez, 2019, pág. 50).

#### **1.18.1.2 Equipo de Casa Grande**

Este equipo puede ser de operación manual o mecánica, comprende de una base de caucho duro, copa de bronce y leva. Se utiliza para determinar el límite líquido del suelo.

#### **1.18.1.3 Equipo de densidad**

Para determinar la densidad en campo se requiere de un equipo desarmable que consiste en una válvula cilíndrica con un orificio de 1/2" de diámetro, presentando en un extremo un pequeño cono de metal conectado a un frasco en un extremo y a un embudo con el otro extremo. También se requiere de una placa metálica de 3/8" de espesor, con un hueco central con borde para recibir el embudo (Comité Técnico de Normalización del Perú, 2014).

#### **1.18.1.4 Aparato de Corte Directo**

Este aparato tiene por objetivo determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga y comprende de una caja de sección cuadrada dividida horizontalmente en dos mitades, dentro de ella se coloca la muestra de suelos con piedras porosas en ambos extremos, y aplicando una carga vertical y horizontal, lo cual genera un desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra (Sanchez, 2019).

#### **1.18.1.5 Aparatos de Corte Triaxial.**

Este ensayo sirve para determinar los parámetros de resistencia del suelo, con estos valores se pueden emplear en diferentes análisis de estabilidad como en fundaciones de estructuras, cortes y taludes o en estructuras de retención, problemas en los cuales la resistencia del suelo tiene importancia significativa, sea a corto o largo plazo. Comprende de un dispositivo de carga axial,

dispositivo para medir la carga axial, indicadores de deformación, aparato de presión de poros y cámara de compresión triaxial (Comité Técnico de Normalización del Perú, 2015).

#### 1.18.1.6 Horno

El horno de secado, es controlado termostáticamente para mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

#### 1.18.1.7 Balanza

Las balanzas deben tener una sensibilidad de 0.01 gr para muestras menores a 200 gr y sensibilidad de 0.1 gr para muestras mayores a 200 gr.

### 1.19 Procedimiento de Recolección de datos

#### 1.19.1 Ubicación de las calicatas

Se realizaron 9 calicatas que varían entre 2.80 a 3.55 m de profundidad aproximadamente en las áreas de estudio. Para la ubicación de las calicatas se tiene el plano de la UPeU, proporcionado por el departamento de Infraestructura. Se procedió a ubicar las calicatas, considerando el muestreo estratificado, tal como se muestra en el plano Anexo C con su correspondiente identificación: C-01, C-02, al C-09, para realizar de manera adecuada se utilizó un equipo de GPS para determinar las coordenadas y trasladar los puntos de las calicatas al AutoCAD.

**Tabla 21**  
*Ubicación de calicatas*

CALICATA	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
	ESTE	NORTE	
C- 01	300100.4	8674290.1	3.30
C- 02	300055.2	8674311.7	2.80
C - 03A	299997.4	8674286.6	3.50
C -04	299945	8674270	3.55
C -05	299831.2	8674195.5	3.20
C -06	299813	8673720	3.00
C -07	299741	8673697.1	3.20
C -08	299695.6	8673616.3	3.30
C -09	299625	8673631	3.00

#### 1.19.2 Reconocimiento en campo

Las tesisas recorrieron el campus de la UPeU identificando los suelos de las calicatas con la finalidad de determinar los perfiles estratigráficos de las áreas de estudio.

**Figura 29**  
*Identificación de calicatas*



### **1.19.3 Extracción de muestras**

Las muestras obtenidas de las calicatas son alteradas e inalteradas, las muestras alteradas fueron tomadas del suelo extraído de las calicatas, y colocados en costales, las muestras inalteradas fueron extraídas de las paredes de las calicatas y en bloques, estas muestras fueron protegidas con film y llevadas al laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

**Figura 30**  
*Muestras alteradas e inalteradas.*



### **1.19.4 Ensayos de Laboratorio**

Las muestras extraídas en los puntos de investigación, fueron llevadas a los siguientes laboratorios de mecánica de suelos: UPeU, UNI, TCING y GMIG, para determinar las propiedades físicas y mecánicas mediante la ejecución de los ensayos estándares y especiales que se indican a continuación de acuerdo a la normativa nacional e internacional:

- Densidad in situ mediante el método del cono de arena (NTP 339.143 – 2016, ASTM D 1556).
- Contenido de Humedad (NTP 339.127 – 2016, ASTM D 2216).
- Análisis Granulométrico por tamizado (NTP 339.128 – 2016, ASTM D 422).
- Límites de consistencia (NTP 339.129 – 2016, ASTM D 4318-84).
- Método de relaciones gravimétricas y volumétricas de un suelo.
- Gravedad Especifica (NTP 339.131 – 1999, ASTM D 854).
- Corte Directo (NTP 339.171- 2016, ASTM D 3080).
- Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado no drenado para suelos para suelos cohesivos (NTP 339.164 – 2015, ASTM D 2850 ).

#### **1.19.4.1 Densidad in situ mediante el método del Cono de Arena (NTP 339.143 - ASTM D 1556)**

Se colocó la placa metálica en el fondo de la calicata, en una superficie plana, se determinó el volumen de una pequeña excavación de 15 cm de forma cilíndrica, extrayendo todo el material y pesándolo para posteriormente dividirlo entre el volumen del hueco cilíndrico. Luego se toma una muestra representativa del material extraído y se coloca en el Speedy para determinar la humedad del suelo y con estos datos obtener la densidad húmeda del suelo y el contenido de humedad.

**Figura 31**

*Método del cono de arena*



La unidad de medida es en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , se realizaron 3 ensayos de densidad, en las calicatas: C-02, C-03A y C-04, obteniéndose una densidad seca mínima de  $1.34 \text{ gr}/\text{cm}^3$  en la C-04 y una máxima de  $2.30 \text{ gr}/\text{cm}^3$  en la C-02.

#### 1.19.4.2 Contenido de Humedad de un Suelo (NTP 339.127 – ASTM D 2216)

Es objetivo de este ensayo fue determinar el contenido de humedad de del suelo, mediante muestras representativas considerando la siguiente tabla:

**Tabla 22** Muestra mínima según el diámetro de las partículas.

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a $\pm$ 0,1%	a $\pm$ 1%
2 mm o menos	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

*Nota:* Tomado del *Manual de Ensayo de Materiales*, por (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Se colocó la muestra representativa húmeda en un recipiente y se lo pesa, luego se coloca en el horno a una temperatura de  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas, pasado ese tiempo se vuelve a pesar la muestra para determinar las diferencias de pesos y obtener el contenido de humedad el cual se representa en porcentaje.

**Figura 32**  
Contenido de Humedad



### 1.19.5 Análisis Granulométrico por Tamizado (NTP 339.128 – ASTM D 422)

Este ensayo consiste en la separación y clasificación por tamaño de las partículas del suelo. La muestra representativa debe ser lavada para sacar las impurezas y eliminar los finos, seguidamente se coloca en el horno y se toma un peso inicial, después la muestra debe ser cernida en los tamices de manera manual o mecánica y pesar el material retenido en cada tamiz.

**Figura 33**

*Tamizado de la muestra.*



**Figura 34**

*Granulometría de la muestra.*



### 1.19.6 Limite Líquido de los Suelos (NTP 339.129 – ASTM D 4318)

El objetivo del ensayo fue determinar el contenido de humedad que se encuentra entre la frontera de los estados líquido y plástico. Para este ensayo se calcula a los 25 golpes que las dos mitades de una pasta de suelo se cierran a una distancia de 13 mm ( $1/2''$ ), una altura de 1 cm, y a una velocidad de 2 caídas por segundo.

**Figura 35**

*Determinación del límite líquido.*

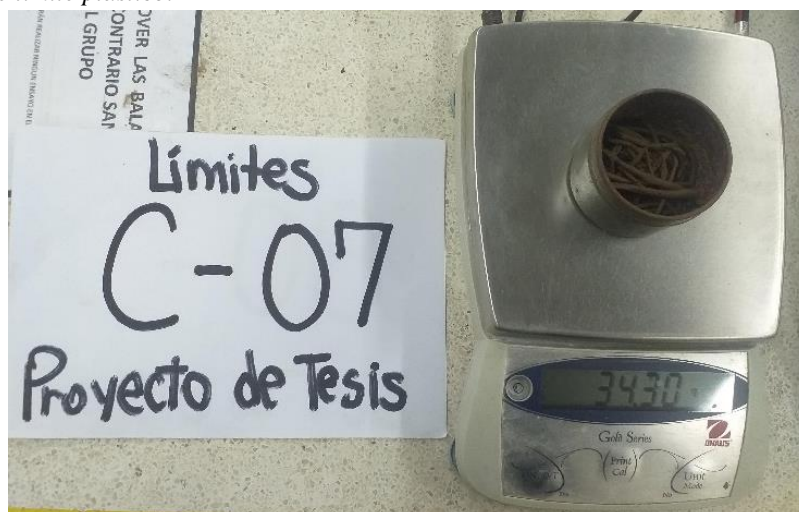


### 1.19.7 Limite Plástico de los Suelos (NTP 339.129 – ASTM D 4318)

El objetivo del ensayo fue determinar la plasticidad del suelo, y poder caracterizar las fracciones finas del suelo, se tomaron muestras representativas de 20 gr pasante del tamiz N°40. Para obtener el límite plástico se realizan barritas de 3.2 mm ( $1/8''$ ) de diámetro, las cuales se amasan sobre un vidrio esmerilado sin que se desmoronen.

**Figura 36**

*Ensayo de límite plástico.*

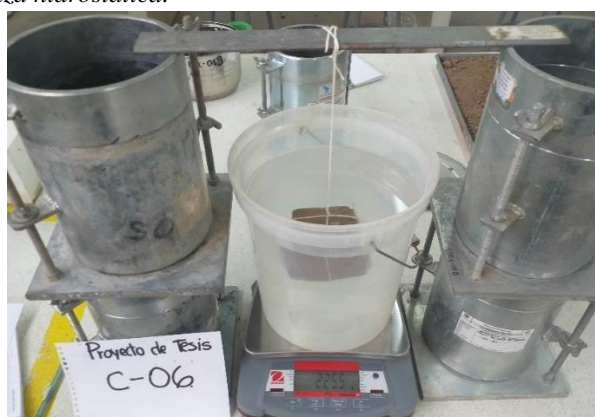


### 1.19.8 Método de Relaciones Gravimétricas y Volumétricas (NTP 339.139 - ASTM D 7263)

Existen tres métodos para obtener estas relaciones en el laboratorio, en esta investigación se utilizó el método de la balanza hidrostática, mediante este ensayo se determina: el contenido de humedad, densidad, relación de vacíos, porosidad y grado de saturación del suelo. Para obtener estas relaciones se debe tallar una muestra en forma rectangular, esta muestra debe ser pesada antes y después de sumergirla completamente en parafina, seguidamente se sumerge en agua y se registra su peso, retirar la parafina y colocar una muestra en el horno por 24 horas.

**Figura 37**

*Método de la balanza hidrostática.*



### 1.19.9 Gravedad Especifica de Sólidos (NTP 339.131 – ASTM D 854)

La gravedad específica es usada en el cálculo de las relaciones de fase de suelos, es decir en las relaciones gravimétricas y volumétricas, tales como la relación de vacíos y grado de saturación.

Se debe tomar una muestra representativa según lo indica en la siguiente tabla:

**Tabla 23**

*Masa redondeada para el espécimen de ensayo.*

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 250 mL	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 500 mL
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

*Nota:* Tomado del *Manual de Ensayo de Materiales*, por (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Para el ensayo primero se debe calibrar el equipo, agregar la muestra de suelo y el agua destilada, después se debe eliminar el aire atrapado en el picnómetro mediante la ebullición, dejar enfriar hasta que este a una temperatura ambiente, verter la muestra en un recipiente, pesar y colocar al horno por 24 horas.

**Figura 38**

*Ensayo de gravedad específica.*

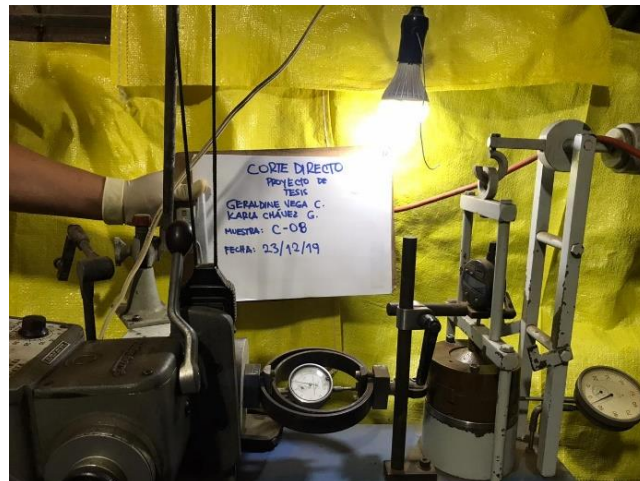


#### **1.19.10 Corte Directo (NTP 339.171 - ASTM D 3080)**

El ensayo de corte directo determina la resistencia última de una muestra de suelo, que está sometida a cargas verticales y horizontales. Para este ensayo se utiliza el equipo de corte directo, el cual es una caja de sección circular o cuadrada dividida en dos mitades, dentro de ella se coloca la muestra y se aplica una carga vertical y horizontal la cual origina el corte de la muestra.

**Figura 39**

*Ensayo de corte directo*



#### **1.19.11 Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado – no drenado para suelos cohesivos (NTP 339.164 - ASTM D 2850)**

Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia y la relación esfuerzo – deformación de una muestra de suelo cilíndrico en suelos cohesivos, la muestra puede ser alterada o inalterada, la muestra es sometida a una presión de confinamiento por un fluido en una cámara triaxial, para que el ensayo sea efectivo se debe ensayar un mínimo de tres probetas.

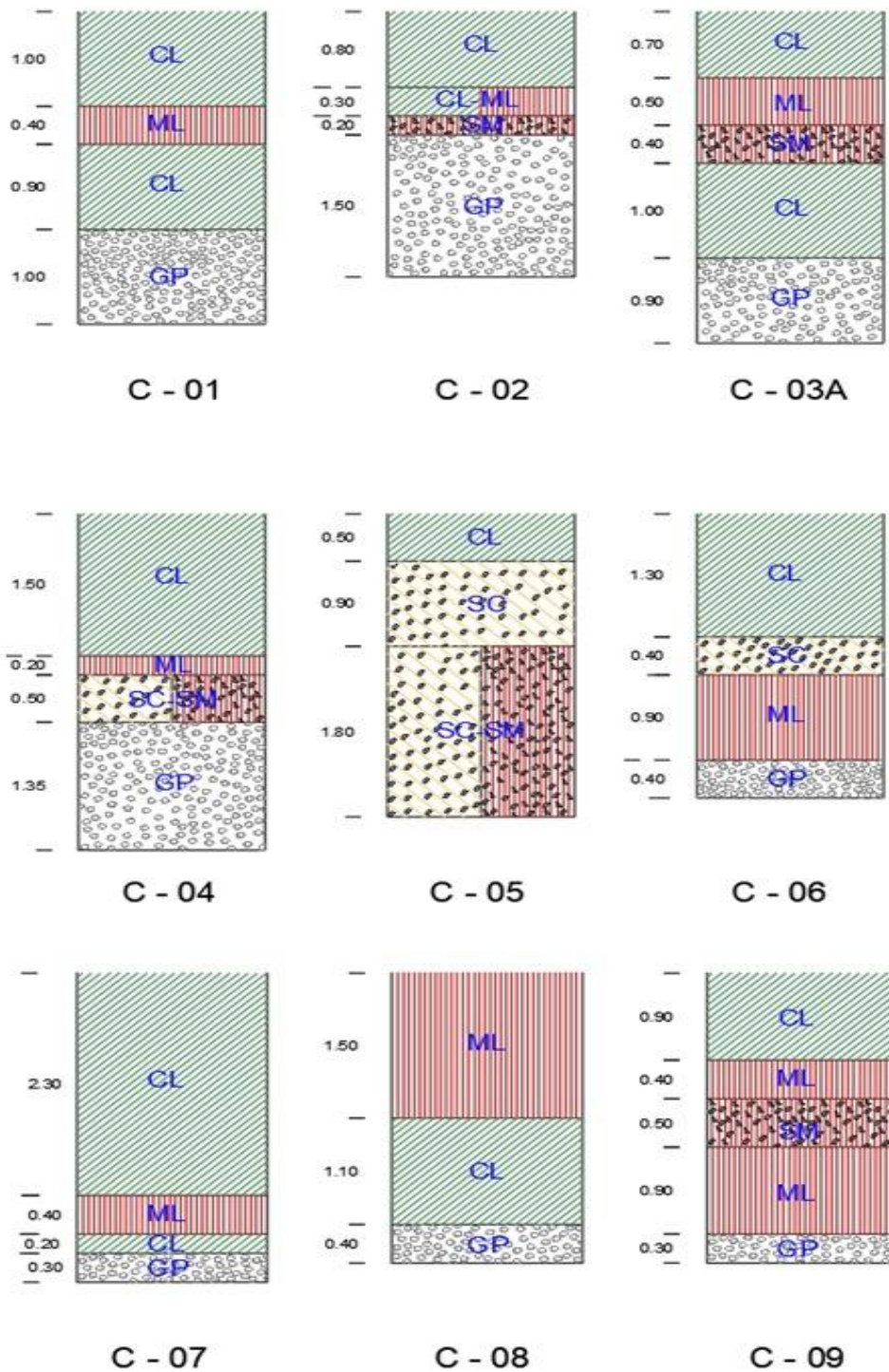
Este ensayo se realizó en la UNI por lo cual no se pudieron tomar fotografías por políticas del laboratorio.

## 1.20 Procesamiento de datos

### 1.20.1 Estratigrafía del suelo de la UPeU

**Figura 40**

*Estratigrafía del suelo de la UPeU*



### 1.20.2 Contenido de Humedad

Mediante este ensayo se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 24**

*Data del Contenido de Humedad*

CALICATA	ESTRATO	CONT. DE HUMEDAD (%)
1	3	9.06
	4	2.00
2	3	3.02
	4	4.23
3A	5	2.00
	3	3.86
4	4	2.00
	3	7.86
5	3	10.40
	4	2.00
6	3	10.82
	4	2.00
7	2	12.28
	3	2.00
8	4	14.88
	5	2.00
9	4	14.88
	5	2.00

### 1.20.3 Granulometría de los suelos

Este ensayo se realizó para determinar el tamaño de partículas del suelo, de las muestras ensayadas que pasaban más del 50% por la malla N°200 se añadió el ensayo de granulometría por sedimentación para poder completar la curva granulométrica y tener una clasificación verídica.

Las calicatas a las cuales se les realizó el ensayo de sedimentación fueron: C-03A, C-04, C-05, C-07, C-08 Anexo B.

**Tabla 25***Data de la Granulometría y Clasificación de suelos*

CALICATA	ESTRATO	% GRAVA	% ARENA	% FINO	LÍMITES DE ATTERBERG			SUCS
					LÍQUIDO	PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
1	3	0.2	46.3	53.4	26	15.4	10.6	CL
	4	76.7	23.1	0.2	NP	NP	NP	GP
2	3	65.8	32.1	2.1	NP	NP	NP	GP
3A	4	1.07	33.8	55.5	28	15.5	12.5	CL
	5	76.7	23.1	0.2	NP	NP	NP	GP
4	3	18.3	32.2	49.5	22.5	15.7	6.8	SC-SM
	4	76.7	23.1	0.2	NP	NP	NP	GP
5	3	0	50.8	49.2	23	17.5	5.5	SC-SM
6	3	0	32.5	67.5	NP	NP	NP	ML
	4	76.7	23.1	0.2	NP	NP	NP	GP
7	3	0.2	24.2	75.6	29.1	18.2	10.9	CL
	4	76.7	23.1	0.2	NP	NP	NP	GP
8	2	0	7.7	92.3	31.9	21.3	10.6	CL
	3	76.7	23.1	0.2	NP	NP	NP	GP
9	4	0	44	56	NP	NP	NP	ML
	5	76.7	23.1	0.2	NP	NP	NP	GP

#### 1.20.4 Relaciones Gravimétricas y Volumétricas

Se determinaron las relaciones gravimétricas de las siguientes calicatas: C-01, C-05, C-06, C-07, C-08 y C-09; para las demás calicatas se realizó el ensayo de densidad in situ. Los datos obtenidos son los siguientes:

**Tabla 26**

*Data de las Relaciones Gravimétricas*

CALICATA	ESTRATO	R. GRAVIMÉTRICAS		
		CONT. HUMEDAD (%)	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )
1	3	7.68	2.102	1.932
5	3	9.4	1.972	1.789
6	3	10.53	1.766	1.564
7	3	15.28	1.725	1.475
8	2	20.18	1.997	1.659
9	4	18.56	1.786	1.483

**Tabla 27**

*Data de las Relaciones Volumétricas*

CALICATA	ESTRATO	R. VOLUMÉTRICAS		
		RELACIÓN DE VACIOS	POROSIDAD	GRADO DE SATURACIÓN
1	3	0.332	24.816	69.627
5	3	0.46	31.468	58.364
6	3	0.698	40.748	51.244
7	3	0.867	46.16	54.671
8	2	0.604	37.605	89.928
9	4	0.802	44.469	68.348

#### 1.20.5 Cono de Arena

Se realizó el ensayo de densidad in situ mediante el método de cono de arena en las calicatas; C-2, C-03A, C-04. Donde se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 28**

*Data del Cono de Arena*

CALICATA	ESTRATO	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	CONT. HUMEDAD (%)
2	3	2.37	2.3	2.94
3A	5	1.83	1.79	2.53
4	3	1.4	1.34	4.13

### 1.20.6 Gravedad Específica de los suelos

De este ensayo se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 29**

*Data de la Gravedad Específica*

CALICATA	ESTRATO	Gravedad Específica (Gs)
1	3	2.57
2	3	2.72
3A	4	2.76
4	3	2.75
5	3	2.61
6	3	2.64
7	3	2.74
8	2	2.66
9	4	2.67

### 1.20.7 Corte Directo

Las muestras de las calicatas C-02, C-03A y C-04 fueron remodeladas, estos ensayos se hicieron en los laboratorios de TCINGE y GMI, de los ensayos realizados se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 30**

*Data del ensayo Corte Directo*

CALICATA	ESTRATO	COHESIÓN C (kg/cm <sup>2</sup> )	ÁNG. DE FRICCIÓN (f°)
1	3	0.42	28.8
	4	0.1	36
2	3	0	34.3
	4	0.38	30.2
3A	5	0.1	36
	3	0.27	32.6
4	4	0.1	36
	3	0.32	31.3
5	3	0.68	25.8
	4	0.1	36
6	3	0.46	29.5
	4	0.1	36
7	2	0.45	27.4
	3	0.1	36
8	4	0.8	28.2
	5	0.1	36
9			

### 1.20.8 Triaxial no consolidado – no drenado

Respetando la normativa E.050 se realizaron dos ensayos triaxiales, en el área “M” y “A”, estos ensayos fueron realizados en los laboratorios de la UNI, y se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 31**  
Data del ensayo Triaxial UU

CALICATA	ESTRATO	COHESIÓN C (kg/cm <sup>2</sup> )	ÁNG. DE FRICCIÓN (f°)
1	3	0.95	28.42
9	4	0.5	28.6

### 1.20.9 Modelamiento de los casos de estudio

Generalmente, para la determinación de la capacidad portante de los suelos se emplean ensayos como el SPT, DPL, CPT y otros, ensayos que no pueden ser empleados en suelos como gravas. Al tener gravas en el estrato final, se tomó la decisión de emplear otros ensayos permitido por la Norma E.050 que son el Corte Directo (hasta 2018) y el Triaxial (norma actualizada). De aquella forma se obtuvieron los valores de Cohesión y Ángulo de Fricción empleados para cada suelo de estudio, como se muestra en la Tabla 30 y la Tabla 31 **Tabla 31**. Además, se emplearon los siguientes valores para el análisis con software:

**Tabla 32**  
Valores empleados en el análisis con software.

Clasificación	Calicata	Peso específico seco (kN/m <sup>3</sup> )	Peso específico saturado (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesión (kN/m <sup>2</sup> )	Módulo de Elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Relación de Poisson
GP	2	23	23.7	0	50000	0.15
	3A	16	18.5	10	50000	0.15
SCSM	4	13.4	14	27	20000	0.30
	5	17.3	19.1	32	20000	0.30
CL	1	18.8	20.2	42	9000	0.35
	3A	17.9	18.3	38	9000	0.35
	7	13.5	15.8	46	9000	0.35
	8	16.2	19.5	45	9000	0.35
CLML	1T	16.63	17.87	95	9000	0.35
ML	6	14.1	15.6	68	10000	0.35
	9	14.4	17.3	80	10000	0.35
	9T	15.49	17.86	50	10000	0.35

Así como también, la configuración general del análisis es la siguiente:

**Tabla 33**  
Configuración del Software

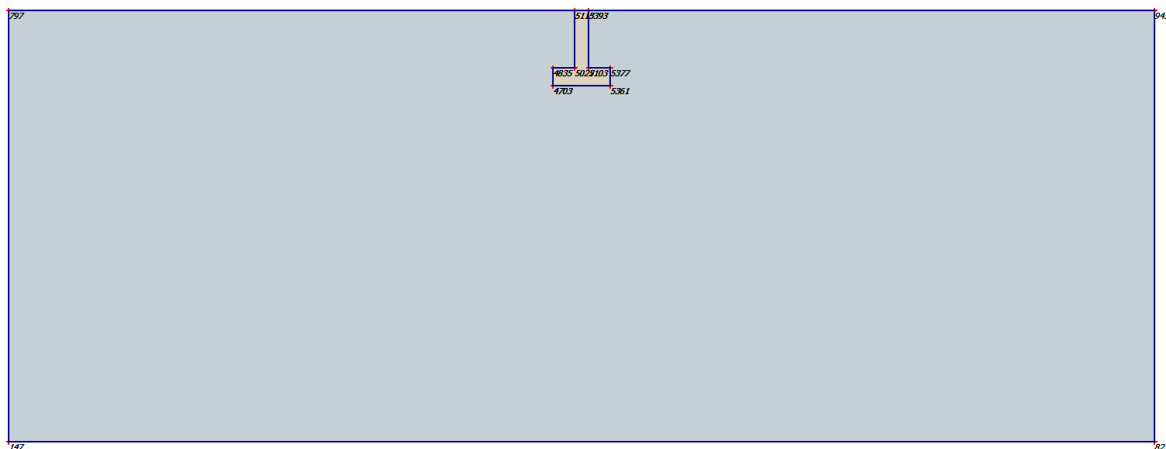
<b>Tipo de Análisis</b>	Elasto-Plástico
<b>Malla</b>	40 m x 15 m
<b>Modelo</b>	Plane Strain
<b>Elementos</b>	15 Nodos
<b>Modelo del material</b>	Mohr - Coulomb
<b>Estado del material</b>	Saturado No Saturado
<b>Succión</b>	0
<b>Profundidad</b>	1.80 m 2.60 m
<b>Zapata</b>	1.50 m x 1.00 m 2.00 m x 1.00 m
<b>Tipo de carga</b>	Iterativa Controlada por desplazamiento

Fuente Propia

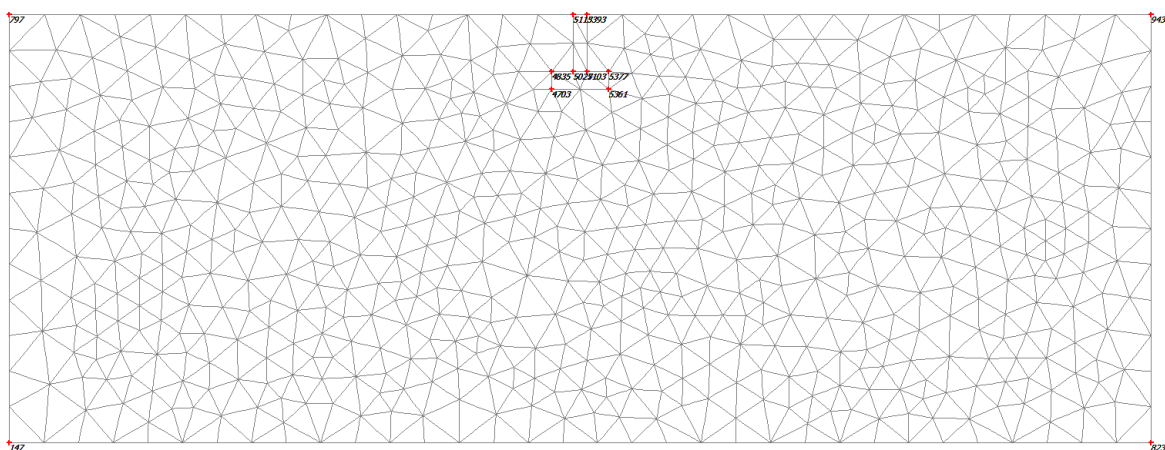
**Tabla 34**  
Características del Concreto de Zapata

<b>Peso específico</b>	24 kN/m <sup>3</sup>
<b>Módulo de Elasticidad</b>	26604000
<b>Relación de Poisson</b>	0.15 – 0.2
<b>Modelo del material</b>	Elástico Lineal
<b>Estado del material</b>	No Poroso

**Figura 41**  
*Geometría del modelo con nodos significativos*



**Figura 42**  
*Trazado de la malla con nodos significativos*



## Capítulo IV. Resultados y Discusión

### 1.21 Resultados de las propiedades físicas y mecánicas del suelo

**Tabla 35**

*Resumen de los resultados de las Propiedades Físicas y Mecánicas de las zonas MDA*

ZONA	CALICATAS	ESTRATO	PROPIEDADES FÍSICAS				PROPIEDADES MECÁNICAS			OBSERVACIONES
			CONT. DE HUMEDAD (%)	SUCS	LÍMITES DE ATTERBERG		PESO ESPECÍFICO (gr/cm <sup>3</sup> )	ENSAYO DE CORTE DIRECTO		
					LÍQUIDO	PLÁSTICO		COHESIÓN C (kg/cm <sup>2</sup> )	ÁNG. DE FRICCIÓN (f°)	
A	1	3	9.06	CL	26	15.4	2.1	0.42	28.8	Arcilla de baja plasticidad arenosa
		4	2.00	GP	NP	NP	1.85	0.1	36	Grava mal graduada con arena
	2	3	3.02	GP	NP	NP	2.37	0	34.3	Grava mal graduada con arena
		4	4.23	CL	28	15.5	1.83	0.38	30.2	Arcilla de baja plasticidad arenosa
	3A	5	2.00	GP	NP	NP	1.85	0.1	36	Grava mal graduada con arena
		4	3.86	SC-SM	22.5	15.7	1.4	0.27	32.6	Arcilla de baja plasticidad arenosa
D	4	3	2.00	GP	NP	NP	1.85	0.1	36	Grava mal graduada con arena
		5	7.86	SC-SM	23	17.5	1.91	0.32	31.3	Arcilla de baja plasticidad arenosa
M	6	3	10.40	ML	NP	NP	1.56	0.68	25.8	Limo de baja plasticidad arenoso
		4	2.00	GP	NP	NP	1.85	0.1	36	Grava mal graduada con arena
	7	3	10.82	CL	29.1	18.2	1.58	0.46	29.5	Arcilla de baja plasticidad arenosa
		4	2.00	GP	NP	NP	1.85	0.1	36	Grava mal graduada con arena
	8	2	12.28	CL	31.9	21.3	1.95	0.45	27.4	Arcilla de baja plasticidad arenosa
		3	2.00	GP	NP	NP	1.85	0.1	36	Grava mal graduada con arena
	9	4	14.88	ML	NP	NP	1.73	0.8	28.2	Limo de baja plasticidad arenoso
		5	2.00	GP	NP	NP	1.85	0.1	36	Grava mal graduada con arena

De los resultados de las propiedades físicas y mecánicas del suelo se obtuvieron las siguientes características por zonas:

En la Zona “A”:

El contenido de humedad que presentan las muestras analizadas varía entre 2.0 % y 9.06%, lo cual nos indica que no son suelos uniformes y se encuentran parcialmente saturados.

En la granulometría el porcentaje de finos que pasa el tamiz N°200 varía entre 0.2% y 55.5%, en cuanto a los límite de consistencia, no todas las muestras presentan límites y las muestras que presentan límite líquido varían entre 22.5% y 28%, para el límite plástico se obtuvieron valores entre 15.4% y 15.7% y el índice plasticidad presenta valores entre 6.8% y 12.5%, clasificándose mediante SUCS como suelos de granulometría gruesa: GP, y granulometría fina: SC-SM y CL.

Del ensayo de corte directo se obtuvo los valores de cohesión, los cuales varían entre 0 - 0.42 kg/cm<sup>2</sup>, para la cohesión se tuvo en cuenta los porcentajes de humedad mencionados anteriormente, también se obtuvo valores del ángulo de fricción, los cuales varían entre 28.8 – 36°.

En la Zona “D”:

El contenido de humedad que presenta la muestra analizada es de 7.86%.

En la granulometría el porcentaje de finos que pasa el tamiz N°200 es de 49.2%, en cuanto a los límites de consistencia, la muestra presenta un límite líquido de 23%, el límite plástico de 17.5% y el índice de plasticidad es de 5.5%, clasificándose mediante SUCS como suelos de granulometría fina: SC-SM.

Del ensayo de corte directo se obtuvo la cohesión de 0.32 kg/cm<sup>2</sup> y el ángulo de fricción es 31.3°.

En la Zona “M”:

El contenido de humedad que presentan las muestras analizadas varía entre 2.0 % y 14.88 %, lo cual nos indica que no son suelos uniformes y se encuentran parcialmente saturados.

En la granulometría el porcentaje de finos que pasa el tamiz N°200 varía entre 0.2% y 92.3%, en cuanto a los límite de consistencia, no todas las muestras presentan límites y las muestras que presentan límite líquido varían entre 29.1% y 31.9%, para el límite plástico se obtuvieron

valores entre 18.2% y 21.3% y el índice plasticidad presenta valores entre 10.6% y 10.9%, clasificándose mediante SUCS como suelos de granulometría gruesa: GP, y granulometría fina: ML y CL.

Del ensayo de corte directo se obtuvo los valores de cohesión, los cuales varían entre 0.1 - 0.68 kg/cm<sup>2</sup>, para la cohesión se tuvo en cuenta los porcentajes de humedad mencionados anteriormente, también se obtuvo valores del ángulo de fricción, los cuales varían entre 27.4 – 36°.

Como parte de la normativa peruana E.050 se realizaron 2 ensayos triaxial ubicados en las zonas “M” y “A”, en el cual se obtuvo una cohesión de 0.5 kg/cm<sup>2</sup> y 0.95 kg/cm<sup>2</sup>, y un ángulo de fricción de 28.42° y 28.6°.

## **1.22 Zonificación de las áreas MDA**

Dentro de los objetivos de la investigación se consideró realizar una zonificación geotécnica según el tipo de suelo, con el propósito de determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en las zonas MDA del campus de la UPeU, la zonificación se realizó a dos profundidades 1.80m y 2.60m debido a las infraestructuras que se construirán.

En las zonas MDA a 1.80m de profundidad se encontraron los siguientes suelos:

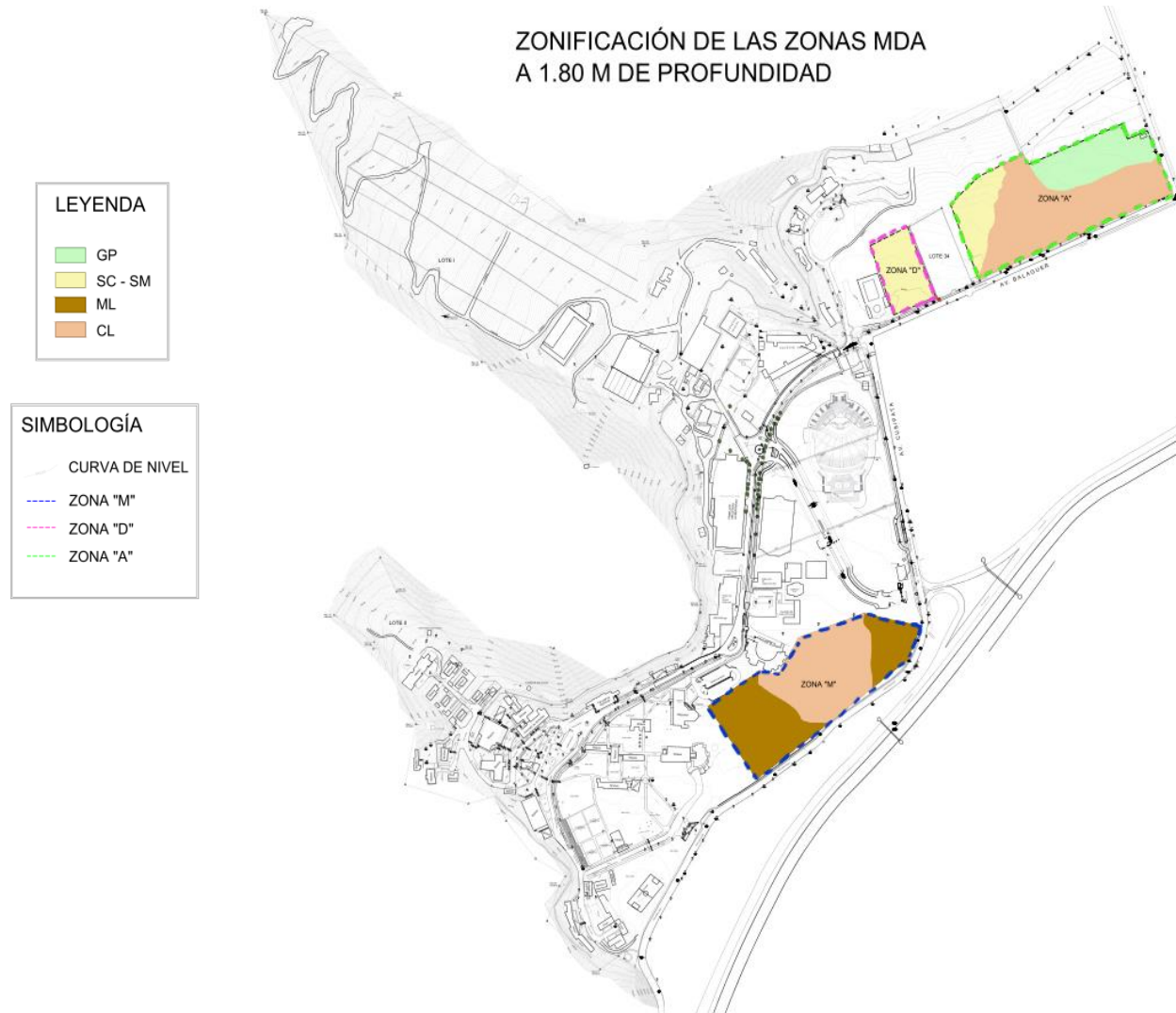
- Zona “M”: De acuerdo al perfil estratigráfico y la clasificación SUCS predominan: ML y CL.
- Zona “D”: De acuerdo al perfil estratigráfico y la clasificación SUCS predominan: SC-SM
- Zona “A”: De acuerdo al perfil estratigráfico y la clasificación de SUCS predominan: CL, SC-SM y GP.

A los 2.60m de profundidad se encontraron los siguientes suelos:

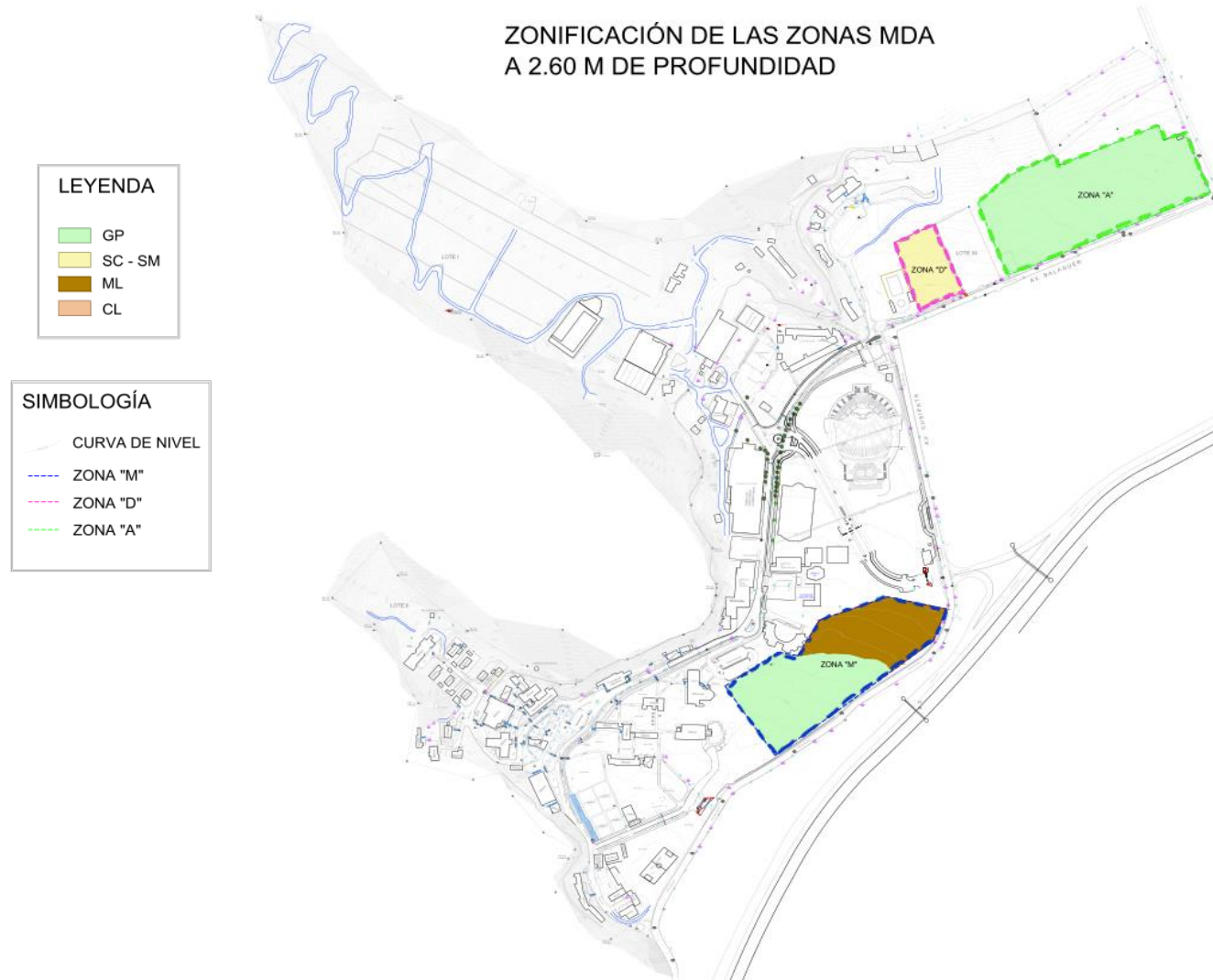
- Zona “M”: De acuerdo al perfil estratigráfico y la clasificación de SUCS predominan ML y GP.
- Zona “D”: De acuerdo al perfil estratigráfico y la clasificación SUCS predomina SC-SM.
- Zona “A”: De acuerdo al perfil estratigráfico y la clasificación SUCS predomina GP.

**Figura 43**

*Zonificación de las zonas MDA a 1.80m de profundidad*



**Figura 44**  
*Zonificación de las zonas MDA a 2.60m de profundidad*



## 1.23 Resultados de Capacidad de Carga

### 1.23.1 Capacidad de Carga Última

Las capacidades de carga se han analizado en función a las profundidades y dimensiones de zapata especificados en la Tabla 33. Por tanto, se tienen 4 tablas de resultados: Tabla 36, 37, 38 y 39 y están representados en las Figuras 46, 47, 48 y 49, los valores mostrados están en la unidad de kN/m<sup>2</sup> y fueron convertidos a kg/cm<sup>2</sup> para la interpretación. Donde para los suelos GP y SCSM el mayor valor de capacidad de carga última es obtenido mediante la fórmula de Vesic aplicando factores de compresibilidad. En el caso de los suelos CL, ML y CLML son Hansen y Plaxis No Saturado los métodos por los que obtienen valores elevados de capacidad de carga última. Y el menor valor es obtenido mediante Plaxis Saturado para los cinco tipos de suelos mencionados.

En la Zona “A” se tienen las calicatas 1, 2, 3A y 4, de las cuales se extrajeron las muestras 1 y 1T, 2, 3A y 4 respectivamente, donde a 1.80 m se tienen las clasificaciones de CLML, CL, GP, CL y SCSM respectivamente y a una profundidad de 2.60 m se tiene la clasificación de GP en la totalidad del área. Por lo cual dependiendo del área de influencia de cada calicata se tienen los siguientes resultados:

En la calicata 1 – CL, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 28.8° y cohesión 0.42 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado y con el software Plaxis en condición no drenado se obtienen capacidades de carga última de 25.82 kg/cm<sup>2</sup> a 32.17 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 8.21 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo CL con cohesiones medianas y en estado Saturado tienen menor Capacidad de Carga que los mismos suelos CL en estado No Saturado.
- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 23.97 kg/cm<sup>2</sup> a 31.69 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 11.10 kg/cm<sup>2</sup> y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 7.88 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo CL con cohesiones medianas y en estado Saturado tienen menor Capacidad de Carga que los mismos suelos CL en estado No Saturado.

En la calicata 1T – CLML, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción  $28.42^\circ$  y cohesión  $0.95 \text{ kg/cm}^2$ .

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado y con el software Plaxis en condición no drenado se obtienen capacidades de carga última de  $26.75 \text{ kg/cm}^2$  a  $37.06 \text{ kg/cm}^2$ , y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene  $33.00 \text{ kg/cm}^2$ , siendo que el suelo CL con cohesiones medianas y en estado Saturado tienen menor Capacidad de Carga que los mismos suelos CL en estado No Saturado.
- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de  $24.88 \text{ kg/cm}^2$  a  $33.49 \text{ kg/cm}^2$ , con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene  $13.10 \text{ kg/cm}^2$  y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene  $9.48 \text{ kg/cm}^2$ .

En la calicata 2 – GP, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción  $34.3^\circ$  y cohesión  $0.00 \text{ kg/cm}^2$ .

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de  $18.37 \text{ kg/cm}^2$  a  $24.40 \text{ kg/cm}^2$ , con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene  $45.31 \text{ kg/cm}^2$  con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene  $8.22 \text{ kg/cm}^2$ , y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene  $7.46 \text{ kg/cm}^2$ .
- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de  $18.37 \text{ kg/cm}^2$  a  $22.98 \text{ kg/cm}^2$ , con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene  $39.42 \text{ kg/cm}^2$  con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene  $3.55 \text{ kg/cm}^2$ , y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene  $12.40 \text{ kg/cm}^2$ , siendo que el suelo GP en condición drenada y con las características mencionadas, tiene mayor capacidad de carga última que en condición no drenada con respecto al análisis con el software Plaxis. Con respecto a las fórmulas semi-empíricas, al emplear factores de

compresibilidad la capacidad de carga última aumenta considerablemente con respecto a las otras fórmulas.

- A una profundidad de 2.60 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.58, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 25.56 kg/cm<sup>2</sup> a 35.51 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 54.09 kg/cm<sup>2</sup> con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 15.10 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 7.18 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo GP en condición no drenada y con las características mencionadas, tiene mayor capacidad de carga última que en condición drenada con respecto al análisis con el software Plaxis. Con respecto a las fórmulas semi-empíricas, al emplear factores de compresibilidad la capacidad de carga última aumenta considerablemente con respecto a las otras fórmulas.
- A una profundidad de 2.60 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.77, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 25.56 kg/cm<sup>2</sup> a 33.33 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 47.00 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 5.79 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 4.30 kg/cm<sup>2</sup>. Con respecto a las fórmulas semi-empíricas, al emplear factores de compresibilidad la capacidad de carga última aumenta considerablemente con respecto a las otras fórmulas.

En la calicata 3A – CL, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 30.2° y cohesión 0.38 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado y con el software Plaxis en condición no drenado se obtienen capacidades de carga última de 26.20 kg/cm<sup>2</sup> a 34.67 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 6.30 kg/cm<sup>2</sup>. Obteniéndose que los suelos CL en condición no saturada tienen mayor resistencia que los suelos CL en condiciones saturadas.
- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 24.54 kg/cm<sup>2</sup> a 32.33

kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 9.61 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 8.06 kg/cm<sup>2</sup>. Por tanto, los suelos CL con las características mencionadas, mediante software se obtiene una capacidad de carga última menor que con fórmulas semi-empíricas.

En la calicata 3A – GP, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 36° y cohesión 0.10 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 2.60 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.58, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 32.79 kg/cm<sup>2</sup> a 38.15 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Hansen se obtiene 45.26 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 66.25 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 16.20 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 4.87 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo GP en condición no drenada y con las características mencionadas, tiene mayor capacidad de carga última que en condición drenada con respecto al análisis con el software Plaxis. Con respecto a las fórmulas semi-empíricas, al emplear factores de compresibilidad la capacidad de carga última aumenta considerablemente con respecto a las otras fórmulas.
- A una profundidad de 2.60 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.77, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 32.79 kg/cm<sup>2</sup> a 34.68 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Hansen se obtiene 42.13 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 56.80 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 5.85 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 4.05 kg/cm<sup>2</sup>. Con respecto a las fórmulas semi-empíricas, al emplear factores de compresibilidad la capacidad de carga última aumenta considerablemente con respecto a las otras fórmulas.

En la calicata 4 – SCSM, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 32.6° y cohesión 0.27 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado y con el software Plaxis en condición no drenado se obtienen capacidades de carga última de 20.20 kg/cm<sup>2</sup> a 32.08 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-

empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 43.46 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 7.01 kg/cm<sup>2</sup>. Obteniéndose que los suelos SCSM, con las características mencionadas, en condición no saturada tienen mayor resistencia que los mismos suelos en condiciones saturadas.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 22.62 kg/cm<sup>2</sup> a 29.78 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 37.66 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 7.29 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 4.53 kg/cm<sup>2</sup>.

En la Zona “D” se tiene la calicata 5, en la cual a 1.80 m y a 2.60 m se tiene la clasificación de SCSM en la totalidad del área. Para la cual se tienen los siguientes resultados:

En la calicata 5 – SCSM, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 31.3° y cohesión 0.32 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 27.13 kg/cm<sup>2</sup> a 35.22 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 45.50 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 19.80 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 4.53 kg/cm<sup>2</sup>. Obteniéndose que los suelos SCSM con las características mencionadas y en condición no saturada tienen mayor capacidad de carga última que los mismos suelos en condiciones saturadas.
- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 25.33 kg/cm<sup>2</sup> a 27.13 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Hansen se obtiene 32.84 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 39.56 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 8.90 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 3.14 kg/cm<sup>2</sup>. Obteniéndose menores resultados con el software Plaxis que con los métodos semi-empíricos.

- A una profundidad de 2.60 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.58, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 31.13 kg/cm<sup>2</sup> a 34.42 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Hansen se obtiene 42.35 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 46.65 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 35.40 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 5.81 kg/cm<sup>2</sup>.
- A una profundidad de 2.60 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.77, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 29.62 kg/cm<sup>2</sup> a 31.13 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Hansen se obtiene 39.50 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 40.48 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 11.90 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 7.13 kg/cm<sup>2</sup>.

En la Zona “M” se tienen las calicatas 6, 7, 8 y 9, de las cuales se extrajeron las muestras 6, 7, 8, 9 y 9T respectivamente, donde a 1.80 m se tienen las clasificaciones de ML, CL, CL, ML y ML respectivamente y a una profundidad de 2.60 m se tiene la clasificación de ML y GP. Por lo cual dependiendo del área de influencia de cada calicata se tienen los siguientes resultados:

En la calicata 6 – ML, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 25.8° y cohesión 0.68 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 25.04 kg/cm<sup>2</sup> a 28.70 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Hansen se obtiene 34.50 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 40.44 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 39.90 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 7.25 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo ML con las características mencionadas y en estado Saturado tienen menor Capacidad de Carga que los mismos suelos ML en estado No Saturado.
- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado saturado se obtienen capacidades de carga última de 23.40 kg/cm<sup>2</sup> a 27.70

kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Hansen se obtiene 32.31 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Vesic con los factores de compresibilidad se obtiene 35.86 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 16.70 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 15.20 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 2.60 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.58, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 26.98 kg/cm<sup>2</sup> a 38.98 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 70.50 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 8.23 kg/cm<sup>2</sup>.
- A una profundidad de 2.60 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.77, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 25.23 kg/cm<sup>2</sup> a 35.95 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 21.80 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 15.70 kg/cm<sup>2</sup>.

En la calicata 7 – CL, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 29.5° y cohesión 0.46 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 26.42 kg/cm<sup>2</sup> a 35.50 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 33.10 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 6.02 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo CL con las características mencionadas y en estado Saturado tienen menor Capacidad de Carga Última que los mismos suelos CL en estado No Saturado.
- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado saturado se obtienen capacidades de carga última de 24.54 kg/cm<sup>2</sup> a 33.09 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 11.70 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 7.80 kg/cm<sup>2</sup>.

En la calicata 8 – CL, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 27.4° y cohesión 0.45 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en

estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 21.31 kg/cm<sup>2</sup> a 28.47 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 11.30 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 9.42 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo CL con las características mencionadas y en estado Saturado tienen menor Capacidad de Carga Última que los mismos suelos CL en estado No Saturado.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación z/Df igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado saturado se obtienen capacidades de carga última de 29.50 kg/cm<sup>2</sup> a 33.89 kg/cm<sup>2</sup>, con el método semi-empírico de Hansen se obtiene 40.75 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 43.00 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 5.64 kg/cm<sup>2</sup>.

En la calicata 9 – ML, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 28.2° y cohesión 0.80 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación z/Df igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 36.35 kg/cm<sup>2</sup> a 49.75 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 56.30 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 8.64 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo CL con las características mencionadas y en estado Saturado tienen menor Capacidad de Carga Última que los mismos suelos CL en estado No Saturado.
- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación z/Df igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado saturado se obtienen capacidades de carga última de 37.60 kg/cm<sup>2</sup> a 46.41 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 20.60 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 15.10 kg/cm<sup>2</sup>.

En la calicata 9T – ML, se tienen las siguientes propiedades mecánicas: ángulo de fricción 28.6° y cohesión 0.50 kg/cm<sup>2</sup>.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, con una relación z/Df igual a 0.83, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado no saturado se obtienen capacidades de carga última de 26.75 kg/cm<sup>2</sup> a 37.06 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 33.00 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 6.00 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el suelo ML

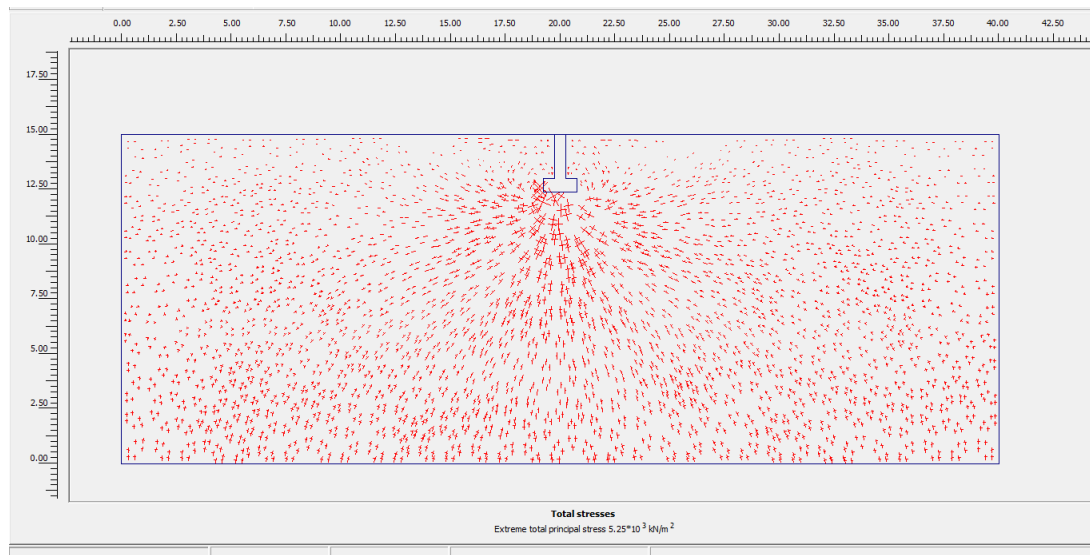
con las características mencionadas y en estado Saturado tienen menor Capacidad de Carga Última que los mismos suelos ML en estado No Saturado.

- A una profundidad de 1.80 m, con una dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m, con una relación  $z/D_f$  igual a 1.11, considerando los métodos semi-empíricos para suelos en estado saturado se obtienen capacidades de carga última de 24.88 kg/cm<sup>2</sup> a 33.491 kg/cm<sup>2</sup>, con el software Plaxis en condición no drenado se obtiene 13.10 kg/cm<sup>2</sup>, y con el software Plaxis en condición drenado se obtiene 9.48 kg/cm<sup>2</sup>.

Con relación a los antecedentes estudiados, las capacidades de carga pueden variar considerablemente dependiendo de las características físicas y mecánicas. Dependiendo si son materiales sueltos o compactos, así como también depende del tamaño de partículas. En nuestro caso de estudio, sólo se evaluó en función a características físicas como las mencionadas en la Tabla 35. Basándonos netamente en la cohesión y ángulo de fricción para las propiedades mecánicas, además, para los factores como el módulo de elasticidad y relación de Poisson se emplearon tablas como las ya mencionadas en la sección 2.8. Razón por la cual evaluar una comparación con otros estudios genera cierta variación entre resultados obtenidos.

**Figura 45**

*Resultado del análisis de la capacidad de carga ultima en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m.*



Además, no existen muchos estudios específicamente sobre el tema tratado, aún así, con las investigaciones presentadas en la sección 2.1 hallamos que el ángulo de fricción y la cohesión de los suelos CL estudiados, son mayores a los de otras investigaciones. Con respecto a los suelos GP, los resultados obtenidos son relativamente superiores a otras investigaciones. Con respecto a los suelos ML y CLML, nuestros suelos estudiados si presentan cohesión en

comparación con otros suelos ML estudiados por otros autores. Y con respecto a los suelos SCSM, no se hallaron resultados en otras investigaciones.

**Tabla 36**

*Capacidad de Carga Última (kN/m<sup>2</sup>) para Df 1.80 m Zapata 1.50 m x1.00 m*

SUCS	Calicata	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Vesic fc	Plaxis Saturado	Plaxis No Saturado
GP	2	1837	2131	2440	2273	4531	746.41	822.36
	3A	2581	3021	3414	2937	6039	537.83	884.25
SCSM	4	2450	2738	3208	2448	4346	700.69	2020
	5	2713	3000	3522	2742	4550	453.31	1980
CL	1	2646	2849	3390	2582	3217	821.02	2600
	3A	2689	2933	3467	2641	3211	629.76	2620
	7	2776	2994	3550	2642	3489	601.79	3310
	8	2395	2537	3042	2281	3151	612.49	2630
CLML	1T	4684	4979	5895	4321	5303	1530	6590
ML	6	2770	2870	3450	2504	4044	724.6	3990
	9	3949	4190	4974	3635	4926	863.65	5630
	9T	2817	3014	3586	2675	3706	600.26	3300

**Tabla 37**

*Capacidad de Carga Última (kN/m<sup>2</sup>) para Df 1.80 m Zapata 2.00 m x1.00 m*

SUCS	Calicata	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Vesic fc	Plaxis Saturado	Plaxis No Saturado
GP	2	1837	1972	2298	2108	3942	1240	355.92
	3A	2581	2732	3180	2703	5177	397.03	333.26
SCSM	4	2450	2451	2978	2262	3766	453.26	728.51
	5	2713	2700	3284	2533	3956	313.53	890.66
CL	1	2646	2573	3169	2397	2819	788.53	1110
	3A	2689	2639	3233	2454	2808	805.86	961.19
	7	2776	2688	3309	2454	3053	780.19	1170
	8	2395	2295	2847	2131	2786	941.67	1130
CLML	1T	4647	4461	5497	4007	4647	1270	1400
ML	6	2770	2591	3231	2340	3586	1520	1670
	9	3949	3760	4641	3398	4347	1510	2060
	9T	2817	2713	3349	2488	3253	948.18	1310

**Tabla 38***Capacidad de Carga Última (kN/m<sup>2</sup>) para Df 2.60 m Zapata 1.50 m x1.00 m*

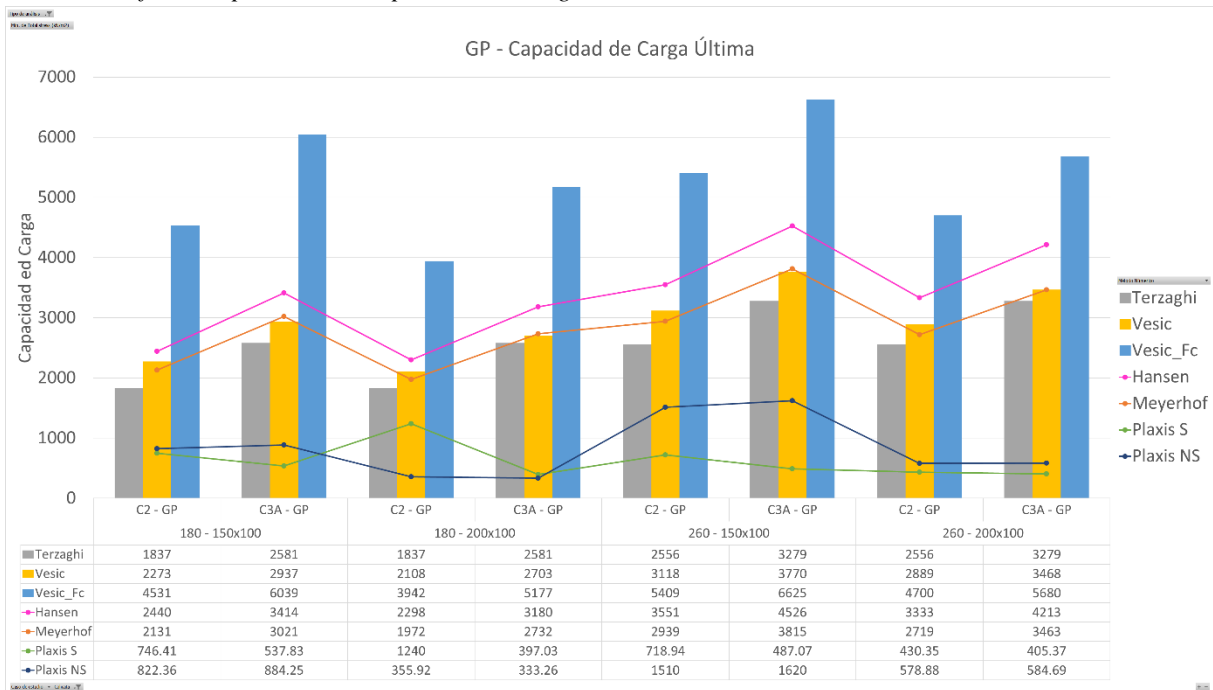
SUCS	Calicata	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Vesic fc	Plaxis Saturado	Plaxis No Saturado
GP	2	2556	2939	3551	3118	5409	718.94	1510
	3A	3279	3815	4526	3770	6625	487.07	1620
SCSM	4	2793	3120	3824	2851	4395	435.3	2610
	5	3113	3442	4235	3207	4665	580.5	3540
CL	1	2974	3206	3996	2956	3186	747.66	4360
	3A	3026	3302	4087	3028	3175	761.52	4330
	7	3044	3287	4075	2950	3389	563.61	4300
CLML	8	2654	2819	3537	2575	3095	733.69	4370
	1T	4951	5270	6513	4617	5044	1370	8500
ML	6	2944	3058	3837	2698	3898	823.28	7050
	9	4201	4465	5534	3923	4707	1410	8680
	9T	3090	3311	4121	2985	3604	551.14	5250

**Tabla 39***Capacidad de Carga Última (kN/m<sup>2</sup>) para Df 2.60 m Zapata 2.00 m x1.00 m*

SUCS	Calicata	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Vesic fc	Plaxis Saturado	Plaxis No Saturado
GP	2	2556	2719	3333	2889	4700	430.35	578.88
	3A	3279	3463	4213	3468	5680	405.37	584.69
SCSM	4	2793	2806	3553	2634	3804	298.74	1030
	5	3113	3111	3950	2962	4048	712.63	1190
CL	1	2974	2908	3738	2745	2790	894.68	1480
	3A	3026	2984	3814	2814	2776	924.87	1400
	7	3044	2962	3801	2739	2964	742.78	1630
CLML	8	2654	2559	3312	2406	2736	906.84	1550
	1T	4951	4733	6075	4292	4421	2120	3210
ML	6	2944	2767	3595	2523	3456	1570	2180
	9	4201	4017	5166	3667	4150	1500	2730
	9T	3090	2991	3850	2778	3164	1570	1610

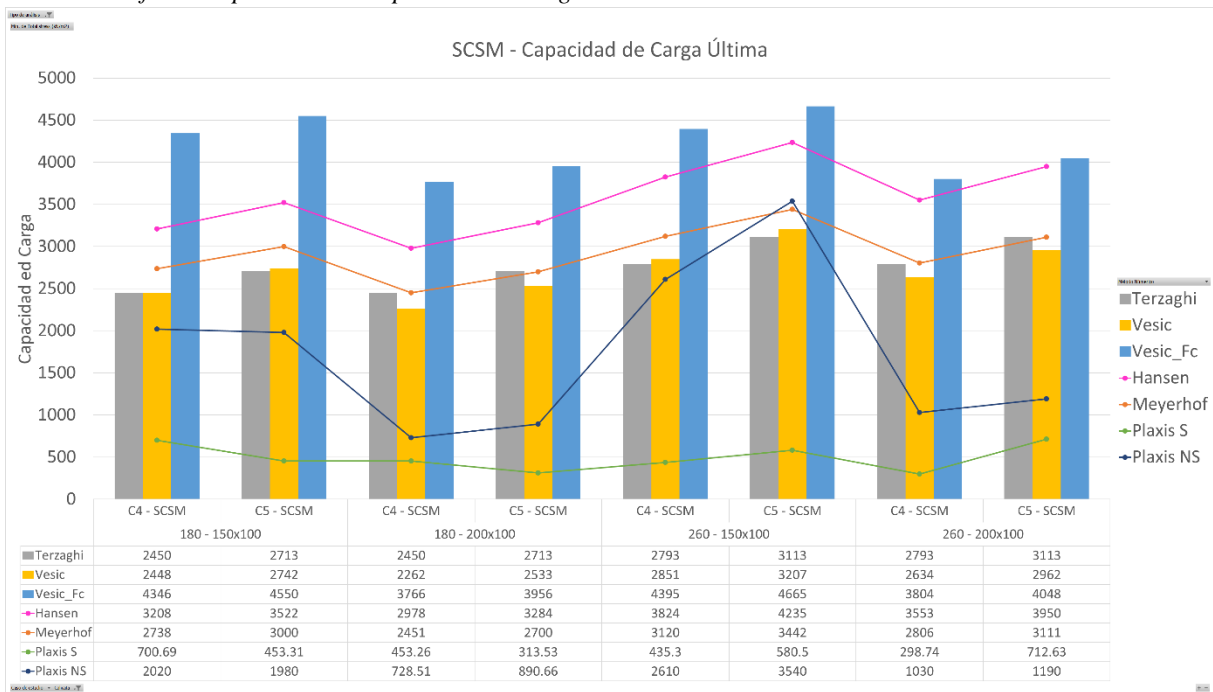
**Figura 46**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Última en suelos GP.*



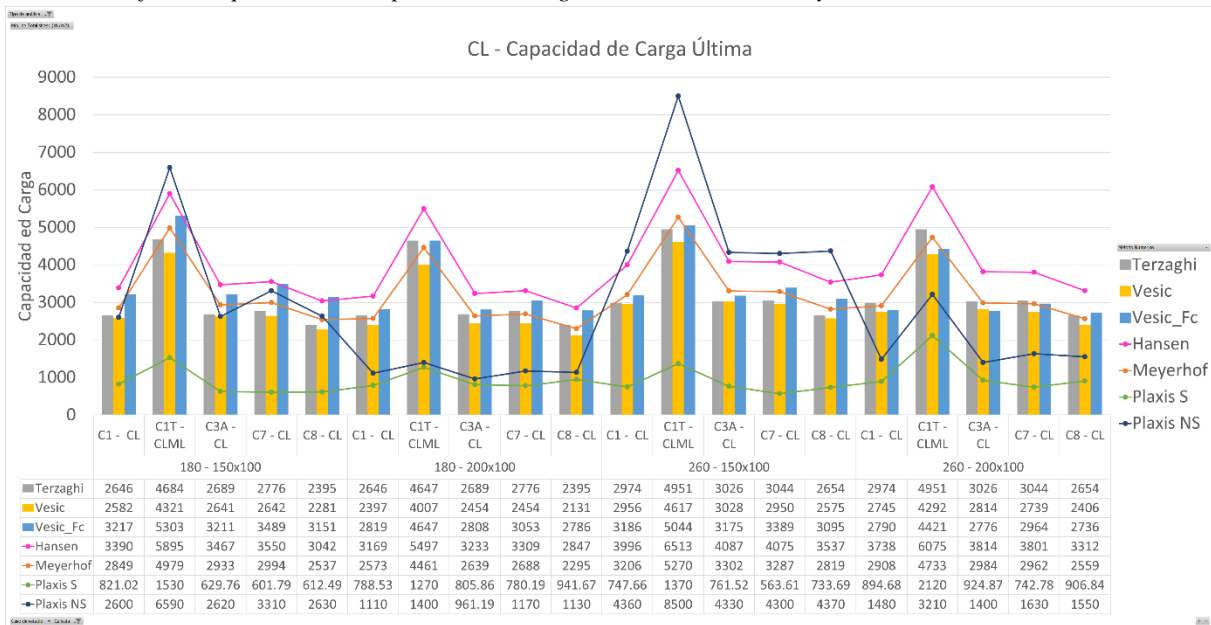
**Figura 47**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Última en suelos SCSM.*



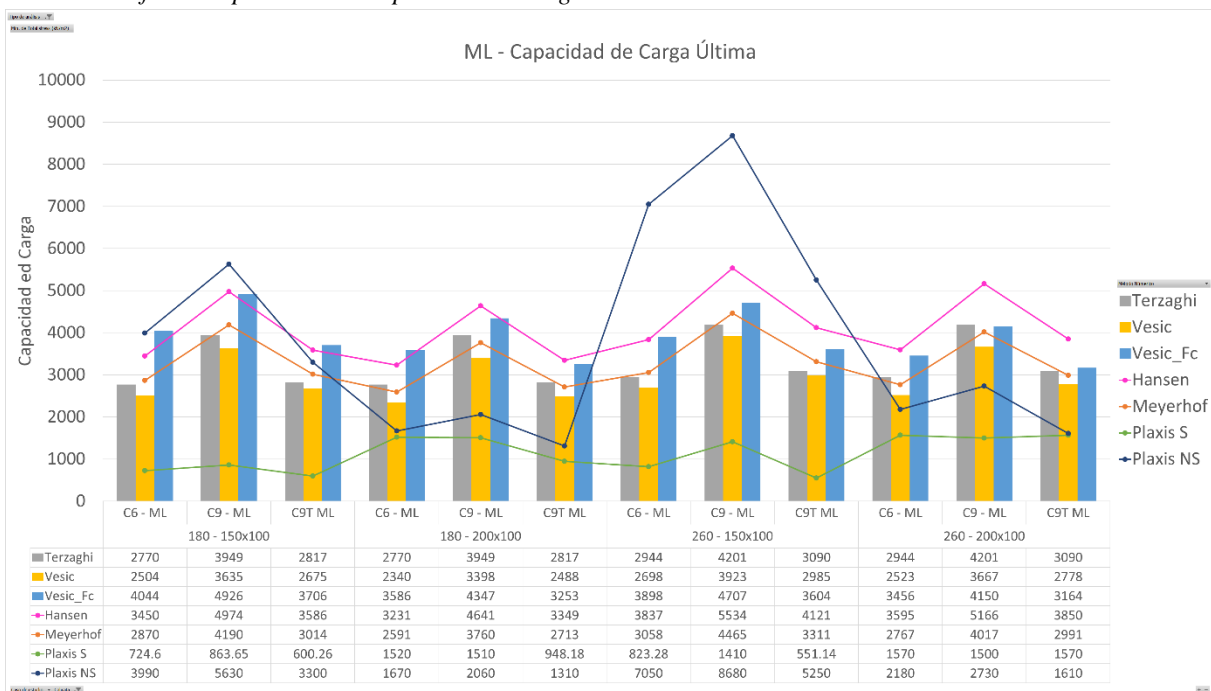
**Figura 48**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Última en suelos CL y CLML.*



**Figura 49**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Última en suelos ML.*



### 1.23.2 Capacidad de Carga Admisible

En el caso de capacidad de carga admisible, para las ecuaciones semi-empíricas se empleó un factor de seguridad de 3, obteniendo resultados variados en todos los tipos de suelos estudiados.

Resultados mostrados en las Tablas 40, 41, 42 y 43, representados en las figuras 51, 52, 53 y 54, mostrados en unidades kN/m<sup>2</sup> y convertidos a kg/cm<sup>2</sup> para la interpretación.

Para el GP, que está localizado en la Zona “A”, se mantiene el mayor valor con el método de Vesic con factores de compresibilidad y los valores menores varían entre Plaxis Saturado y No Saturado. Los menores valores varían entre rangos de 2 kg/cm<sup>2</sup> a 4 kg/cm<sup>2</sup> a 1.80 m de profundidad; y rangos de 2 kg/cm<sup>2</sup> a 3.8 kg/cm<sup>2</sup> a 2.6 m de profundidad

Para el SCSM, localizado en la Zona “A” y “D”, en siete de ocho análisis se obtuvo el mayor valor mediante Vesic con los factores de compresibilidad, y uno con Plaxis No Saturado, y los menores valores se obtuvieron con Plaxis Saturado. Los menores valores varían entre rangos de 1.9 kg/cm<sup>2</sup> a 3.7 kg/cm<sup>2</sup> a 1.80 m de profundidad; y rangos de 1.6 kg/cm<sup>2</sup> a 3.6 kg/cm<sup>2</sup> a 2.60 m de profundidad.

Para el CL, localizado en las Zonas “M” y “A”, en cuatro de dieciséis análisis se obtuvieron mayores valores con el método de Plaxis No Saturado, los análisis restantes (en términos de mayores valores) se obtuvieron con Vesic con factores de compresibilidad. De la misma forma que en los SCSM, los menores valores se obtuvieron con Plaxis Saturado. Los menores valores varían entre rangos de 3.7 kg/cm<sup>2</sup> y 4.9 kg/cm<sup>2</sup> a 1.80 m de profundidad; y rangos de 3.2 kg/cm<sup>2</sup> a 4.6 kg/cm<sup>2</sup> a 2.60 m de profundidad.

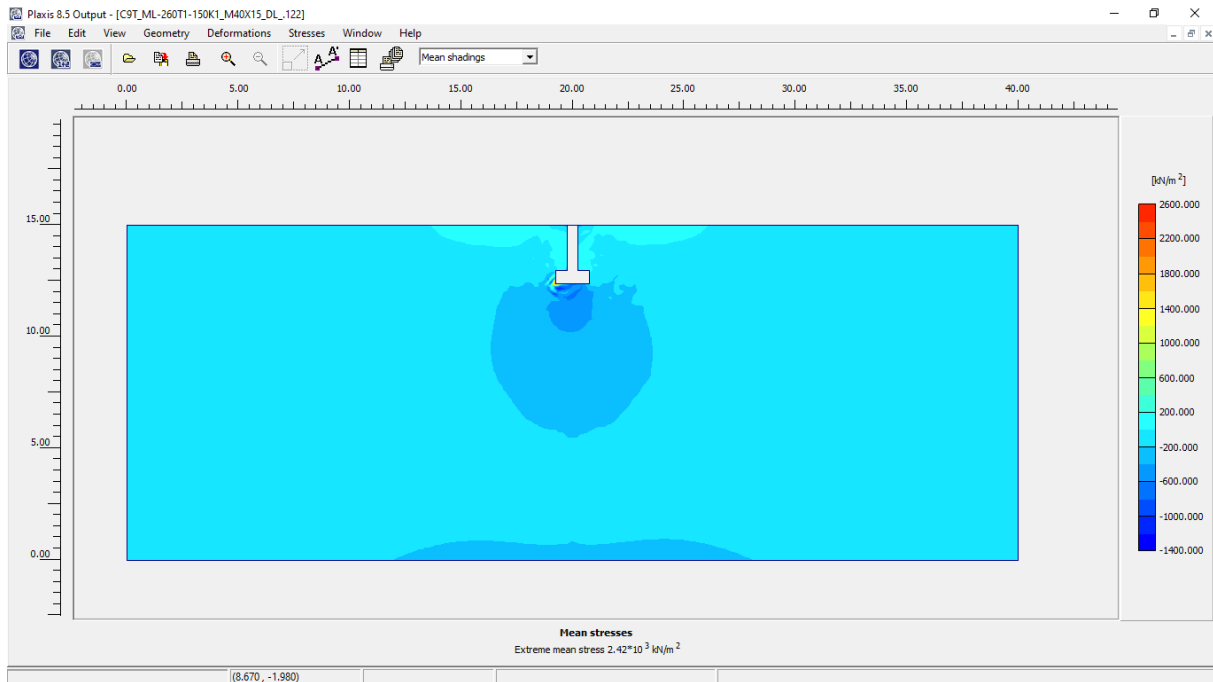
Para el CLML, localizado en la Zona “A” obtenido en la muestra C1T, en dos de cuatro análisis se obtuvieron mayores valores con Plaxis No Saturado, los análisis restantes se obtuvieron con Vesic con los factores de compresibilidad. Los menores valores se obtuvieron con Plaxis Saturado. Los menores valores varían entre rangos de 5.5 kg/cm<sup>2</sup> y 9.1 kg/cm<sup>2</sup> a 1.80 m de profundidad; y rangos de 8.0 kg/cm<sup>2</sup> a 11.0 kg/cm<sup>2</sup> a 2.60 m de profundidad.

Para el ML, localizado en la Zona “M” en siete de doce análisis se obtuvieron mayores valores con el método de Vesic con factores de compresibilidad, los análisis restantes se obtuvieron con Plaxis No Saturado. Los menores valores se obtuvieron con Plaxis Saturado. Los menores valores varían entre rangos de 3.5 kg/cm<sup>2</sup> y 8.7 kg/cm<sup>2</sup> a 1.80 m de profundidad; y rangos de 3.1 kg/cm<sup>2</sup> a 9.0 kg/cm<sup>2</sup> a 2.60 m de profundidad.

Luego de haber analizado las capacidades de cargas, es necesario analizar la capacidad de carga versus el asentamiento, ya que se considera 0.025 m como un asentamiento total admisible en zapatas (Alva Hurtado, 2017), mostrado en la sección 4.4.

**Figura 50**

*Análisis de la capacidad de carga admisible*



**Tabla 40**

*Capacidad de Carga Admisible (kN/m<sup>2</sup>) para Df 1.80 m Zapata 1.50 m x1.00 m.*

SUCS	Calicata	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Vesic fc	Plaxis Saturado	Plaxis No Saturado
GP	2	612.33	710.33	813.33	757.67	1510.33	387.66	297.63
	3A	860.33	1007	1138	979	2013	256.17	300.39
SCSM	4	816.67	912.67	1069.33	816	1448.67	371.42	706.85
	5	904.33	1000	1174	914	1516.67	256.26	683.51
CL	1	882	949.67	1130	860.67	1072.33	485.95	893.01
	3A	896.33	977.67	1155.67	880.33	1070.33	381.14	906.94
	7	925.33	998	1183.33	880.67	1163	362.77	1170
CLML	8	798.33	845.67	1014	760.33	1050.33	372.52	908.05
	1T	1561.33	1659.67	1965	1440.33	1767.67	913.25	2330
ML	6	923.33	956.67	1150	834.67	1348	434.38	1390
	9	1316.33	1396.67	1658	1211.67	1642	511.66	2000
	9T	939	1004.67	1195.33	891.67	1235.33	358.27	1140

**Tabla 41***Capacidad de Carga Admisible (kN/m<sup>2</sup>) para Df 1.80 m Zapata 2.00 m x1.00 m*

SUCS	Calicata	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Vesic fc	Plaxis Saturado	Plaxis No Saturado
GP	2	612.33	657.33	766	702.67	1314	653.65	227.19
	3A	860.33	910.67	1060	901	1725.67	195.27	254.69
SCSM	4	816.67	817	992.67	754	1255.33	225.25	441.99
	5	904.33	900	1094.67	844.33	1318.67	190.98	584.95
CL	1	882	857.67	1056.33	799	939.67	406.2	713.28
	3A	896.33	879.67	1077.67	818	936	416.29	574.11
	7	925.33	896	1103	818	1017.67	400.66	714.29
	8	798.33	765	949	710.33	928.67	476.17	713.09
CLML	1T	1549	1487	1832.33	1335.67	1549	552.35	838.61
ML	6	923.33	863.67	1077	780	1195.33	874.24	1080
	9	1316.33	1253.33	1547	1132.67	1449	767.54	1330.00
	9T	939	904.33	1116.33	829.33	1084.33	474.40	836.82

**Tabla 42***Capacidad de Carga Admisible (kN/m<sup>2</sup>) para Df 2.60 m Zapata 1.50 m x1.00 m*

SUCS	Calicata	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Vesic fc	Plaxis Saturado	Plaxis No Saturado
GP	2	852	979.67	1183.67	1039.33	1803	379.8	679.81
	3A	1093	1271.67	1508.67	1256.67	2208.33	242.44	739.63
SCSM	4	931	1040	1274.67	950.33	1465	241	1200
	5	1037.67	1147.33	1411.67	1069	1555	325.56	1630
CL	1	991.33	1068.67	1332	985.33	1062	441.49	2000
	3A	1008.67	1100.67	1362.33	1009.33	1058.33	450.3	1990
	7	1014.67	1095.67	1358.33	983.33	1129.67	322.11	1980
	8	884.67	939.67	1179	858.33	1031.67	434.86	2010
CLML	1T	1650.33	1756.67	2171	1539	1681.33	808.23	3930
ML	6	981.33	1019.33	1279	899.33	1299.33	481.9	3260
	9	1400.33	1488.33	1844.67	1307.67	1569	859.45	4020
	9T	1030	1103.67	1373.67	995	1201.33	312.54	2420

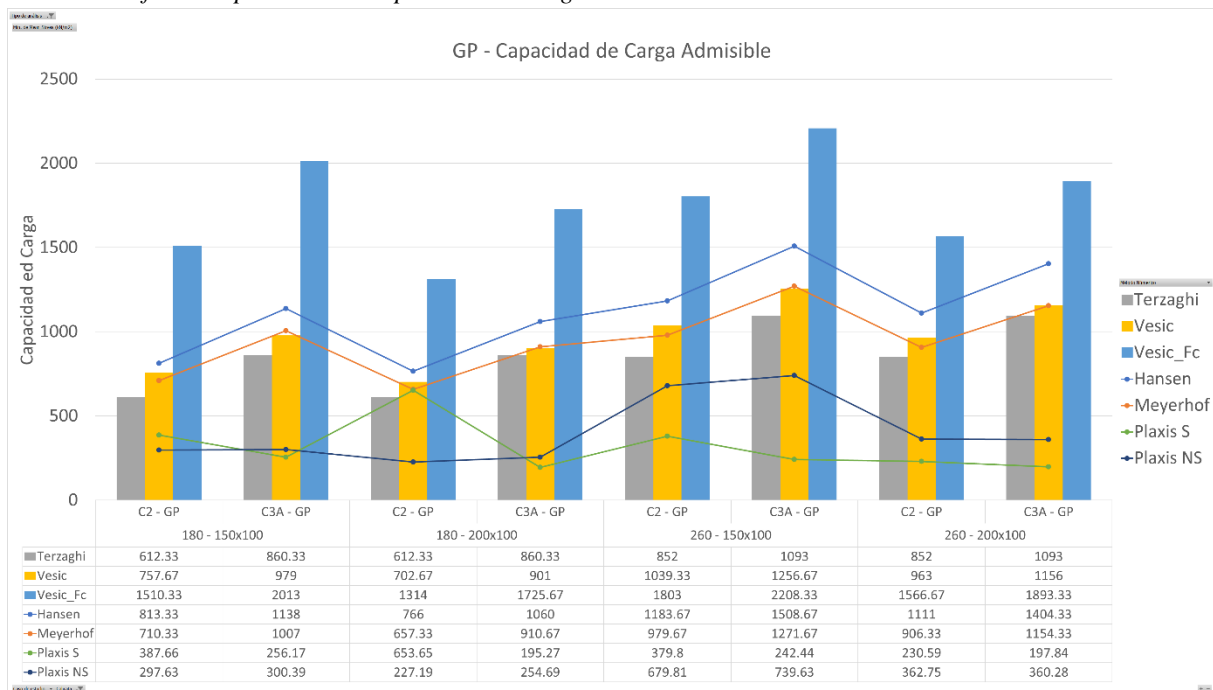
**Tabla 43**

Capacidad de Carga Admisible (kN/m<sup>2</sup>) para Df 2.60 m Zapata 2.00 m x1.00 m

SUCS	Calicata	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Vesic fc	Plaxis Saturado	Plaxis No Saturado
GP	2	852	906.33	1111	963	1566.67	230.59	362.75
	3A	1093	1154.33	1404.33	1156	1893.33	197.84	360.28
SCSM	4	931	935.33	1184.33	878	1268	157.86	627.36
	5	1037.67	1037	1316.67	987.33	1349.33	363.23	675.58
CL	1	991.33	969.33	1246	915	930	461.98	829.48
	3A	1008.67	994.67	1271.33	938	925.33	462.09	814.9
	7	1014.67	987.33	1267	913	988	360.85	947.8
	8	884.67	853	1104	802	912	459.68	928.45
CLML	1T	1650.33	1577.67	2025	1430.67	1473.67	1100	1940
ML	6	981.33	922.33	1198.33	841	1152	842.5	1320
	9	1400.33	1339	1722	1222.33	1383.33	718.75	1560
	9T	1030	997	1283.33	926	1054.67	899.44	862.27

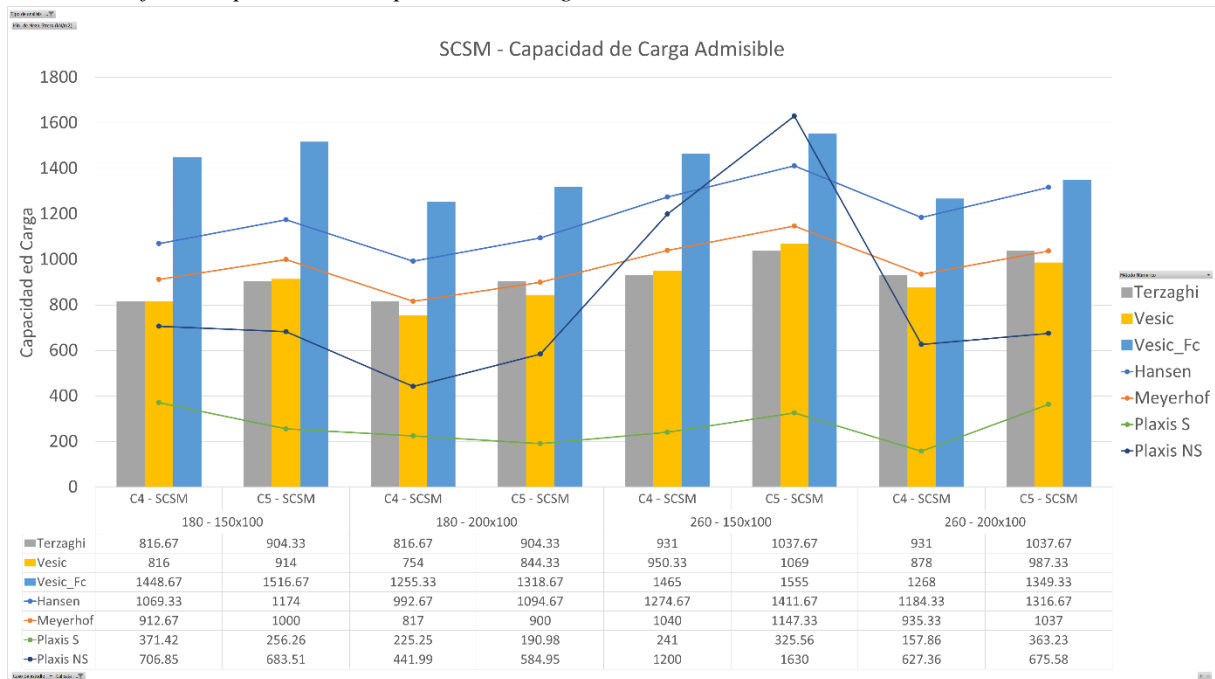
**Figura 51**

Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Admisible en suelos GP.



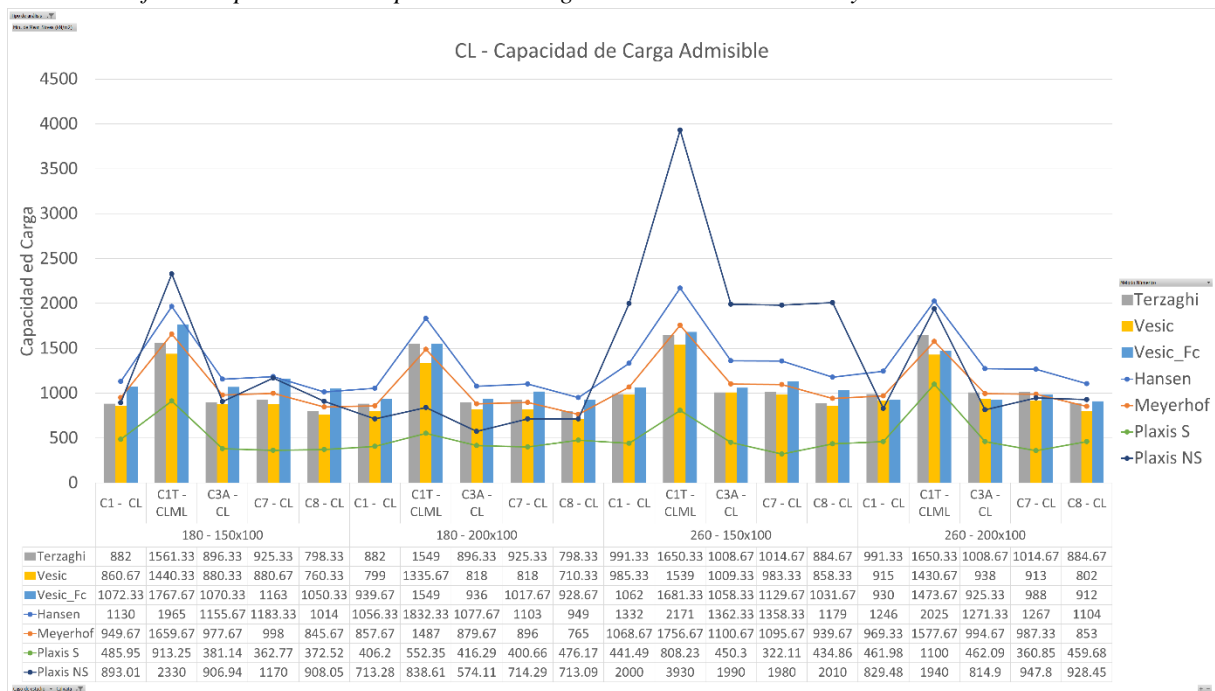
**Figura 52**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Admisible en suelos SCSM.*



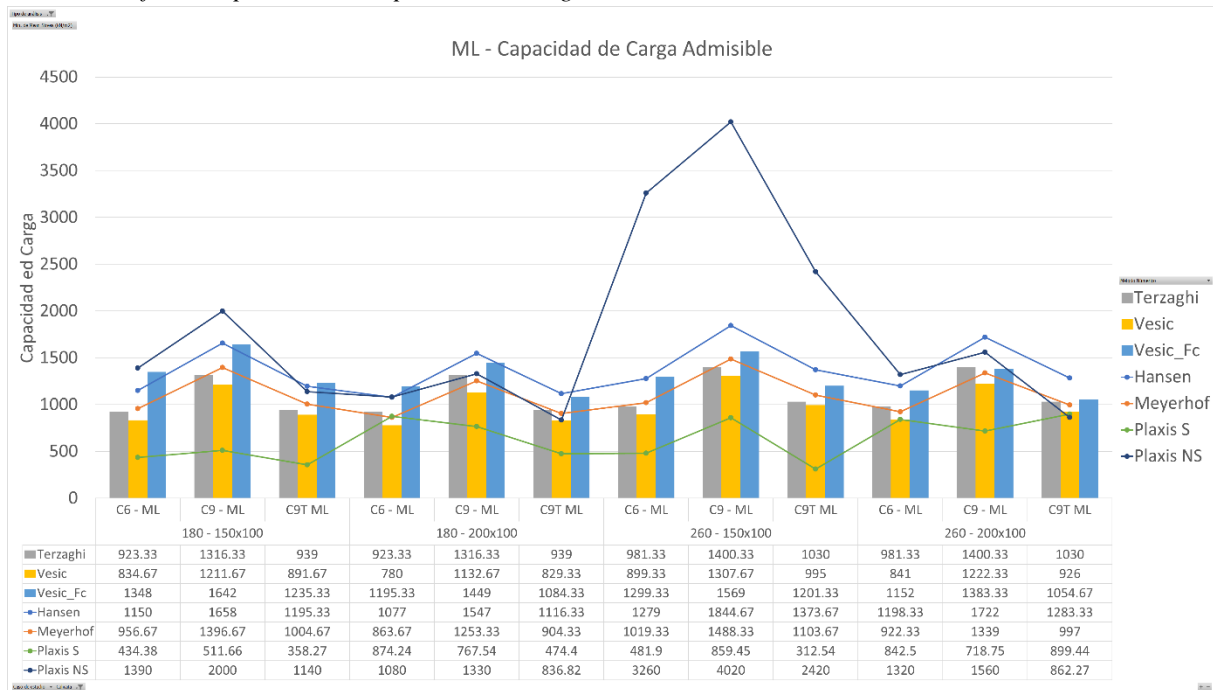
**Figura 53**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Admisible en suelos CL y CLML.*



**Figura 54**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga Admisible en suelos ML.*



## 1.24 Resultados de Asentamiento

Analizando en función a Capacidad de Carga vs Asentamiento:

Para los GP, localizados en la Zona “A”, el asentamiento máximo es de 0.23 m y la capacidad de carga última de 12.4 kg/cm<sup>2</sup> y se produce en el análisis C2 Plaxis Saturado a una profundidad de 1.80 m y zapata de dimensión 2.00 m x 1.00 m. El menor asentamiento se produce en el análisis C3A Plaxis No Saturado a una profundidad de 1.80 m y zapata de dimensión 1.50 m x 1.00 m, obteniendo un asentamiento de 0.026 m y una capacidad de carga última de 8.8 kg/cm<sup>2</sup>.

Para los SCSM, localizados en la Zona “A” y “D”, el asentamiento máximo es de 0.76 m y la capacidad de carga última de 8.9 kg/cm<sup>2</sup> y se produce en el análisis C5 Plaxis No Saturado a una profundidad de 1.80 m y zapata de dimensión 2.00 m x 1.00 m. El menor asentamiento se produce en el análisis C4 Plaxis Saturado a una profundidad de 2.60 m y zapata de dimensión 2.00 m x 1.00 m, obteniendo un asentamiento de 0.027 m y una capacidad de carga última de 3.0 kg/cm<sup>2</sup>.

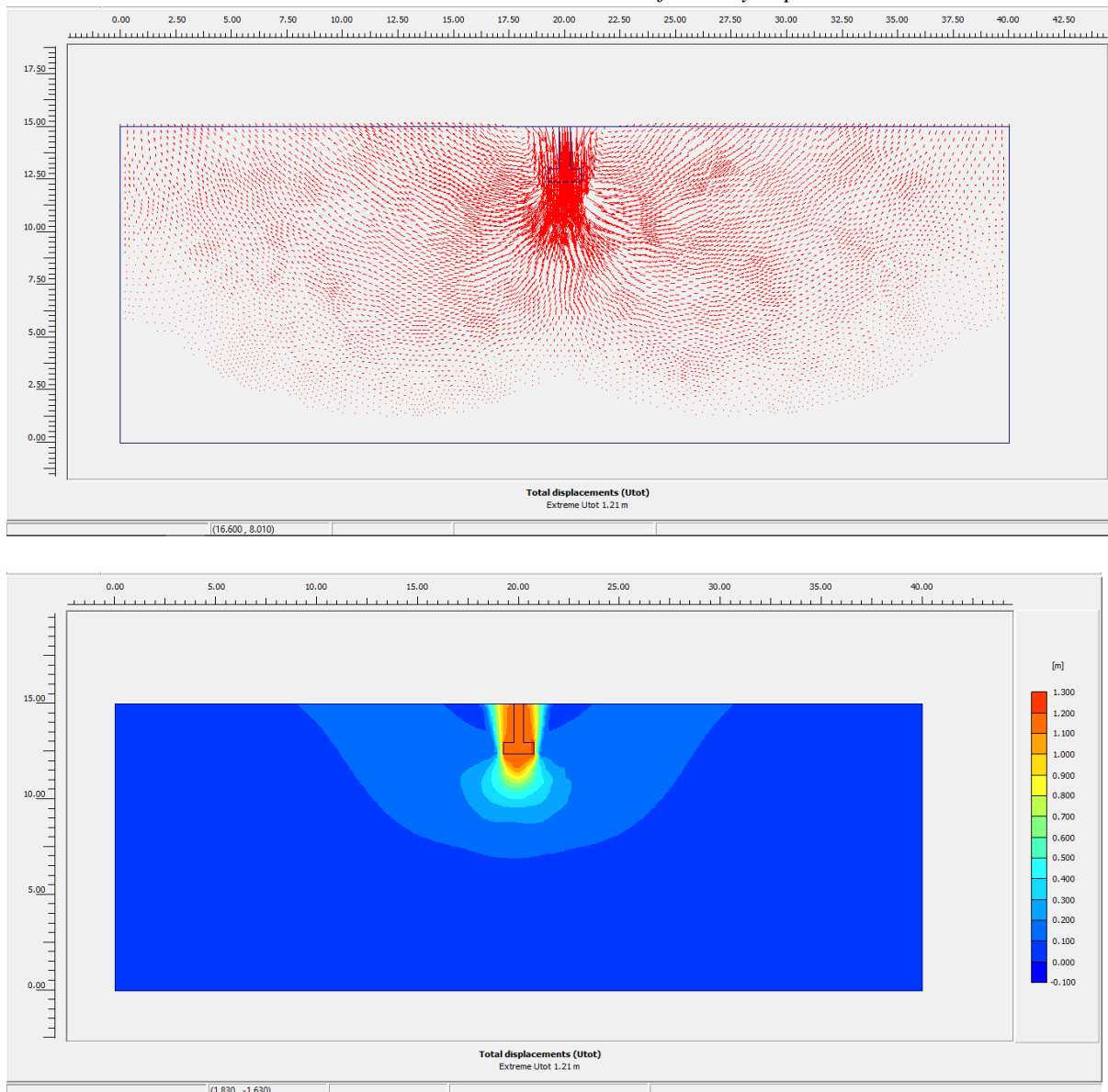
Para los CL, localizados en la Zona “M” y “A”, el asentamiento máximo es de 6.77 m y la capacidad de carga última de 43.3 kg/cm<sup>2</sup> y se produce en el análisis C3A Plaxis No Saturado a una profundidad de 2.60 m y zapata de dimensión 1.50 m x 1.00 m. El menor asentamiento

se produce en el análisis C7 Plaxis Saturado a una profundidad de 2.60 m y zapata de dimensión 1.50 m x 1.00 m, obteniendo un asentamiento de 0.20 m y una capacidad de carga última de 5.6 kg/cm<sup>2</sup>.

Para el suelo CLML, localizado en la Zona “A” tomado en la muestra C1T, el asentamiento máximo es de 8.26 m y la capacidad de carga última de 32.1 kg/cm<sup>2</sup> y se produce en el análisis C1T Plaxis No Saturado a una profundidad de 2.60 m y zapata de dimensión 2.00 m x 1.00 m. El menor asentamiento se produce en el análisis C1T Plaxis Saturado a una profundidad de 1.80 m y zapata de dimensión 2.00 m x 1.00 m, obteniendo un asentamiento de 0.32 m y una capacidad de carga última de 12.7 kg/cm<sup>2</sup>.

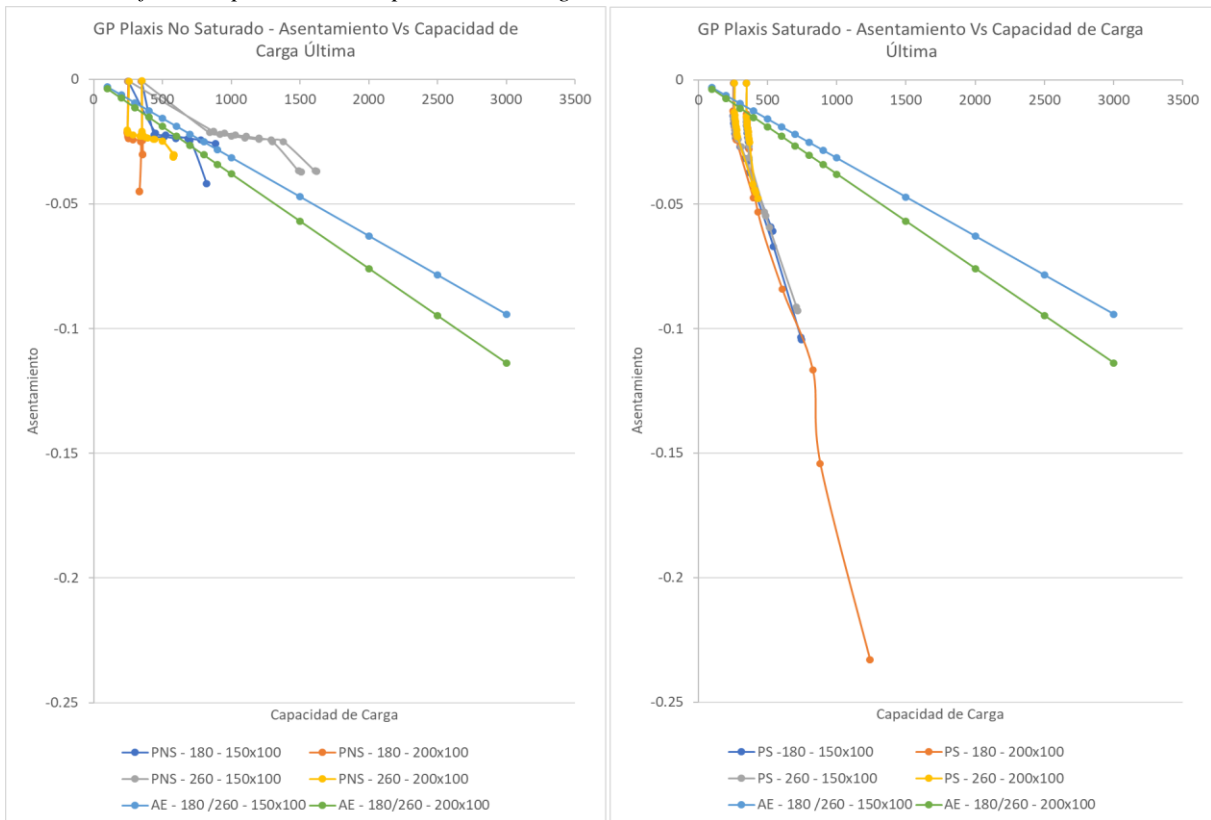
**Figura 55**

*Resultado del análisis de asentamiento máximo en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m.*



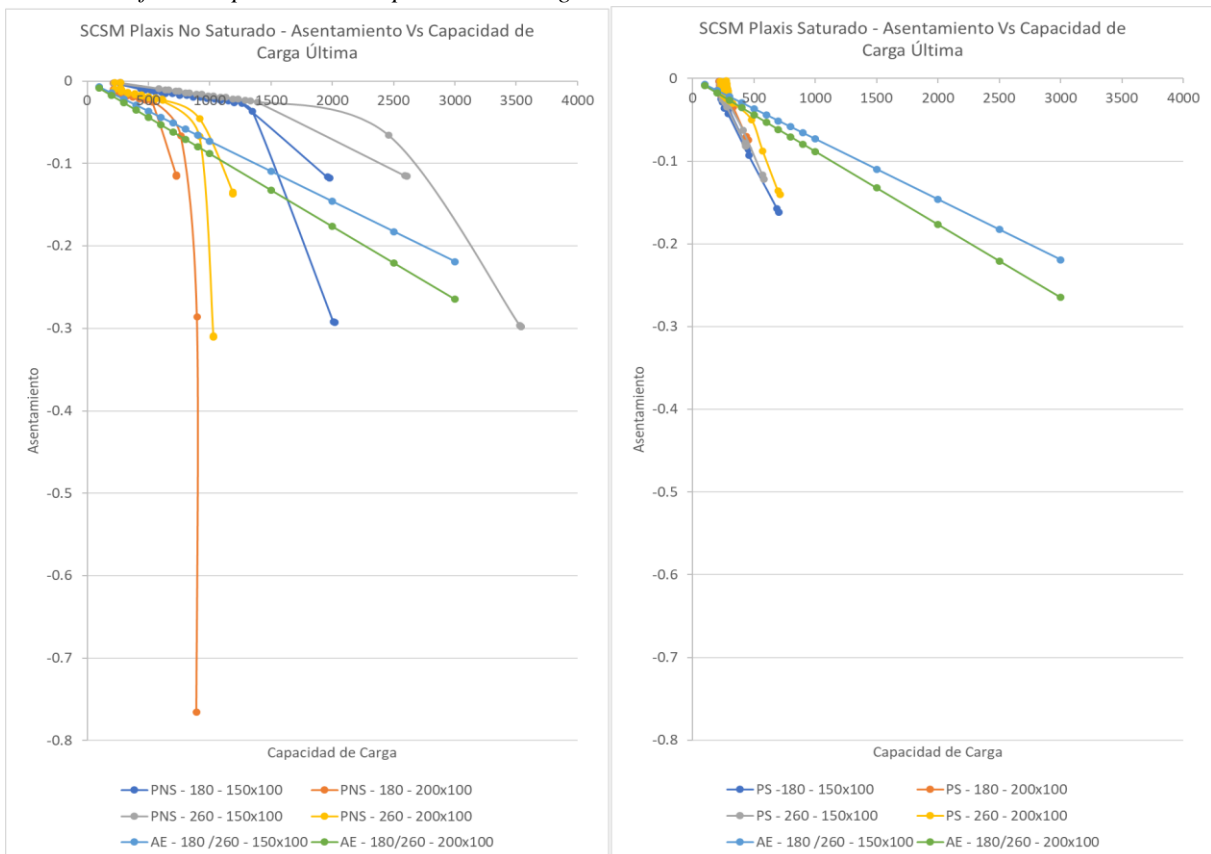
**Figura 56**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento en suelos GP.*



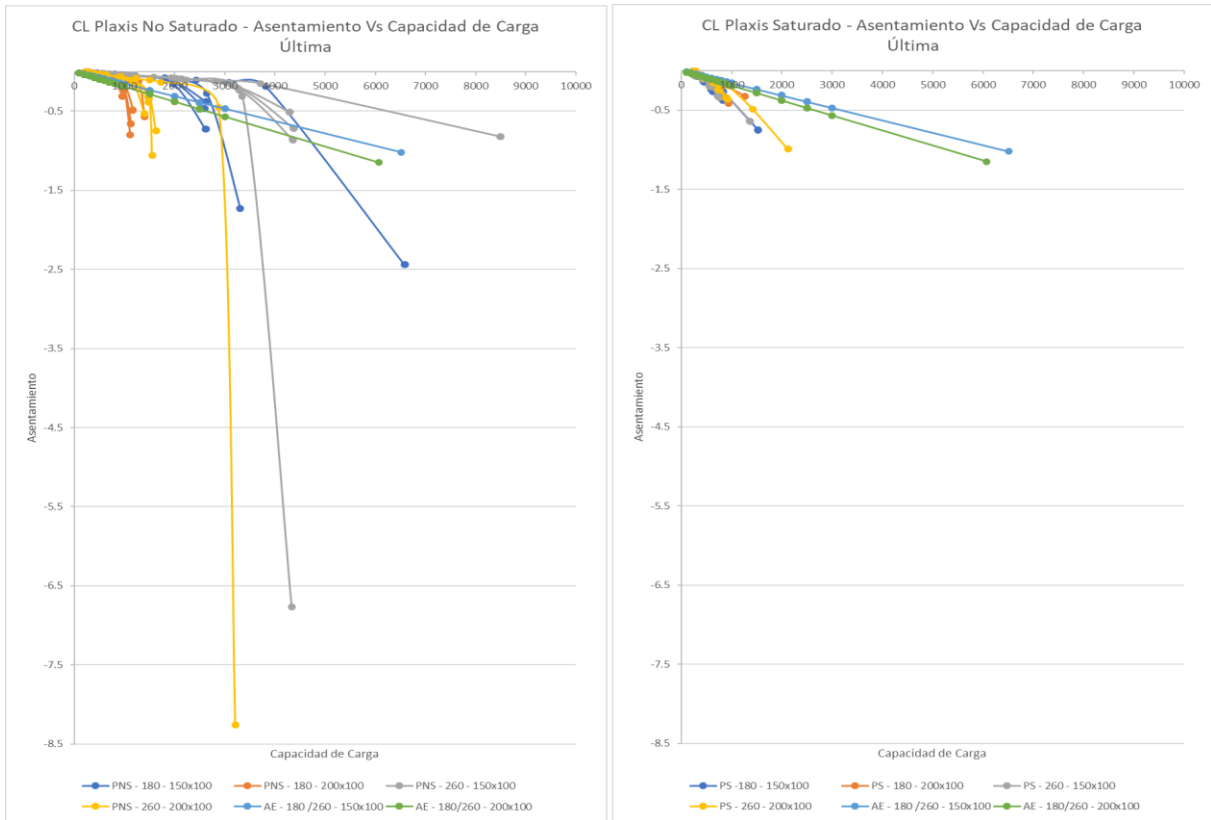
**Figura 57**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento en suelos SCSM.*



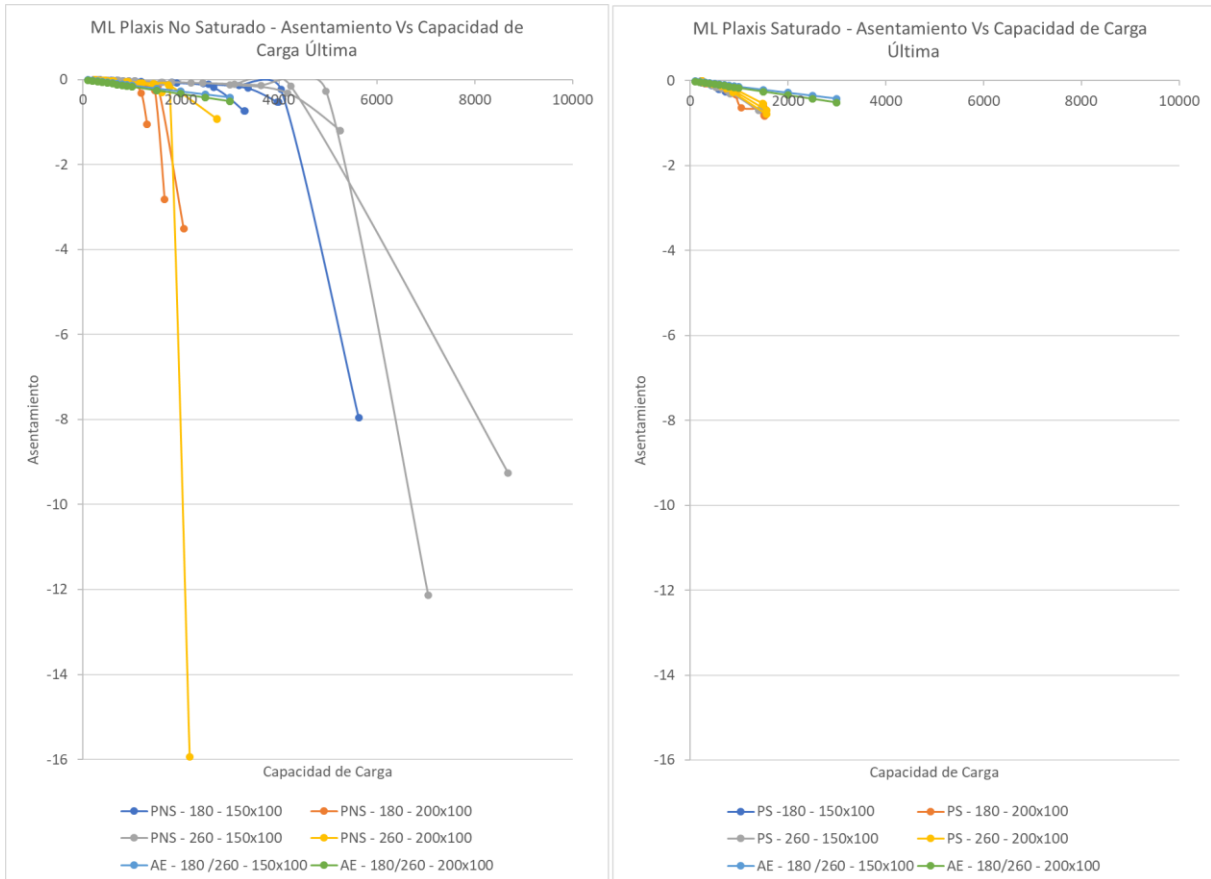
**Figura 58**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento en suelos CL y CLML.*



**Figura 59**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento en suelos ML.*



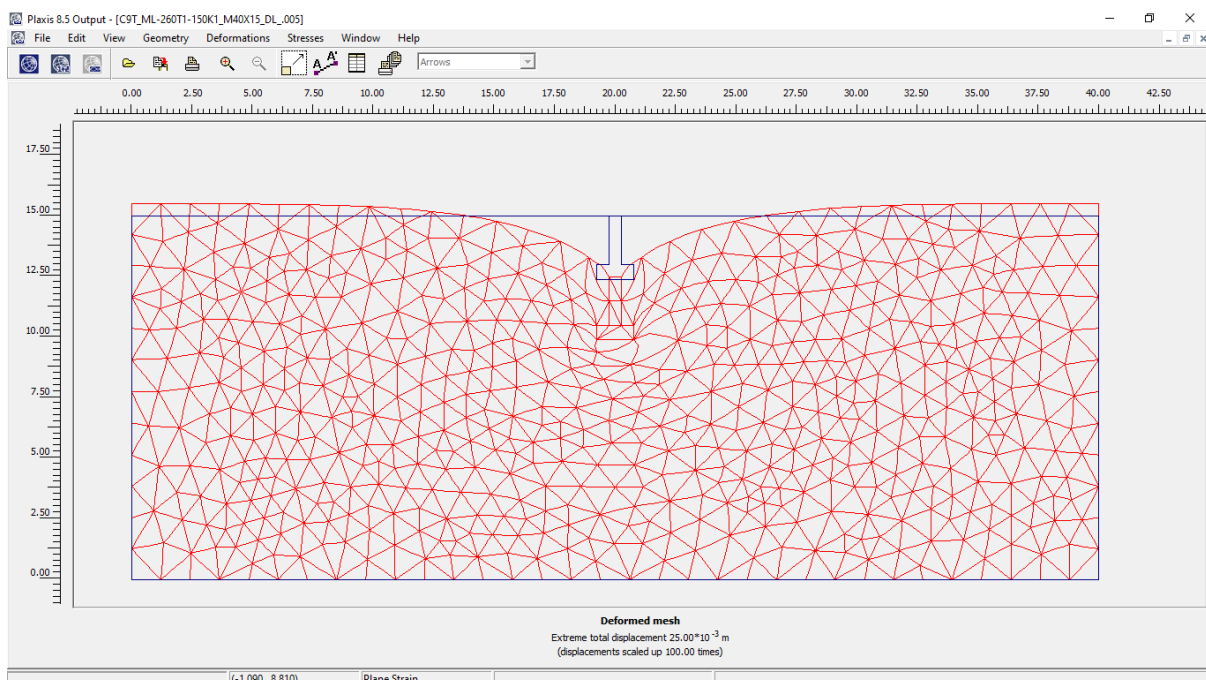
Para los ML, localizados en la Zona “M”, el asentamiento máximo es de 12.14 m y la capacidad de carga última de 70.5 kg/cm<sup>2</sup> y se produce en el análisis C6 Plaxis No Saturado a una profundidad de 2.60 m y zapata de dimensión 1.50 m x 1.00m. El menor asentamiento se produce en el análisis C9T Plaxis Saturado a una profundidad de 2.60 m y zapata de dimensión 1.50 m x 1.00 m, obteniendo un asentamiento de 0.16 m y una capacidad de carga última de 5.5 kg/cm<sup>2</sup>.

Analizando en función a la capacidad de carga última, se obtiene una mayor resistencia por el método de Plaxis No Saturado, así como también se obtiene un mayor asentamiento. Por lo cual, a continuación, se muestran los resultados de la capacidad de carga controlada a un asentamiento máximo de 0.025 m:

En los suelos GP analizados, localizados en la Zona “A”, la capacidad de carga tiene un rango de 2.8 kg/cm<sup>2</sup> a 3.7 kg/cm<sup>2</sup> con el software Plaxis en condición Saturada, un rango de 6.6 kg/cm<sup>2</sup> a 8 kg/cm<sup>2</sup> con el método de Asentamientos Elásticos, y un rango de 3.5 kg/cm<sup>2</sup> a 15 kg/cm<sup>2</sup> en con el software en condiciones No Saturadas. Para el caso de NS la capacidad de carga es mayor a una profundidad de 2.60 m y dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, y es menor a una profundidad de 1.80 m y dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m. Representados en la Figura 63 y 64.

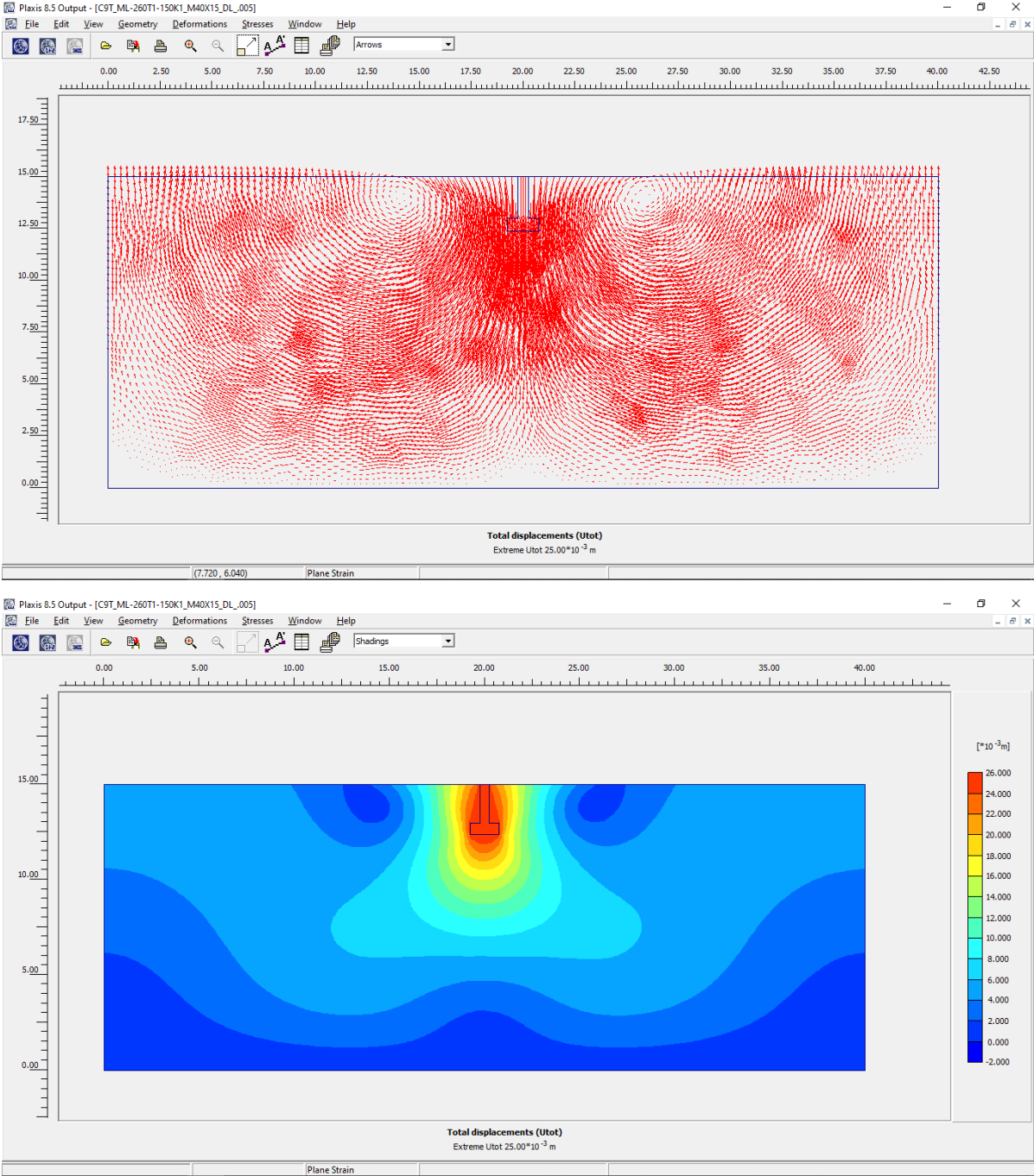
**Figura 60**

*Deformación de la malla con un asentamiento controlado a 0.025 m en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m*



En los suelos SCSM analizados, localizados en las Zonas “A” y “D”, la capacidad de carga tiene un rango de 2.3 kg/cm<sup>2</sup> a 3.0 kg/cm<sup>2</sup> con el software Plaxis en condición Saturada, un rango de 2.8 kg/cm<sup>2</sup> a 3.4 kg/cm<sup>2</sup> con el método de Asentamientos Elásticos, y un rango de 5.3 kg/cm<sup>2</sup> a 14.8 kg/cm<sup>2</sup> en con el software en condiciones No Saturadas. Para el caso de NS la capacidad de carga es mayor a una profundidad de 2.60 m y dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, y es menor a una profundidad de 1.80 m y dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m. Representados en la Figura 65 y 66.

**Figura 61**  
*Análisis del asentamiento controlado a 0.025m en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m.*

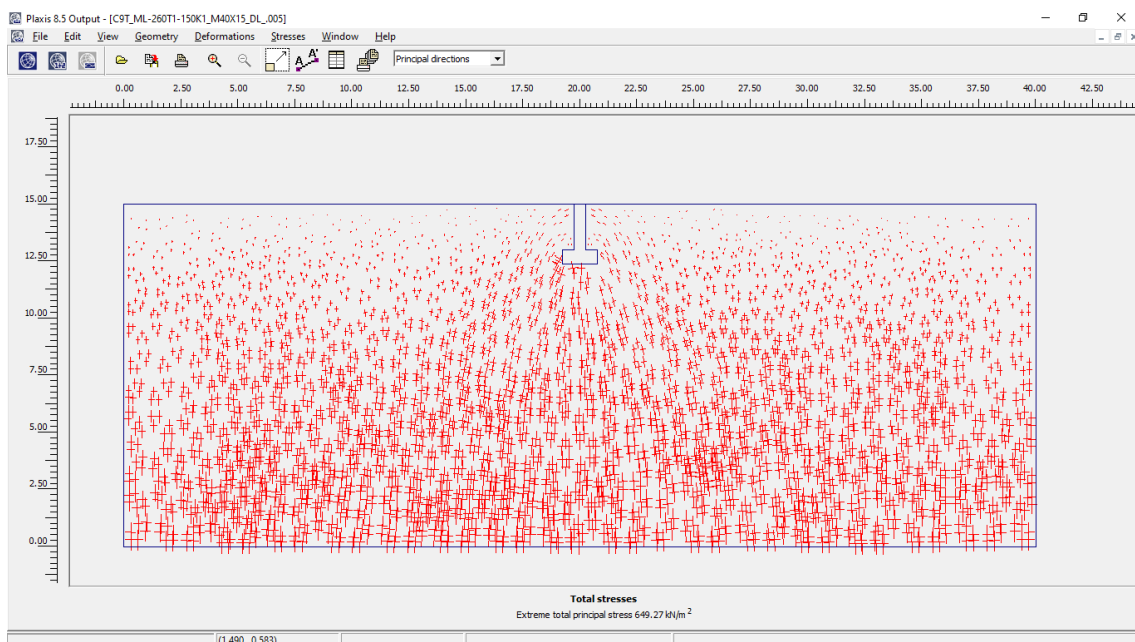


En los suelos CL y CLML analizados, localizados en las Zonas “M” y “A”, la capacidad de carga tiene un rango de 2.2 kg/cm<sup>2</sup> a 3.0 kg/cm<sup>2</sup> con el software Plaxis en condición Saturada, un rango de 1.3 kg/cm<sup>2</sup> a 1.6 kg/cm<sup>2</sup> con el método de Asentamientos Elásticos, y un rango de 3.2 kg/cm<sup>2</sup> a 5.9 kg/cm<sup>2</sup> en con el software en condiciones No Saturadas. Para el caso de NS la capacidad de carga es mayor a una profundidad de 1.80 m y dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, y es menor a una profundidad de 1.80 m y dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m. Representados en la Figura 67 y 68.

En los suelos ML analizados, localizados en la Zona “M”, la capacidad de carga tiene un rango de 2.3 kg/cm<sup>2</sup> a 2.6 kg/cm<sup>2</sup> con el software Plaxis en condición Saturada, un rango de 1.5 kg/cm<sup>2</sup> a 1.8 kg/cm<sup>2</sup> con el método de Asentamientos Elásticos, y un rango de 3.5 kg/cm<sup>2</sup> a 6.6 kg/cm<sup>2</sup> en con el software en condiciones No Saturadas. Para el caso de NS la capacidad de carga es mayor a una profundidad de 1.80 m y dimensión de zapata de 1.50 m x 1.00 m, y es menor a una profundidad de 1.80 m y dimensión de zapata de 2.00 m x 1.00 m. Representados en la Figura 69 y 70.

**Figura 62**

*Capacidad de carga con un asentamiento controlado a 0.025m en C9T Df:2.60m y Zapata 1.50m x 1.00m.*



En función a Capacidad de Carga Última vs Capacidad de Carga Controlada en Plaxis:

Para suelos GP, Zona A”, en condiciones No Saturadas se obtiene un 99% al 106% de la Capacidad de Carga Última y, en condiciones Saturadas un 30% al 70% de la Capacidad de Carga Última.

Para suelos SCSM, Zona “A” y “D”, en condiciones No Saturadas se obtiene un 41% al 73% de la Capacidad de Carga Última y, en condiciones Saturadas un 30% al 90% de la Capacidad de Carga Última.

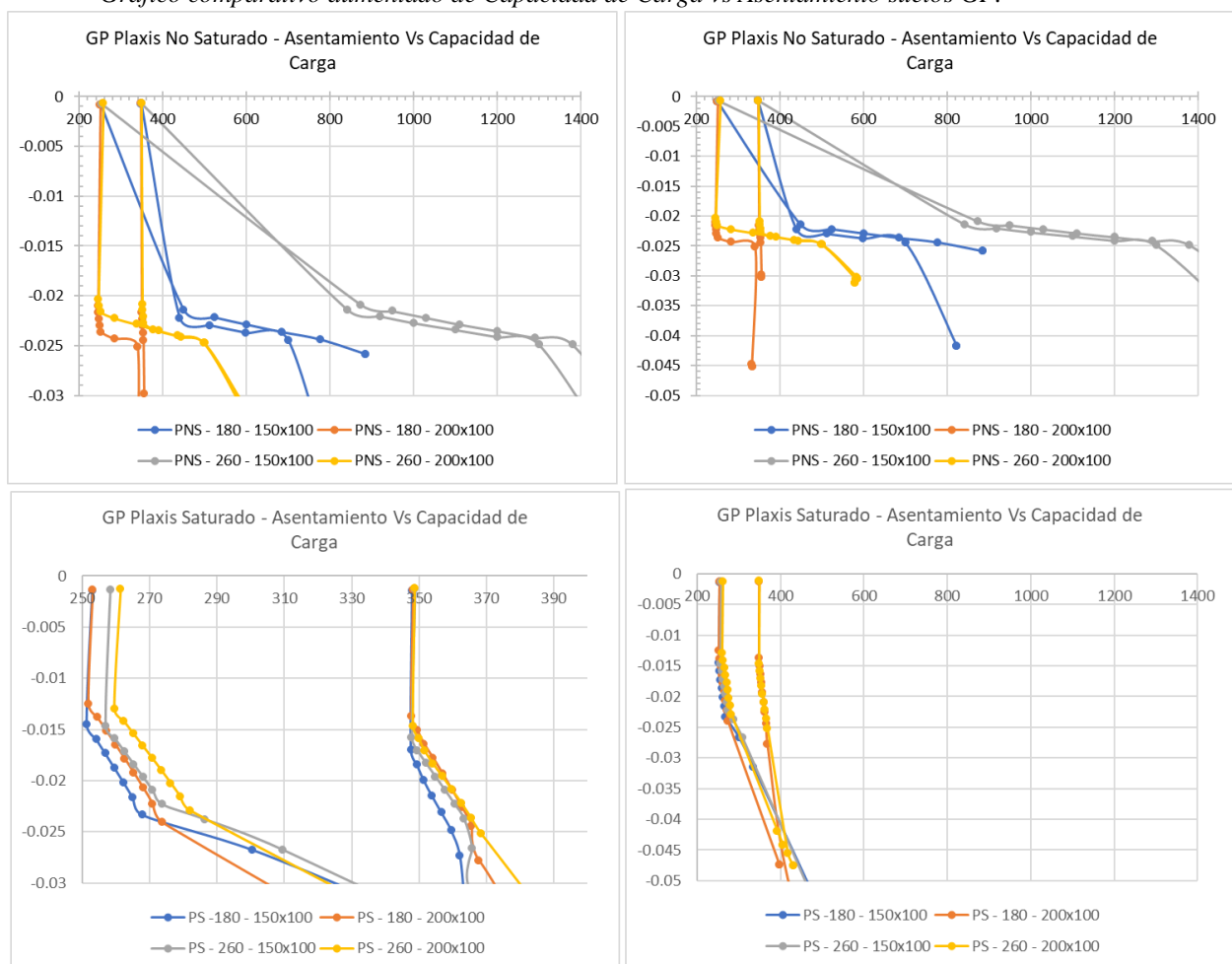
Para suelos CL, Zona “M” y “A”, en condiciones No Saturadas se obtiene un 13% al 30% de la Capacidad de Carga Última y, en condiciones Saturadas un 28% al 45% de la Capacidad de Carga Última.

Para el suelo CLML, Zona A”, muestra CIT, en condiciones No Saturadas se obtiene un 6% al 23% de la Capacidad de Carga Última y, en condiciones Saturadas un 13% al 21% de la Capacidad de Carga Última.

Para suelos ML, Zona “M”, en condiciones No Saturadas se obtiene un 7% al 28% de la Capacidad de Carga Última y, en condiciones Saturadas un 15% al 46% de la Capacidad de Carga Última.

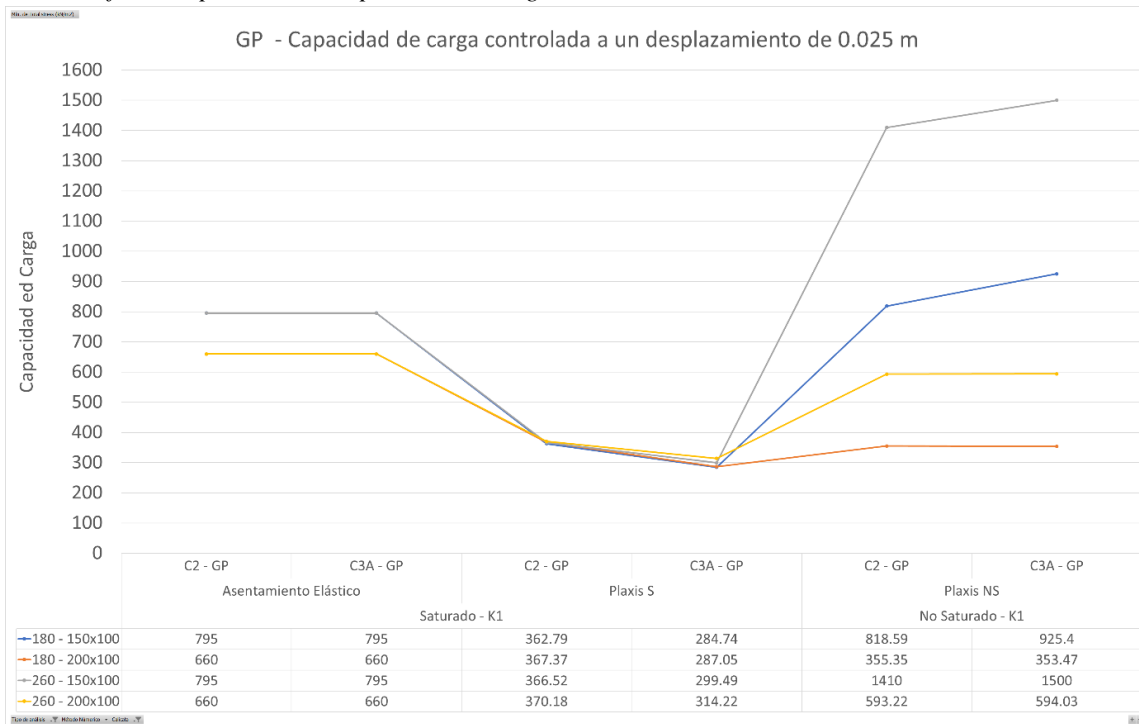
**Figura 63**

*Gráfico comparativo aumentado de Capacidad de Carga vs Asentamiento suelos GP.*



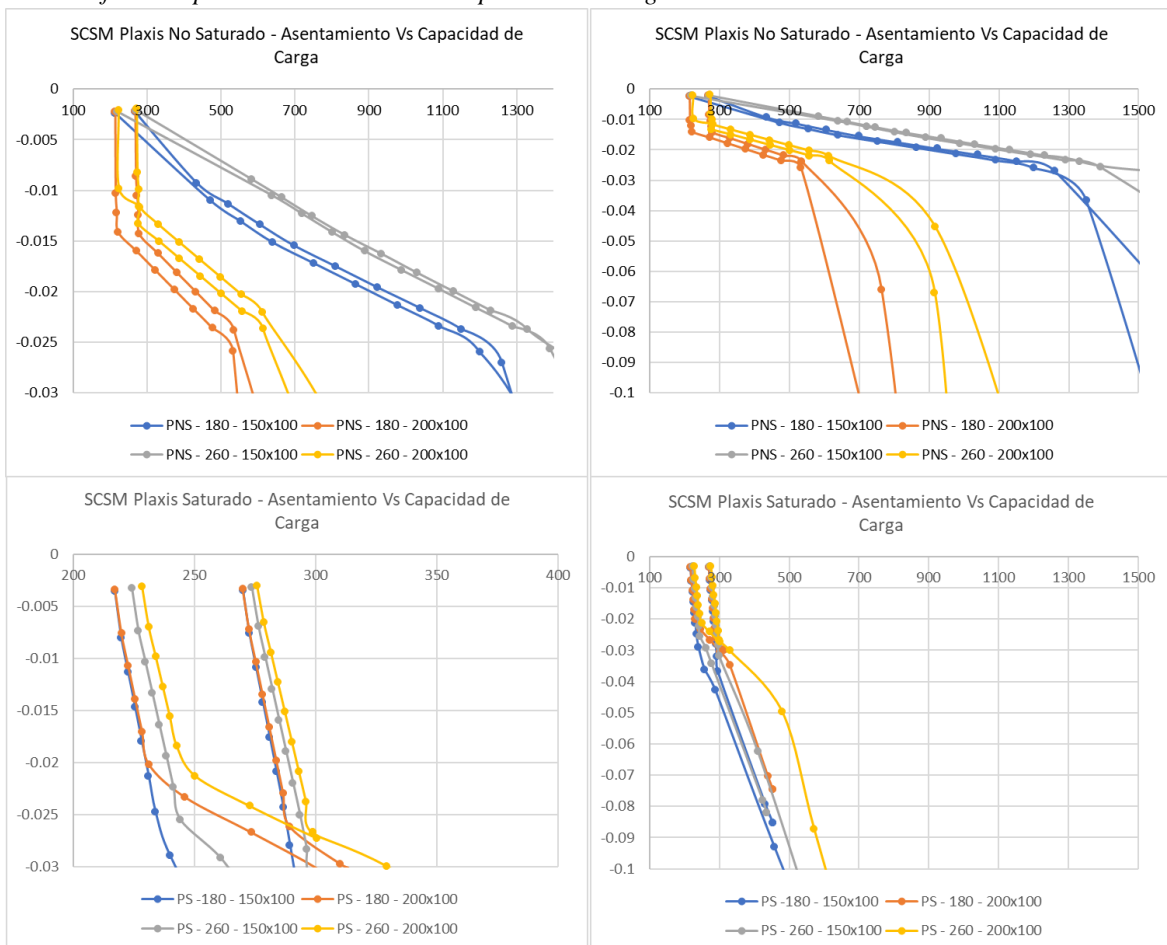
**Figura 64**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento controlado en suelos GP.*



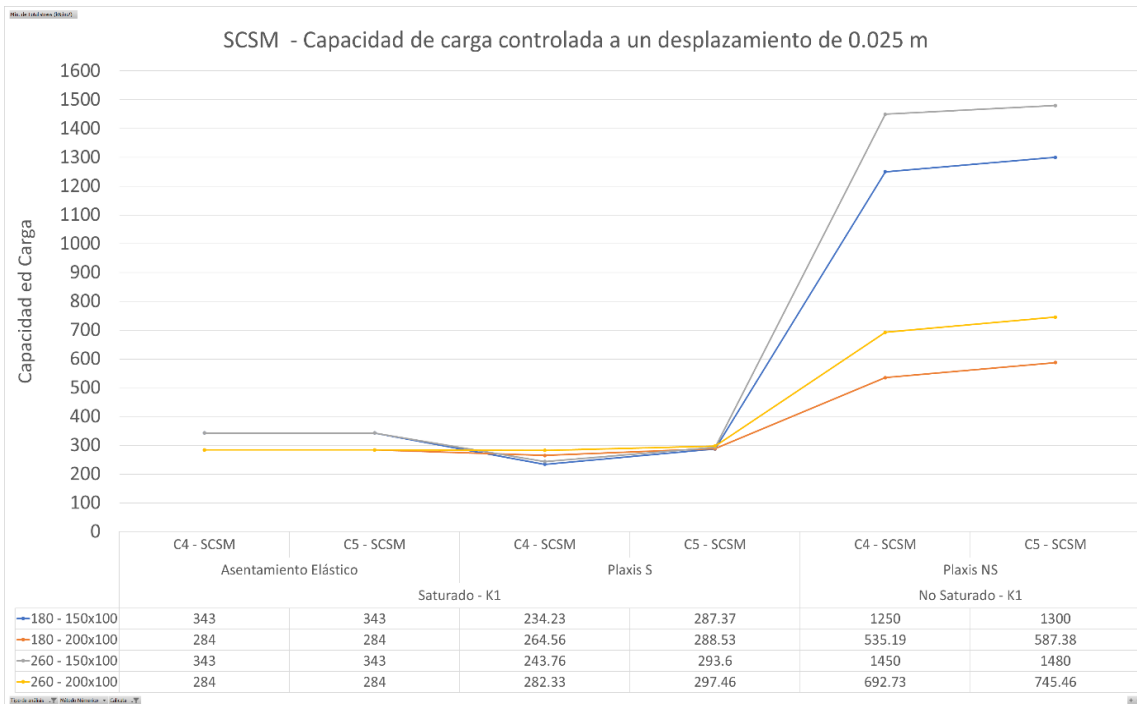
**Figura 65**

*Gráfico comparativo aumentado de Capacidad de Carga vs Asentamiento suelos SCSM.*



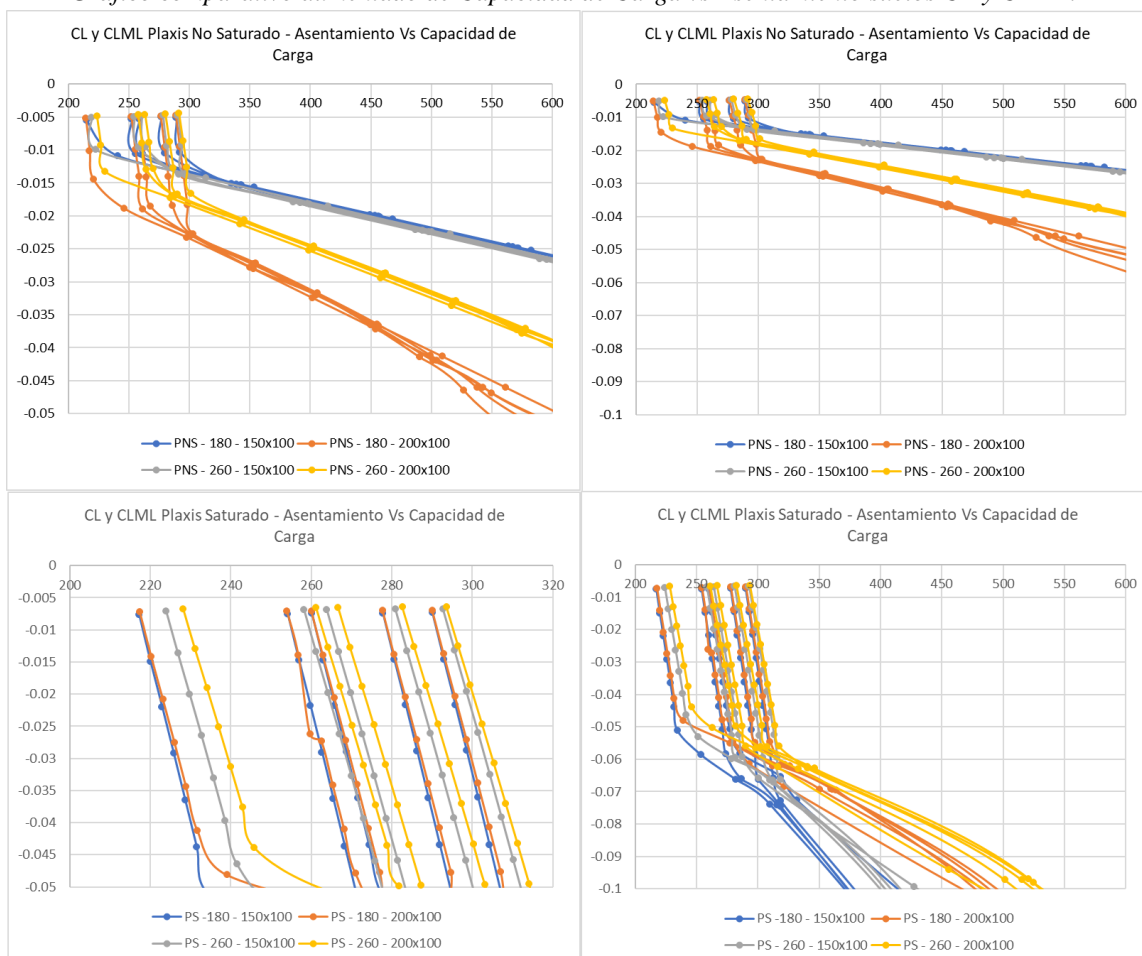
**Figura 66**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento controlado en suelos SCSM.*



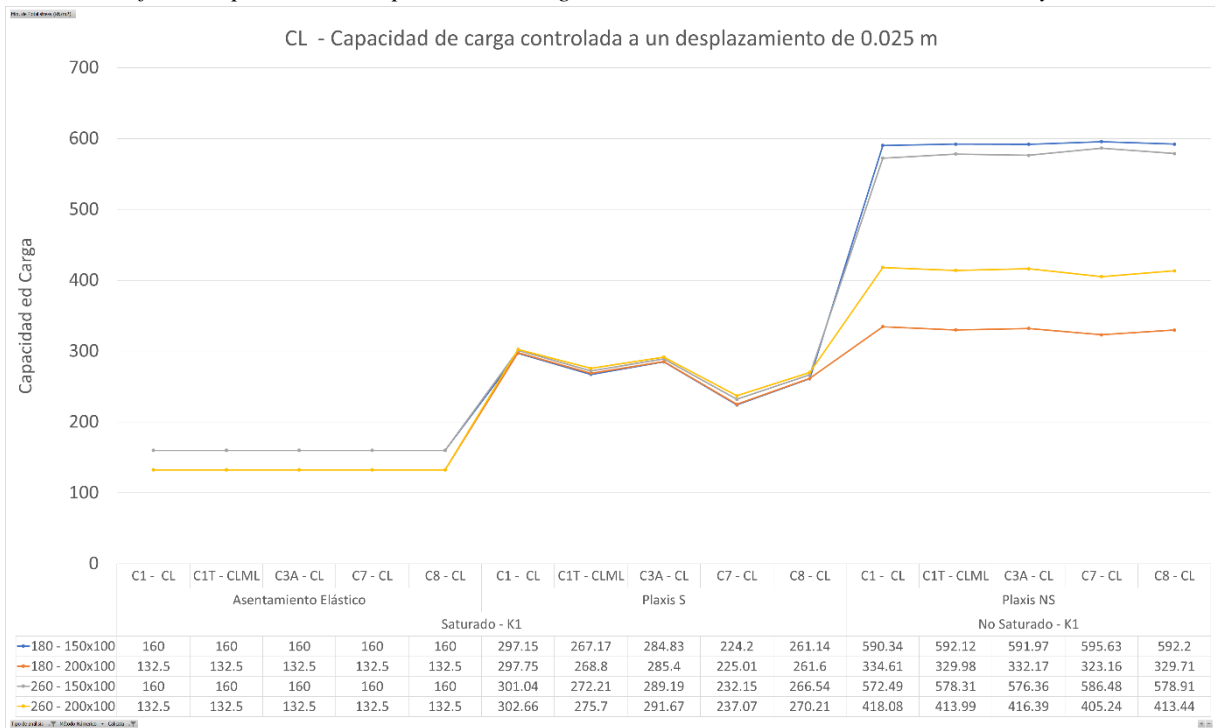
**Figura 67**

*Gráfico comparativo aumentado de Capacidad de Carga vs Asentamiento suelos CL y CLML.*



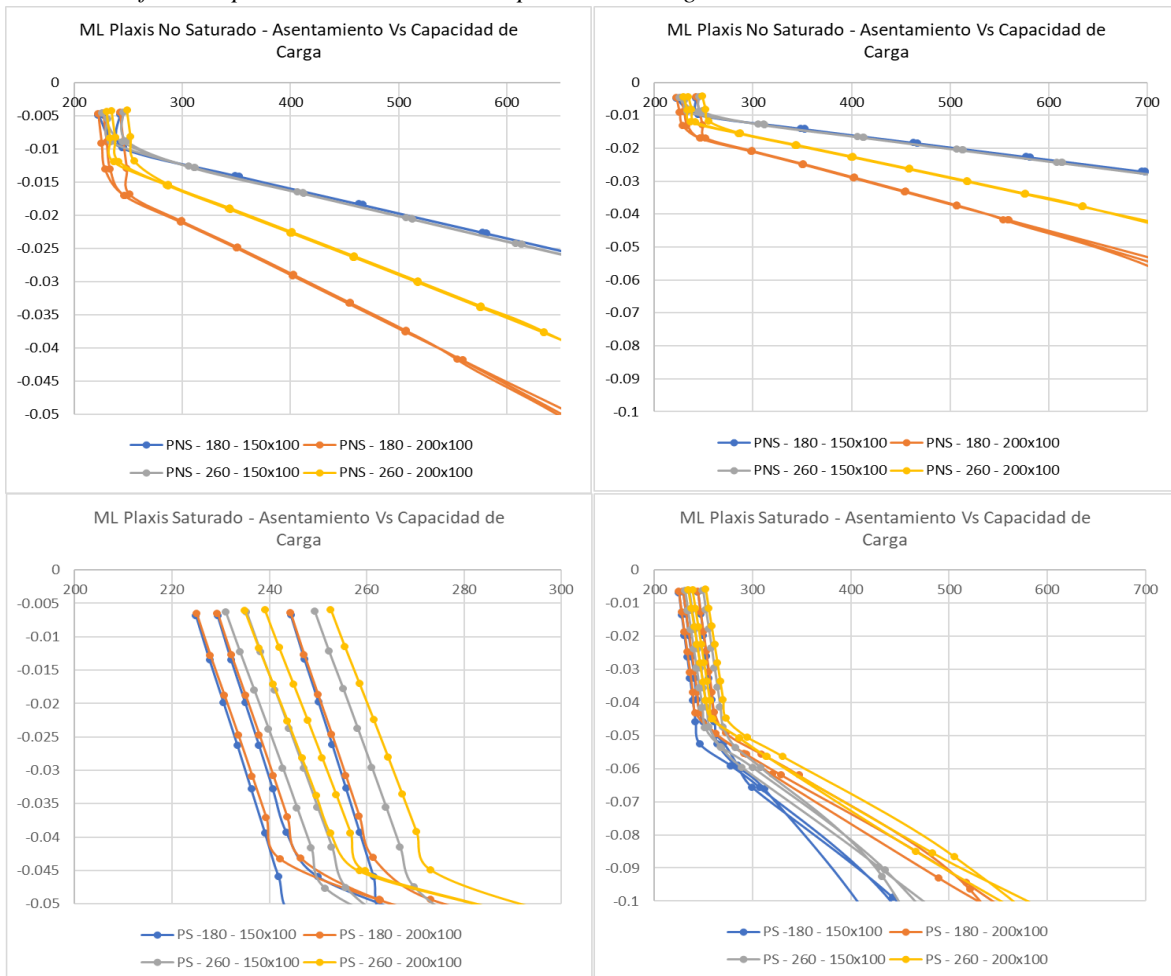
**Figura 68**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento controlado en suelos CL y CLML.*



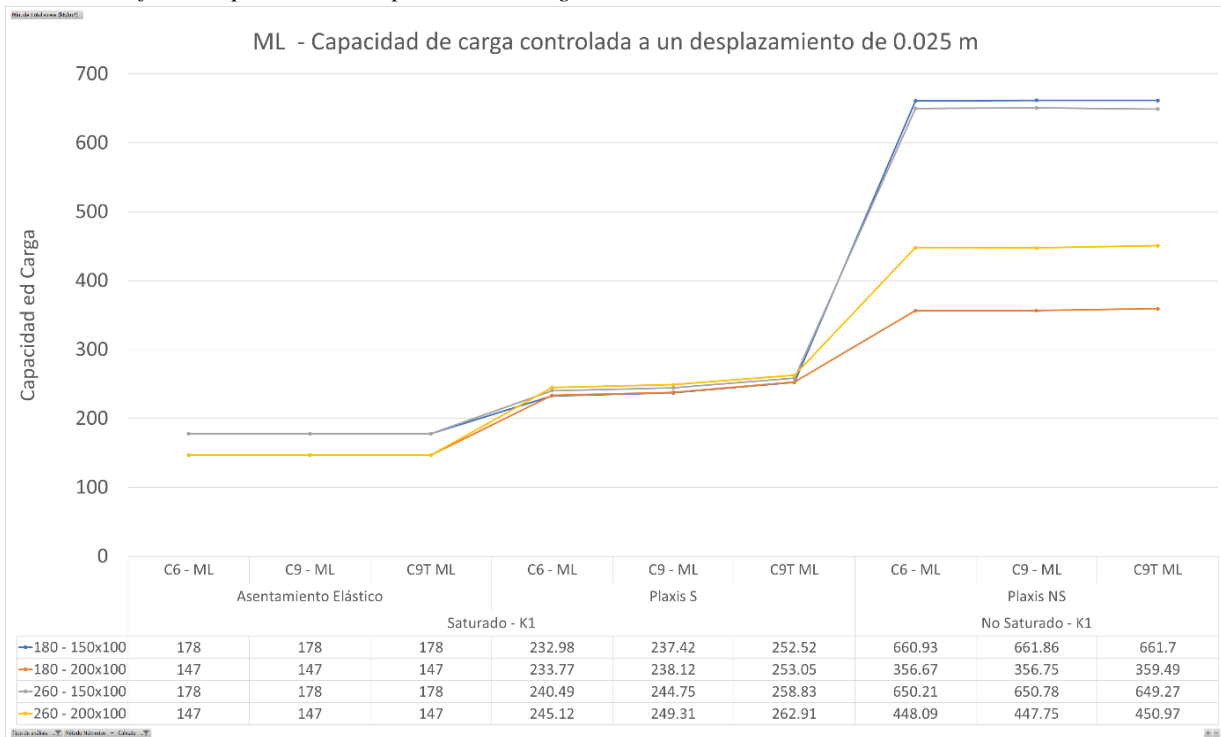
**Figura 69**

*Gráfico comparativo aumentado de Capacidad de Carga vs Asentamiento suelos ML.*



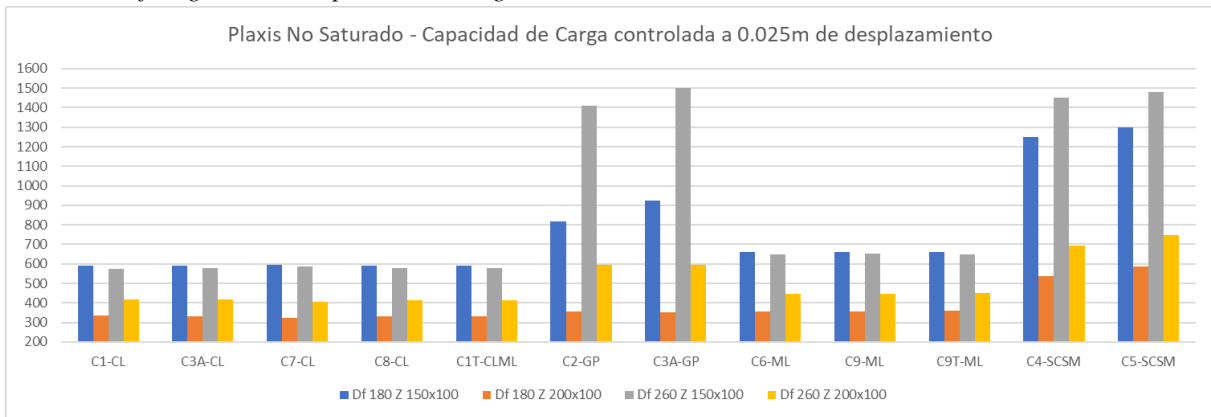
**Figura 70**

*Gráfico comparativo de Capacidad de Carga vs Asentamiento controlado en suelos ML.*



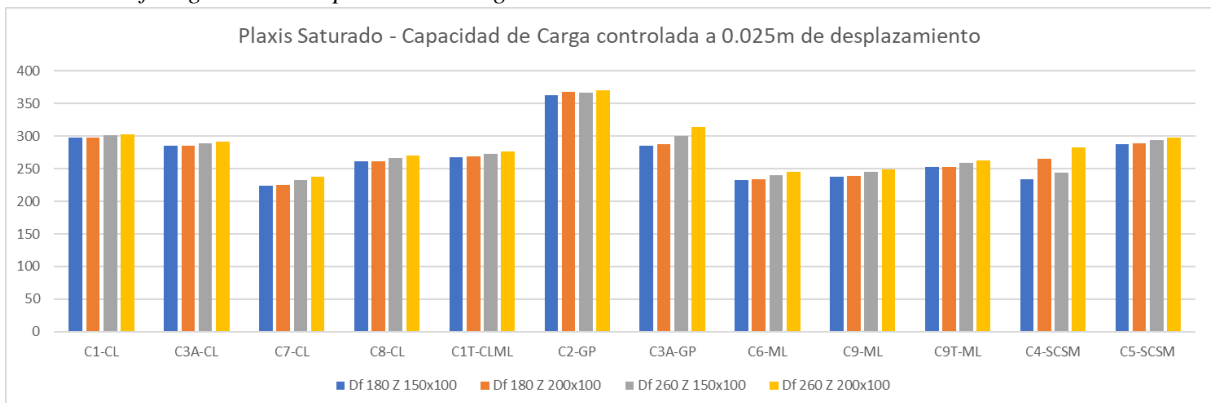
**Figura 71**

*Gráfico general de capacidad de carga controlada obtenida mediante Plaxis No Saturado.*



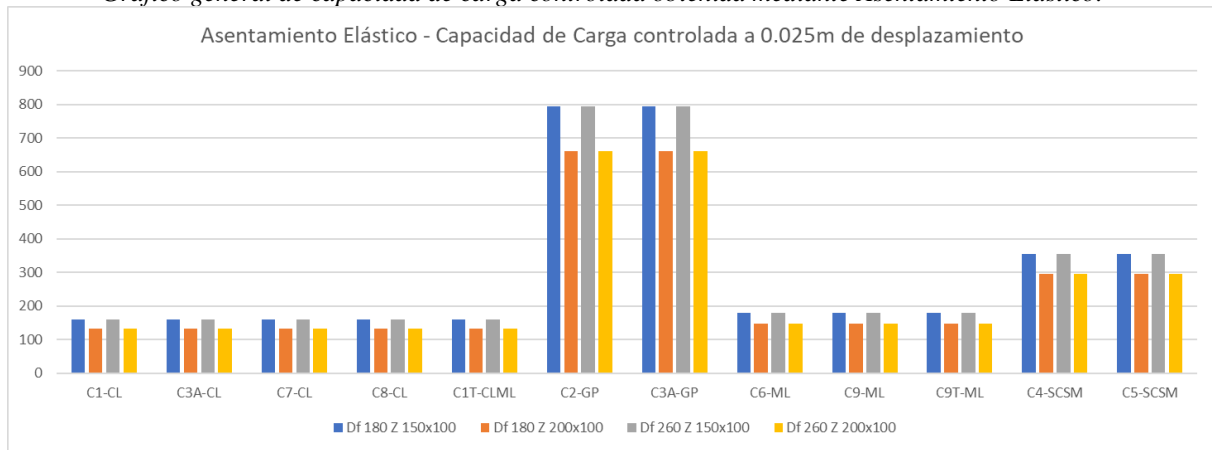
**Figura 72**

*Gráfico general de capacidad de carga controlada obtenida mediante Plaxis Saturado.*



**Figura 73**

*Gráfico general de capacidad de carga controlada obtenida mediante Asentamiento Elástico.*



## Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

### 1.25 Conclusiones

Se elaboró el plano de zonificación de las zonas MDA de acuerdo a las propiedades físicas del suelo a diferentes profundidades:

Zona “A” a una profundidad de 1.80 m suelos GP, SCSM y CL, a una profundidad de 2.60 m suelos GP; Zona “D” a una profundidad de 1.80 m y 2.60 m suelos SCSM; y en la Zona “M” a una profundidad de 1.80 m suelos CL y ML, y a una profundidad de 2.60 m suelos ML.

En la zona “M” se propone el uso del suelo para edificaciones de 1-10 pisos, estos pueden ser pabellones, biblioteca, laboratorios y edificios de uso administrativos. En la zona “D” se propone el uso del suelo para edificaciones de 1-6 pisos, estos pueden ser pabellones, edificios de uso administrativo, etc. Y en la zona “A” se propone el uso del suelo para edificaciones de 1-10 pisos, estos pueden ser hospitales, clínicas y pabellones.

La capacidad de carga última hallada con Plaxis Saturado tiene menor resistencia que los resultados de fórmulas semi-empíricas y Plaxis No Saturado. Entre las fórmulas semi-empíricas, las cuales aplican condiciones saturadas, se obtiene una mayor resistencia con el método de Vesic con factores de compresibilidad, en suelos GP y SCSM estudiados, y con el método de Hansen en suelos CL, CLML y ML estudiados. Siendo la cohesión una característica mecánica muy influyente en los resultados de capacidad de carga última, ya que los suelos con cohesiones altas dieron resultados elevados, como fue el caso del CLML, el cual tiene una cohesión de  $0.95 \text{ kg/cm}^2$  y los ML con cohesiones de  $0.68 \text{ kg/cm}^2$  y  $0.80 \text{ kg/cm}^2$ . Y en el caso de asentamientos controlados a 0.025 m con Plaxis No Saturado las cohesiones altas dieron resultados bajos en comparación a los GP y SCSM.

Para los suelos estudiados, en condiciones No Saturadas el comportamiento del suelo depende de las dimensiones y profundidad de la zapata; en condiciones Saturadas se obtiene una menor resistencia y esta depende netamente de las características del suelo; y finalmente con el método de Asentamiento Elástico se obtienen valores conservadores para suelos finos y valores medianamente conservadores en suelos granulares.

Finalmente definimos que de los suelos estudiados en condiciones No Saturadas los SCSM, CL, CLML Y ML tienen una mayor resistencia, así como también un mayor asentamiento, los suelos GP tienen mayor asentamiento en condiciones Saturadas y mayor resistencia en

condiciones No Saturadas; y con el método de Asentamiento Elástico no hay forma de evaluar el máximo asentamiento ya que es una ecuación lineal sin restricciones.

Por tanto, las zonas “M”, “D”, y “A” presentaría las mejores condiciones en función a mayor capacidad de carga y menor asentamiento cuando los suelos están condiciones no saturados.

### **1.26 Recomendaciones**

Se recomienda usar el método de Terzaghi para suelos muy cohesivos donde  $D_f/B$  sea menor o igual a 1 o para una estimación rápida de la capacidad portante última para comparación con otros métodos. No emplear en cimentaciones con momentos, con fuerzas horizontales, cimentaciones con bases inclinada o en terrenos inclinados.

Si se desea ahondar más en el tema de las capacidades portantes, existen más autores que proponen distintas fórmulas para el  $N_\gamma$ , como son: Spangler y Handy, Bolton y Lau, Kumbhojkar y otros.

Se recomienda evaluar el factor de seguridad que se deban emplear en fórmulas manuales para cada tipo de suelo, debido a que es un factor influyente en la determinación de la capacidad de carga admisible.

Se recomienda realizar ensayos como, Proctor Modificado y papel de filtro Whatman para la succión para determinar las propiedades mecánicas necesarias al determinar valores aproximados del módulo de elasticidad, relación de Poisson, ángulo de dilatación y así calcular la capacidad de carga en suelos no saturados o parcialmente saturados, de ser necesario. También, realizar los ensayos de SPT, CPT, CPTU, SCPTU o MASW ya que existen fórmulas optimizadas a partir de estos ensayos, con los cuales se obtienen resultados de capacidad de carga más aproximados de acuerdo a investigaciones de otros autores.

Si se desean tener ratios generales del comportamiento del suelo en función a dimensiones de la zapata, se recomienda realizar más análisis con distintas geometrías y dimensiones en ancho y largo, así como también variaciones de mallas en modelados con software.

## Capítulo VI. Referencias

- Alva Hurtado, J. (2017). *Diseño de cimentaciones (ICG)*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- Baquerizo, C. (2015). *Estudio geotécnico de suelos para la construcción del complejo deportivo Piuray Pampa, distrito de Chincheros Urubamba – Cusco*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Basha, A. M., & Elsiraghy, M. N. (Agosto de 2019). Effect of Sheet Pile Driving on Geotechnical Behavior of Adjacent Building in Sand: Numerical Study. *Civil Engineering Journal*, págs. 1726-1737.
- Bowles, J. (1996). *Foundation analysis and design - 5th ed.* Singapore: McGraw-Hill Companies.
- Brinkgreve, R. (2004). *Plaxis Manual de Referencia*. Delft: Plaxis BV.
- Briones, M., & Irigoín, N. (2015). *Zonificación Mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la capacidad portante del Suelo, para Viviendas Unifamiliares en la Expansión Urbana del Anexo Lucmacucho Alto - Sector Lucmacucho, Distrito de Cajamarca*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Budhu, M. (2011). *Soil mechanics and foundations / Muni Budhu.—3rd ed.* United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Carranza, I., & Ponce, A. (2017). *Estudio de Zonificación Geotécnica en el Sector III del Centro Poblado el Milagro para el Diseño de Cimentaciones Superficiales*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Castillo, M. (2017). *ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN EN BASE A LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO EN LAS CIMENTACIONES DE LAS VIVIENDAS DEL CASCO URBANO DE LA PARROQUIA LA MATRIZ DEL CANTÓN PATATE PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Celis, J., & Villacis, T. (2018). *Zonificación de la Capacidad Portante de los Suelos de la Localidad de Shamboyacu, Provincia de Picota, Región San Martín*. Tarapoto, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO.
- Celis, J., & Villacis, T. (2018). *ZONIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE LA LOCALIDAD DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA, REGIÓN SAN MARTÍN*. Tarapoto, Perú.: Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.
- Cheng, L., & Jack, E. (2008). *Soils and Foundations*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Comité Técnica de Normalización del Perú. (1999). *NTP 339.131: Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas solidas de un suelo*. Lima: Perú.

- Comité Técnico de Normalización del Perú. (1999). *NTP 339.134: Método para la clasificación de suelos con propósito de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS)*. Lima: Perú.
- Comité Técnico de Normalización del Perú. (2014). *NTP 339.127: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*. Lima: Perú.
- Comité Técnico de Normalización del Perú. (2014). *NTP 339.128: Método de ensayo para el análisis granulométrico*. Lima: Perú.
- Comité Técnico de Normalización del Perú. (2014). *NTP 339.129: Método de Ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos*. Lima: Perú.
- Comité Técnico de Normalización del Perú. (2014). *NTP 339.139: Determinación del peso volumétrico del suelo cohesivo*. Lima: Perú.
- Comité Técnico de Normalización del Perú. (2014). *NTP 339.143: Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena*. Lima: Perú.
- Comité Técnico de Normalización del Perú. (2014). *NTP 339.171: Método de ensayos normalizado para el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas drenadas*. Lima: Perú.
- Comité Técnico de Normalización del Perú. (2015). *NTP 339.164: Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado no- drenado para suelos cohesivos*. Lima: Perú.
- Craig, R. (2004). *Craig's Soil Mechanics - 7th ed.* London: Spon Press.
- Crespo Villalaz, C. (2015). *Mécanica de suelos y cimentaciones*. México D.F.: Limusa.
- Das, B. M. (1999). *Shallow foundations : bearing capacity and settlement*. London: CRC Press.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México D.F.: Cengage.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Mexico D.F.: Cengage Learning.
- Díaz Rodríguez, J. (2014). *Mecánica de suelos naturaleza y propiedades*. México D.F.: Trillas.
- Dunne, H. P. (2017). *Finite Element Limit Analysis of Offshore Foundations on Clay*. Trinity, United States of America.: Univerity of Oxford.
- Duque, G., & Escobar, C. E. (2002). *Mecánica de los Suelos*. Manizales.
- Fernandez, W. (2015). *Evaluación de la capacidad portante de los suelos de fundación de la Ciudad universitaria – Universidad Nacional de Cajamarca-2014*. Cajamarca, Perú.: Universidad Nacional de Cajamarca.

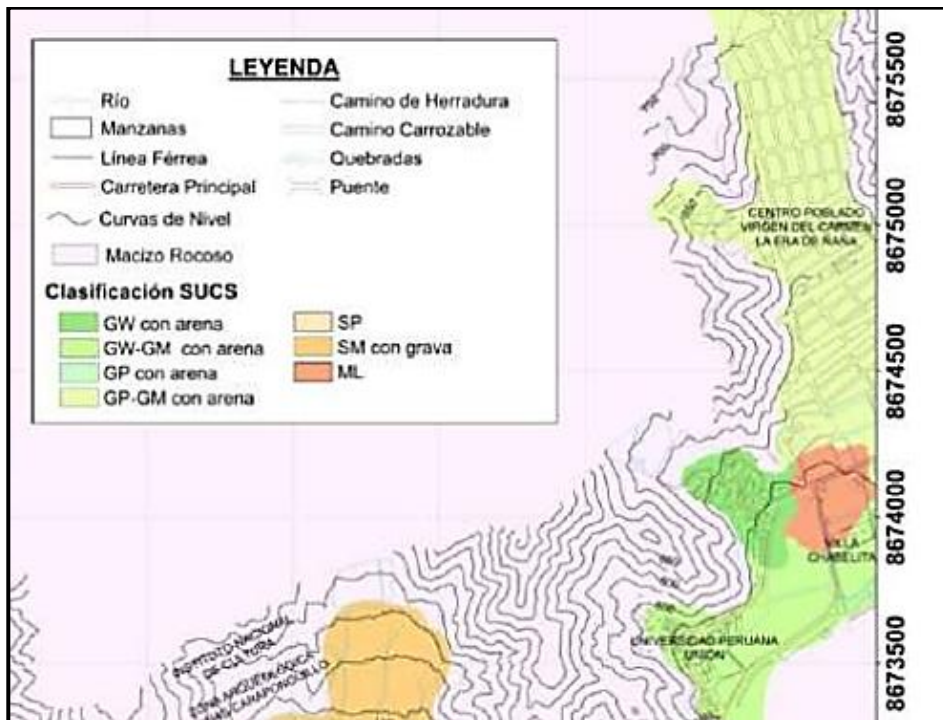
- García Tristán, J., Cobelo Cristí, W., Quevedo Sotolongo, G., & Castro Martínez, L. (2014). Capacidad de Carga en Suelos Parcialmente Saturados. *Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*, 1-12.
- Gonzales, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Graux, D. (1975). *Fundamentos de mecánica del suelo, proyecto de muros y cimentaciones*. Barcelona: Editores Técnicos asociados.
- Hansen, J. B. (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. *Bulletin N° 28, Akademiet for de Tekniske Videnskaber, The Danish Geotechnical Institute*, 5-21. Copenhagen.
- Ingenieros, R. d. (1975). *Mecánica de Suelos*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- Instituto Geofísico del Perú. (2012). *Reporte Técnico "Zonificación sísmica geotécnica de la cuenca del río Rímac: Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo"*. Lima: SúperGráfica EIRL.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2012). *Mecánica de suelos I: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México D.F.: Limusa.
- Khalaj-Hedayati, H., & Khodakarami, M. (03 de Septiembre de 2019). Solving Elasto-Static Bounded Problems with a Novel Arbitrary-Shaped Element. *Civil Engineering Journal*. Vol. 5, No. 9., págs. 1941-1958.
- Kolat, Ç. (2010). *DEVELOPING A GEOTECHNICAL MICROZONATION MODEL FOR YENİŞEHİR (BURSA) SETTLEMENT AREA*. Ankara, Turquía: Middle East Technical University.
- Krabbenhoft, K., Lyman, A., & Krabbenhoft, J. (2016). *OptumG2: Analysis*.
- Kulhawy, F., & Mayne, P. (1990). *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*. New York: Electric Power Research Institute.
- Lambe, W. (2012). *Mecánica de Suelos: Soil mechanics / William Lambe*. México: Limusa.
- Medina, J. (2002). *Análisis Comparativo de las Teorías de Capacidad Portante por Corte de Cimentaciones Superficiales*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanamiento. (14 de Marzo de 2018). Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA. *Reglamento Nacional de Edificaciones - Actualizado al 2019*. Lima, Perú: Editora Perú.
- Optum Computational Engineering. (15 de Enero de 2018). Limit Analysis Part 1. Youtube.

- Potts, D., & Zdravkovic, L. (1999). *Finite element analysis in geotechnical engineering. Theory*. London: Thomas Telford Publishing.
- Prandtl, L. (1921). Über die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden. *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*, vol. 1, nro 1, págs. 15-22.
- Rico Rodriguez, A., & Del Castillo, H. (2005). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*. México: Limusa.
- Ruiz, M., & González, S. (2015). *Geología aplicada a la ingeniería civil*. México: Limusa S.A.
- Sanchez, I. (2019). *Estudio Geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales en viviendas unifamiliares en el centro poblado de Huamanmarca*. Huncayo.
- Schmertmann, J. H., & Hartman, J. P. (1978). Improved Strain Influence Factor Diagrams. *Journal of the Geotechnical Engineering Divisions*, 1131-1135.
- Taylor, D. W. (1961). *Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos*. México D.F.: Compañía Editorial Continental .
- Teniente, A. (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*. Cusco, Perú.: Universidad Andina de Cusco.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Terzaghi, K., Peck, R., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice - Third Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Tomlinson, M. (1996). *Cimentacines: Diseño y construcción*. México: Trillas.
- Vesić, A. (January de 1973). Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, págs. 45-71.
- Villarroel B, C. E. (2016). *Análisis y Diseño de Estructuras con Autodesk Robot Structural Analysis*. Santa Cruz.
- Villarroel, C. (6 de Junio de 2017). Robot Structural Castellano - Tutorial 24.- Asentamientos Mediante MEF (Settlement Using Fem). Youtube.
- Yong, T., Wei-Zhen, J., Hai-Sheng, R., Ye, L., & Da-Long, W. (2020). Forensic Geotechnical Analyses on the 2009 Building-Overturning Accident in Shanghai, China: Beyond Common Recognitions. *ASCE J. Geotech. Geoenviron.*, 1-26.

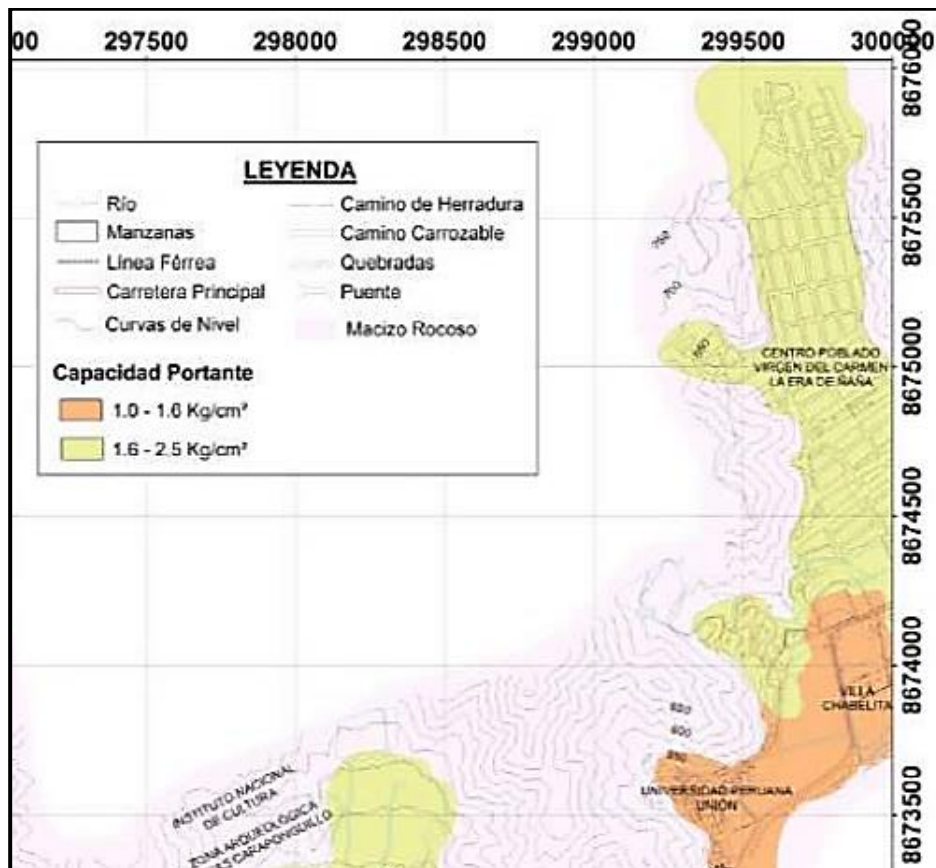


Extracción del IGP (Reporte Técnico "Zonificación sísmica geotécnica de la cuenca del río Rímac: Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo", 2012)

Extracción de Mapa de Tipos de Suelos-Clasificación SUCS. IGP (2012)



Extracción de Mapa de Capacidad Portante. IGP (2012)



## Anexo B Ensayos de Laboratorio



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 2 de Diciembre del 2019

### ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)

**Identificación de la muestra .**

<b>Calicata</b>	:	C-01
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.30 m

Descripción		M-1	M-2	M-3
Peso de Tara	(gr)	161.00	155.00	205.50
Peso de muestra húmeda + Tara	(gr)	1221.00	1221.50	1270.50
Peso de muestra seca + Tara	(gr)	1132.00	1134.50	1181.50
Peso del agua	(gr)	89.00	87.00	89.00
Peso del suelo seco	(gr)	971.00	979.50	976.00
Contenido de Humedad parcial	(%)	9.17	8.88	9.12
Contenido de Humedad final	(%)	9.06		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 2 de Diciembre del 2019

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(ASTM D 2216)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-02
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	2.80 m

<b>Descripción</b>		<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara	(gr)	158.00	156.50	154.00
Peso de muestra húmeda + Tara	(gr)	1204.50	1208.00	1208.00
Peso de muestra seca + Tara	(gr)	1174.50	1176.50	1177.00
Peso del agua	(gr)	30.00	31.50	31.00
Peso del suelo seco	(gr)	1016.50	1020.00	1023.00
Contenido de Humedad parcial	(%)	2.95	3.09	3.03
Contenido de Humedad final	(%)	<b>3.02</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 2 de Diciembre del 2019

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(ASTM D 2216)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-03A
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.00 m

<b>Descripción</b>		<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara	(gr)	95.00	92.50	121.50
Peso de muestra húmeda + Tara	(gr)	1205.00	1208.00	1237.00
Peso de muestra seca + Tara	(gr)	1166.50	1158.00	1190.00
Peso del agua	(gr)	38.50	50.00	47.00
Peso del suelo seco	(gr)	1071.50	1065.50	1068.50
Contenido de Humedad parcial	(%)	3.59	4.69	4.40
Contenido de Humedad final	(%)	<b>4.23</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 2 de Diciembre del 2019

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(ASTM D 2216)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-04
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.55 m

<b>Descripción</b>		<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara	(gr)	212.00	131.00	211.00
Peso de muestra húmeda + Tara	(gr)	1331.00	1252.00	1332.50
Peso de muestra seca + Tara	(gr)	1291.00	1208.00	1291.50
Peso del agua	(gr)	40.00	44.00	41.00
Peso del suelo seco	(gr)	1079.00	1077.00	1080.50
Contenido de Humedad parcial	(%)	3.71	4.09	3.79
Contenido de Humedad final	(%)	<b>3.86</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 3 de Diciembre del 2019

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(ASTM D 2216)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-05
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.20 m

<b>Descripción</b>		<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara	(gr)	158.07	154.18	156.53
Peso de muestra húmeda + Tara	(gr)	269.01	264.08	267.98
Peso de muestra seca + Tara	(gr)	260.94	256.07	259.84
Peso del agua	(gr)	8.07	8.01	8.14
Peso del suelo seco	(gr)	102.87	101.89	103.31
Contenido de Humedad parcial	(%)	7.84	7.86	7.88
Contenido de Humedad final	(%)	<b>7.86</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 3 de Diciembre del 2019

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(ASTM D 2216)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-06
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.00 m

<b>Descripción</b>		<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara	(gr)	153.82	161.22	155.20
Peso de muestra húmeda + Tara	(gr)	264.68	271.23	266.62
Peso de muestra seca + Tara	(gr)	254.05	261.46	255.71
Peso del agua	(gr)	10.63	9.77	10.91
Peso del suelo seco	(gr)	100.23	100.24	100.51
Contenido de Humedad parcial	(%)	10.61	9.75	10.85
Contenido de Humedad final	(%)	<b>10.40</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 3 de Diciembre del 2019

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(ASTM D 2216)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-07
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.20 m

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara (gr)	94.88	205.34	131.01
Peso de muestra húmeda + Tara (gr)	204.85	315.69	241.22
Peso de muestra seca + Tara (gr)	194.18	304.68	230.62
Peso del agua (gr)	10.67	11.01	10.60
Peso del suelo seco (gr)	99.30	99.34	99.61
Contenido de Humedad parcial (%)	10.75	11.08	10.64
Contenido de Humedad final (%)	<b>10.82</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 3 de Diciembre del 2019

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
(ASTM D 2216)

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-08
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.30 m

<b>Descripción</b>		<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara	(gr)	212.26	92.15	121.68
Peso de muestra húmeda + Tara	(gr)	322.73	202.12	232.42
Peso de muestra seca + Tara	(gr)	310.52	190.07	220.45
Peso del agua	(gr)	12.21	12.05	11.97
Peso del suelo seco	(gr)	98.26	97.92	98.77
Contenido de Humedad parcial	(%)	12.43	12.31	12.12
Contenido de Humedad final	(%)	<b>12.28</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 3 de Diciembre del 2019

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(ASTM D 2216)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-09
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.00 m

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Peso de Tara (gr)	117.54	129.90	211.03
Peso de muestra húmeda + Tara (gr)	227.02	239.30	321.23
Peso de muestra seca + Tara (gr)	213.26	224.37	307.30
Peso del agua (gr)	13.76	14.93	13.93
Peso del suelo seco (gr)	95.72	94.47	96.27
Contenido de Humedad parcial (%)	14.38	15.80	14.47
Contenido de Humedad final (%)	<b>14.88</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
ASTM - D422**

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

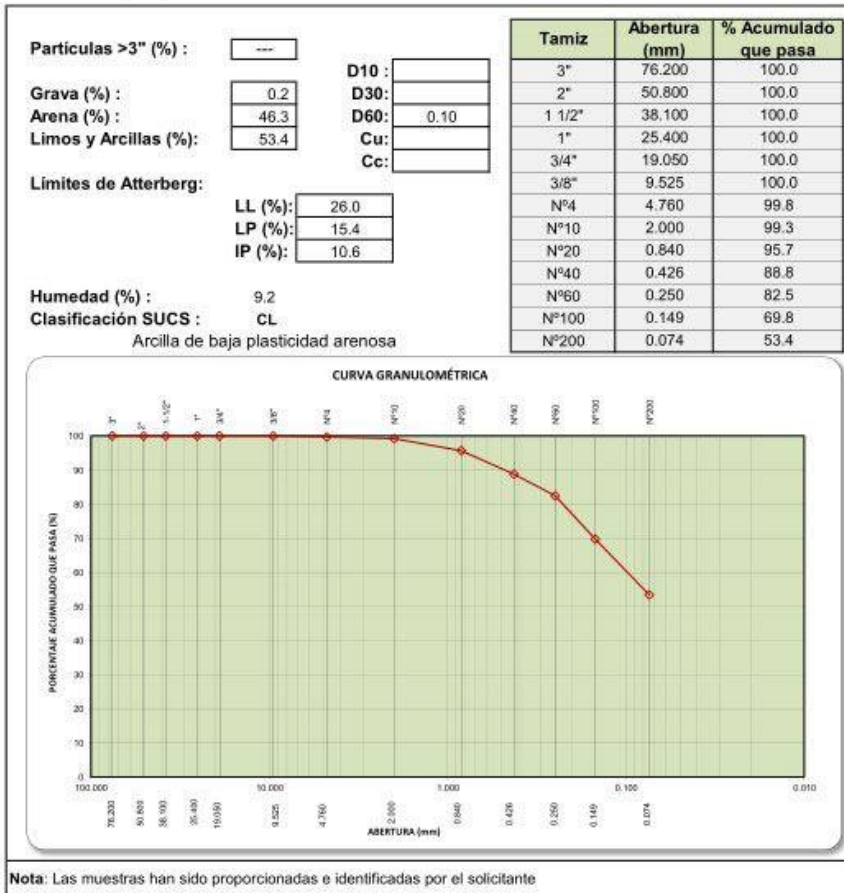
**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 01 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.30 **Coordenadas** : ---



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 01 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.30 **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%):

Grava (%):

Arena (%):

Limos y Arcillas (%):

Límites de Atterberg:

LL (%):   
 LP (%):   
 IP (%):

Humedad (%):

Clasificación SUCS:

Arcilla de baja plasticidad arenosa

D10:   
 D30:   
 D60:   
 Cu:   
 Cc:

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº4	4.760	99.8
Nº10	2.000	99.3
Nº20	0.840	95.7
Nº40	0.426	88.8
Nº60	0.250	82.5
Nº100	0.149	69.8
Nº200	0.074	53.4



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 02 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 2.80 **Coordenadas** : ---

**Partículas >3" (%) :**

**Grava (%) :**

**Arena (%) :**

**Limos y Arcillas (%) :**

**D10 :**   
**D30 :**   
**D60 :**   
**Cu :**   
**Cc :**

**Límites de Atterberg:**

**LL (%) :**   
**LP (%) :**   
**IP (%) :**

**Humedad (%) :**

**Clasificación SUCS :**

Grava mal gradada con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	77.5
1 1/2"	38.100	68.9
1"	25.400	59.6
3/4"	19.050	52.4
3/8"	9.525	41.2
Nº4	4.760	34.2
Nº10	2.000	31.0
Nº20	0.840	26.2
Nº40	0.426	17.3
Nº60	0.250	10.8
Nº100	0.149	5.0
Nº200	0.074	2.1



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C-3A **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.00 **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) :

Grava (%) :

Arena (%) :

Limos y Arcillas (%) :

**Límites de Atterberg:**

LL (%):

LP (%):

IP (%):

Humedad (%) :

Clasificación SUCS :

Arcilla de baja plasticidad arenosa

D10 :

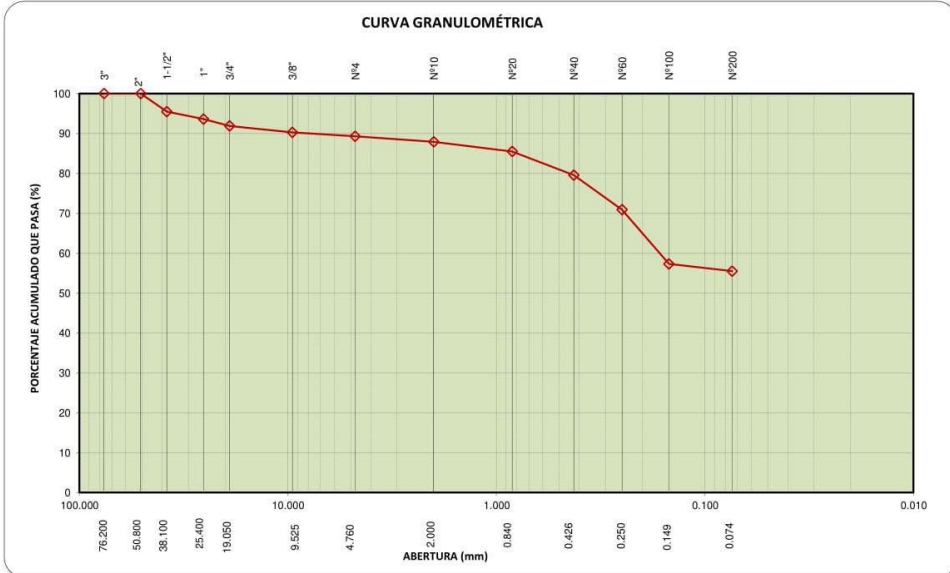
D30:

D60:

Cu:

Cc:

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	95.5
1"	25.400	93.6
3/4"	19.050	91.9
3/8"	9.525	90.3
Nº4	4.760	89.3
Nº10	2.000	87.9
Nº20	0.840	85.5
Nº40	0.426	79.6
Nº60	0.250	70.9
Nº100	0.149	57.3
Nº200	0.074	55.5



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

**ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

INFORME : TC-013-INF-20-09-1-2020

Página : 14

SOLICITANTE : GERALDINE JESSARELA RAQUEL VEGA CASTRO Y KARLA E. CHÁVEZ GARCÍA

Realizado: E.G.I

DIRECCIÓN : LIMA

Revisado : P.T.C

PROYECTO : TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD DE CARGA Y ASENTAMIENTO DE MASAS DE SUELO EN LAS ZONAS MDA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN SEDE LIMA MEDIANTE MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS Y SOFTWARE"

UBICACIÓN : CARRETERA CENTRAL KM 19.5 ÑAÑA, CHOSICA

**Identificación de la muestra**

Sondaje :	C - 03A
Muestra :	M - 2
Profundidad (m) :	0.00 - 3.50

FECHA RECEPCIÓN : 24/01/2020

FECHA DE ENSAYO : 25/01/2020

FECHA DE EMISIÓN : 25/01/2020

Norma ASTM D 422		MALLA	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	75.000	100.0
		2"	50.000	76.4
		1 1/2"	37.500	62.4
		1"	25.000	46.4
		3/4"	19.000	39.9
		3/8"	9.500	30.0
		N° 004	4.750	23.3
		N° 010	2.000	17.4
		N° 020	0.850	10.3
		N° 040	0.425	4.6
		N° 060	0.250	2.0
		N° 140	0.106	0.4
N° 200	0.075	0.2		

Norma ASTM D 2487

Clasificación (S.U.C.S.)	GP
Descripción :	<b>GRAVA MAL GRADUADA CON ARENA</b>

Norma AASHTO M 145

Clasificación (AASHTO)	A-1-a (1)
Descripción (AASHTO)	EXC - BUENO

Norma ASTM D 2216

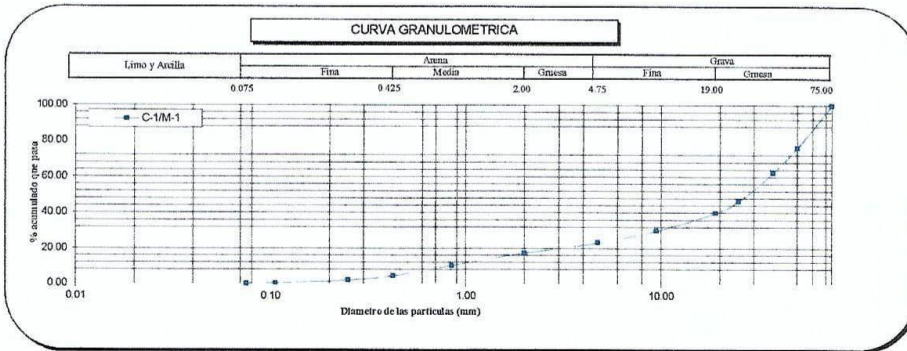
Contenido de Humedad (%)	2
--------------------------	---

Norma ASTM D 4318, Norma ASTM D 427

Límite Líquido (LL)	-
Límite Plástico (LP)	NP
Límite Contracción (LC)	NP
Índice Plástico (IP)	-

% GRAVA	76.7	Gruesa	60.1
		Fina	16.6
% ARENA	23.1	Gruesa	5.9
		Media	12.9
		Fina	4.4
% FINOS	0.2		0.2

D <sub>10</sub> (mm)	0.83
D <sub>30</sub> (mm)	9.51
D <sub>60</sub> (mm)	35.64
Cu	43.05
Cc	3.07



**OBSERVACION:**

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025:2006.)

**ERICK GRANDEZ IBERICO**  
Técnico de Laboratorio  
Mecánica de Suelos

**Ing. Percy R. Tupla Córdova**  
Jefe de Laboratorio  
Mecánica de Suelos  
CIP. 112630

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD.

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 04 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.55 **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 18.3  
 Arena (%) : 32.2  
 Limos y Arcillas (%) : 49.5

Límites de Atterberg:

LL (%) : 22.5  
 LP (%) : 15.7  
 IP (%) : 6.8

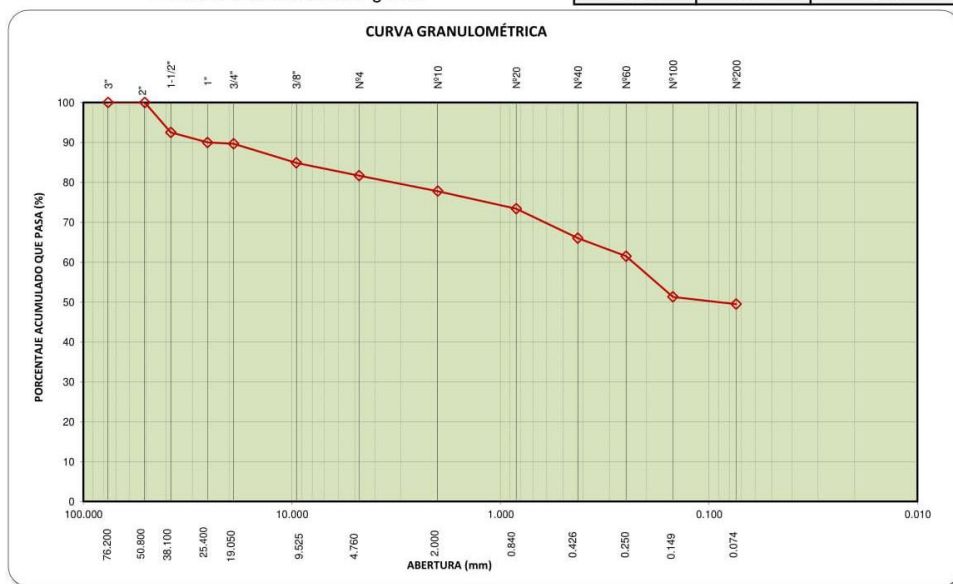
Humedad (%) : 4.1

Clasificación SUCS : SC-SM

Arena arcillo-limosa con grava

D10 :  
 D30 :  
 D60 : 0.23  
 Cu :  
 Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	92.5
1"	25.400	90.0
3/4"	19.050	89.7
3/8"	9.525	84.9
Nº4	4.760	81.7
Nº10	2.000	77.8
Nº20	0.840	73.4
Nº40	0.426	66.0
Nº60	0.250	61.5
Nº100	0.149	51.3
Nº200	0.074	49.5



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 05 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.20 **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : -

Arena (%) : 50.8

Limos y Arcillas (%) : 49.2

Límites de Atterberg:

LL (%): 23.0  
LP (%): 17.5  
IP (%): 5.5

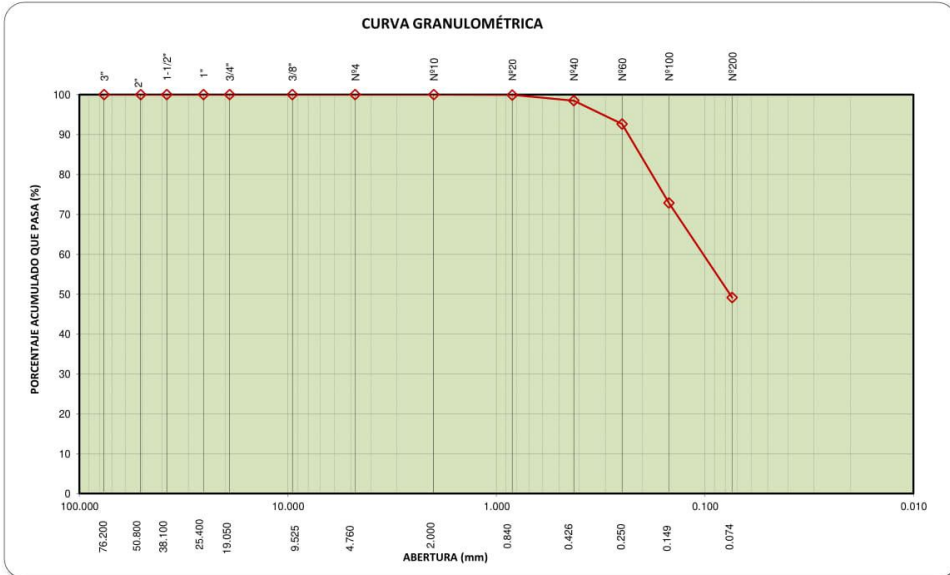
Humedad (%) : 8.9

Clasificación SUCS : SC-SM

Arena arcillo-limosa

D10 :  
D30 :  
D60 : 0.10  
Cu :  
Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº4	4.760	100.0
Nº10	2.000	100.0
Nº20	0.840	99.9
Nº40	0.426	98.5
Nº60	0.250	92.6
Nº100	0.149	72.8
Nº200	0.074	49.2



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 06 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.00 **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) :

Grava (%) :

Arena (%) :

Limos y Arcillas (%) :

D10 :

D30 :

D60 :

Cu :

Cc :

**Límites de Atterberg:**

LL (%) :

LP (%) :

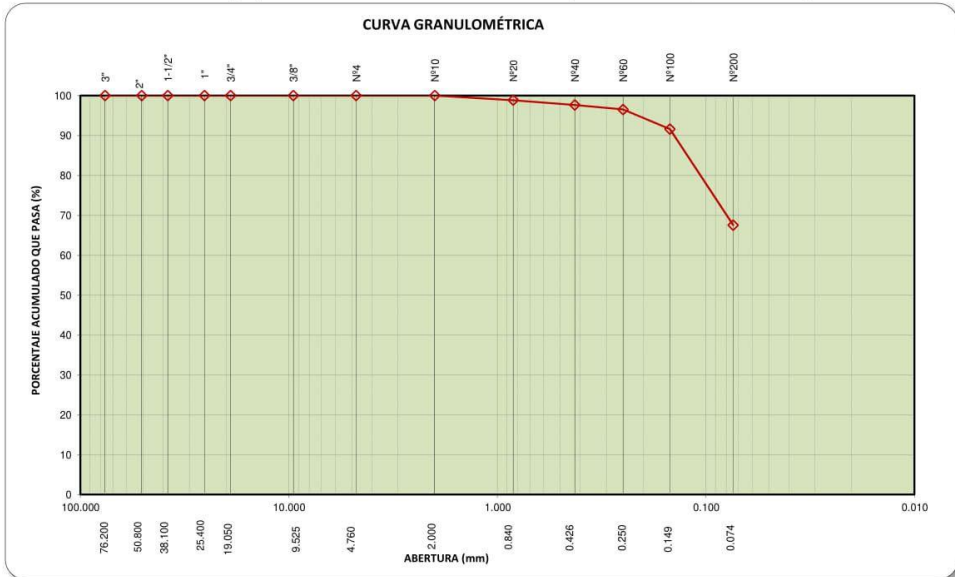
IP (%) :

**Humedad (%)** : 13.0

**Clasificación SUCS** : **ML**

Limo de baja plasticidad arenoso

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº4	4.760	100.0
Nº10	2.000	100.0
Nº20	0.840	98.9
Nº40	0.426	97.7
Nº60	0.250	96.5
Nº100	0.149	91.6
Nº200	0.074	67.5



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 07 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.20 **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) :

0.2

Arena (%) :

24.2

Limos y Arcillas (%) :

75.6

Límites de Atterberg:

LL (%): 29.1

LP (%): 18.2

IP (%): 10.9

Humedad (%) :

12.1

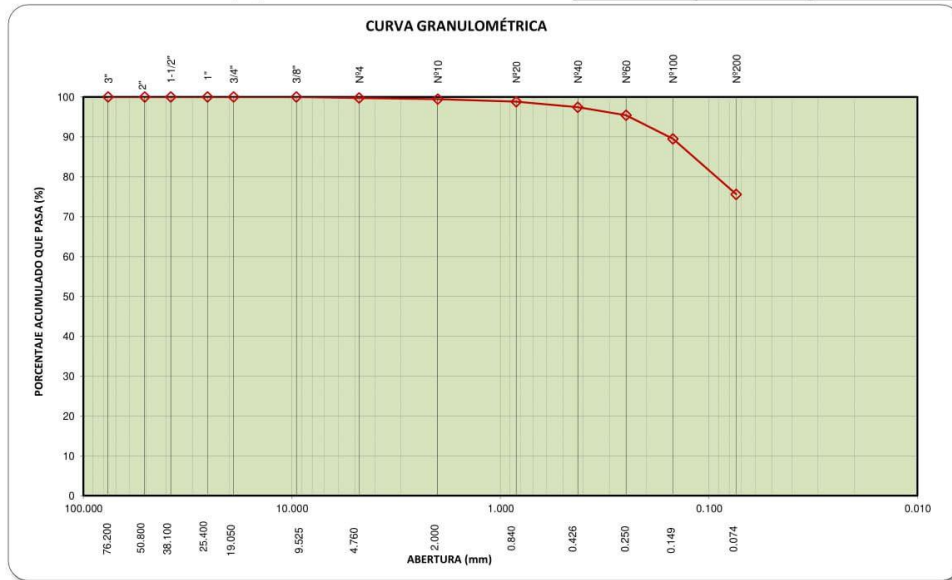
Clasificación SUCS :

CL

Arcilla de baja plasticidad con arena

D10 :  
D30 :  
D60 :  
Cu :  
Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº4	4.760	99.8
Nº10	2.000	99.5
Nº20	0.840	98.8
Nº40	0.426	97.4
Nº60	0.250	95.4
Nº100	0.149	89.5
Nº200	0.074	75.6



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 08 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.30 **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%):

Grava (%):

Arena (%):

Limos y Arcillas (%):

**Límites de Atterberg:**

LL (%):

LP (%):

IP (%):

Humedad (%):

Clasificación SUCS:

Arcilla de baja plasticidad

D10:

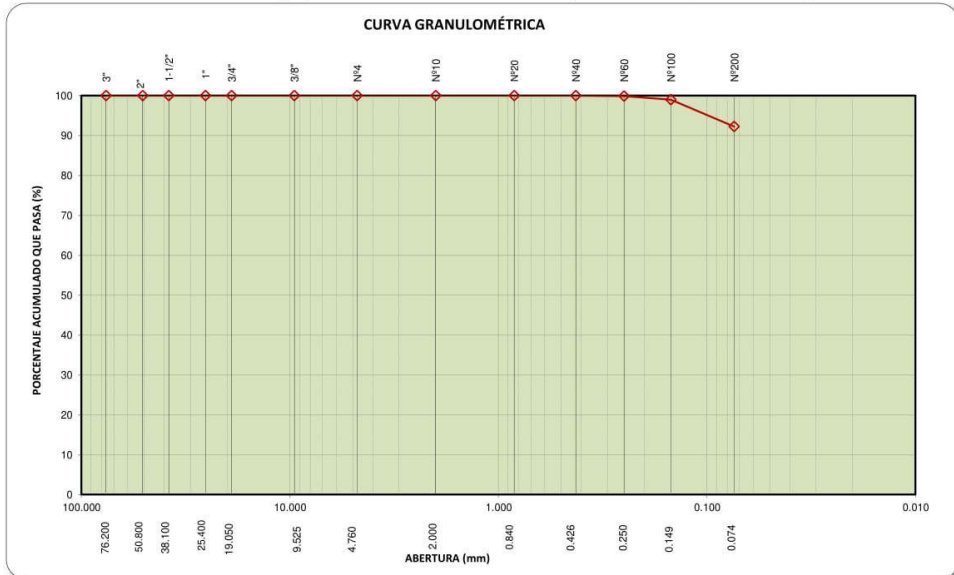
D30:

D60:

Cu:

Cc:

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº4	4.760	100.0
Nº10	2.000	100.0
Nº20	0.840	100.0
Nº40	0.426	100.0
Nº60	0.250	99.9
Nº100	0.149	99.0
Nº200	0.074	92.3



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 09 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.00 **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) :

Grava (%) :

Arena (%) :

Limos y Arcillas (%) :

Límites de Atterberg:

LL (%) :

LP (%) :

IP (%) :

Humedad (%) :

Clasificación SUCS :

Limo de baja plasticidad arenoso

D10 :

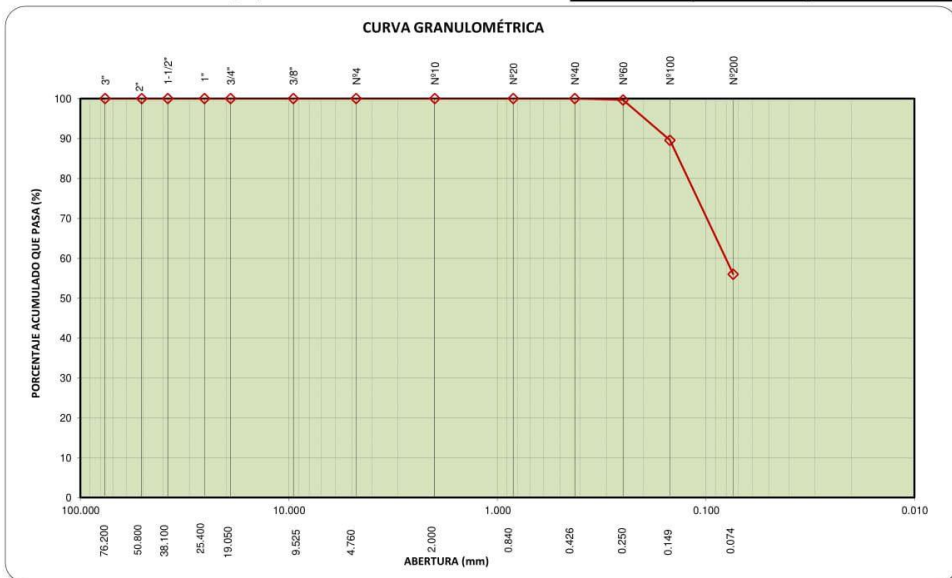
D30 :

D60 :

Cu :

Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº4	4.760	100.0
Nº10	2.000	100.0
Nº20	0.840	100.0
Nº40	0.426	100.0
Nº60	0.250	99.7
Nº100	0.149	89.6
Nº200	0.074	56.0



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN**  
**ASTM - D422 / NTP 339.128**

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**Solicitante** : Gerakline Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Naña, Chosica

**Sondeo** : C - 03A **Fecha** : Enero - 2020  
**Muestra** : M - 1  
**Profundidad** : 3.00 m **Clasificación SUCS** : CL

**Datos Iniciales del Ensayo**

Fz = 3  
Fm = 1

Gs = 2.7  
Ws = 50

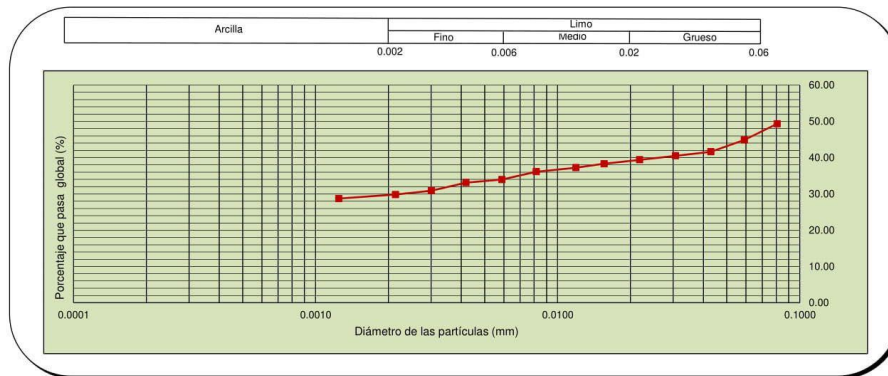
a = 0.989  
gw = 980.00

% Pasa la malla N° 200 = 55.50 %

Hidrómetro 152 H

Tiempo min	Lectura del hidrómetro, R	T (°C)	Ft	R <sub>CP</sub>	%pasa	R <sub>CL</sub>	L	A	D (mm)	% pasa global
0.25	48	19	-0.10000	44.90	88.8	49	8.30	0.0140	0.081	49.29
0.5	44	19	-0.10000	40.90	80.9	45	8.90	0.0140	0.059	44.90
1	41	19	-0.10000	37.90	75.0	42	9.40	0.0140	0.043	41.60
2	40	19	-0.10000	36.90	73.0	41	9.60	0.0140	0.031	40.50
4	39	19	-0.10000	35.90	71.0	40	9.70	0.0140	0.022	39.41
8	38	19	-0.10000	34.90	69.0	39	9.90	0.0140	0.016	38.31
14	37	19	-0.10000	33.90	67.0	38	10.10	0.0140	0.012	37.21
30	36	19	-0.10000	32.90	65.1	37	10.20	0.0140	0.008	36.11
60	34	19	-0.10000	30.90	61.1	35	10.60	0.0140	0.006	33.92
120	33	20	0.15000	30.15	59.6	34	10.70	0.0140	0.004	33.10
240	31	20	0.15000	28.15	55.7	32	11.10	0.0140	0.003	30.90
480	30	20	0.15000	27.15	53.7	31	11.20	0.0140	0.002	29.80
1440	29	20	0.15000	26.15	51.7	30	11.40	0.0140	0.001	28.70

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



**Fz** : Corrección de cero  
**Fm** : Corrección por menisco  
**Ft** : Corrección por temperatura  
**Gs** : Gravedad específica del suelo  
**Ws** : Peso seco del suelo  
**a** : Factor de corrección por Gs

**R<sub>CP</sub>** : Longitud corregida por cero y Temperatura  
**R<sub>CL</sub>** : Longitud corregida por menisco  
**L** : Longitud efectiva  
**A** : Actividad  
**D** : Diámetro de las partículas del suelo

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN ASTM - D422 / NTP 339.128

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sondeo** : C - 04

**Fecha** : Enero -2020

**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.55 m

**Clasificación SUCS** : SC-SM

**Datos Iniciales del Ensayo**

Fz =   
Fm =

Gs =   
Ws =

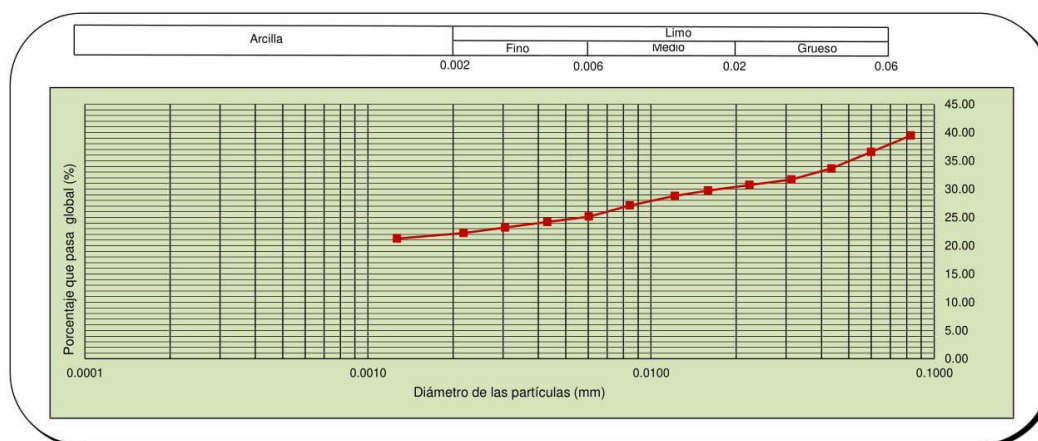
a =   
gw =

% Pasa la malla N° 200  %

Hidrómetro 152 H

Tiempo min	Lectura del hidrómetro, R	T (°C)	Ft	R <sub>CP</sub>	%pasa	R <sub>CL</sub>	L	A	D (mm)	% pasa global
0.25	45	18	-0.35000	40.65	79.7	46	8.80	0.0139	0.083	39.46
0.5	42	18	-0.35000	37.65	73.8	43	9.20	0.0139	0.060	36.55
1	39	18	-0.35000	34.65	67.9	40	9.70	0.0139	0.043	33.63
2	37	18	-0.35000	32.65	64.0	38	10.10	0.0139	0.031	31.69
4	36	18	-0.35000	31.65	62.1	37	10.20	0.0139	0.022	30.72
8	35	18	-0.35000	30.65	60.1	36	10.40	0.0139	0.016	29.75
14	34	18	-0.35000	29.65	58.1	35	10.60	0.0139	0.012	28.78
30	32	19	-0.10000	27.90	54.7	33	10.90	0.0139	0.008	27.08
60	30	19	-0.10000	25.90	50.8	31	11.20	0.0139	0.006	25.14
120	29	19	-0.10000	24.90	48.8	30	11.40	0.0139	0.004	24.17
240	28	19	-0.10000	23.90	46.9	29	11.50	0.0139	0.003	23.20
480	27	19	-0.10000	22.90	44.9	28	11.70	0.0139	0.002	22.23
1440	26	19	-0.10000	21.90	42.9	27	11.90	0.0139	0.001	21.26

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



Fz : Corrección de cero  
Fm : Corrección por menisco  
Ft : Corrección por temperatura  
Gs : Gravedad específica del suelo  
Ws : Peso seco del suelo  
a : Factor de corrección por Gs

R<sub>CP</sub> : Longitud corregida por cero y Temperatura  
R<sub>CL</sub> : Longitud corregida por menisco  
L : Longitud efectiva  
A : Actividad  
D : Diámetro de las partículas del suelo

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN ASTM - D422 / NTP 339.128

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sondeo** : C - 05

**Fecha** : Enero - 2020

**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.20 m

**Clasificación SUCS** : SC-SM

**Datos Iniciales del Ensayo**

Fz = 4  
Fm = 1

Gs = 2.75  
Ws = 50

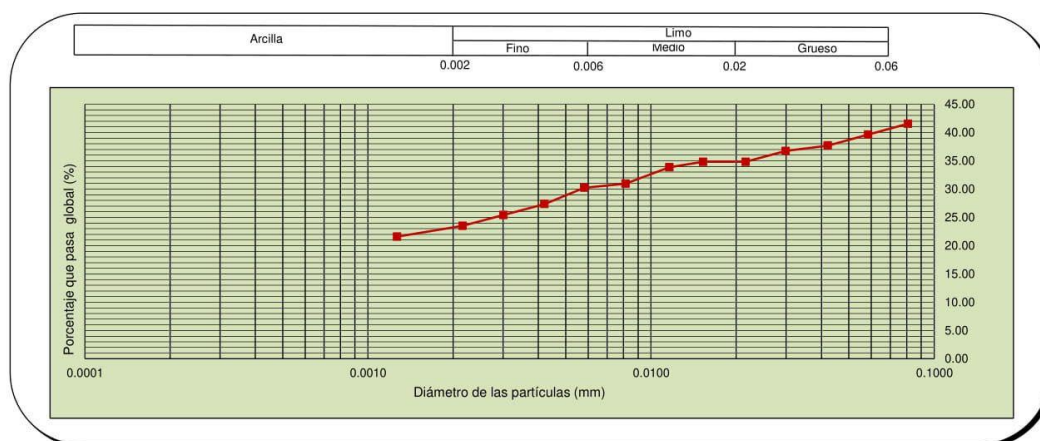
a = 0.978  
gw = 980.00

% Pasa la malla N° 200 49.20 %

Hidrómetro 152 H

Tiempo min	Lectura del hidrómetro, R	T (°C)	Ft	R <sub>CP</sub>	%pasa	R <sub>CL</sub>	L	A	D (mm)	% pasa global
0.25	47	20	0.15000	43.15	84.4	48	8.40	0.0139	0.081	41.54
0.5	45	20	0.15000	41.15	80.5	46	8.80	0.0139	0.058	39.62
1	43	20	0.15000	39.15	76.6	44	9.10	0.0139	0.042	37.69
2	42	20	0.15000	38.15	74.7	43	9.20	0.0139	0.030	36.73
4	40	20	0.15000	36.15	70.7	41	9.60	0.0139	0.022	34.80
8	40	20	0.15000	36.15	70.7	41	9.60	0.0139	0.015	34.80
14	39	20	0.15000	35.15	68.8	40	9.70	0.0139	0.012	33.84
30	36	20	0.15000	32.15	62.9	37	10.20	0.0139	0.008	30.95
60	35	21	0.40000	31.40	61.4	36	10.40	0.0139	0.006	30.23
120	32	21	0.40000	28.40	55.6	33	10.90	0.0139	0.004	27.34
240	30	21	0.40000	26.40	51.7	31	11.20	0.0139	0.003	25.42
480	28	21	0.40000	24.40	47.7	29	11.50	0.0139	0.002	23.49
1440	26	21	0.40000	22.40	43.8	27	11.90	0.0139	0.001	21.57

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



Fz : Corrección de cero  
Fm : Corrección por menisco  
Ft : Corrección por temperatura  
Gs : Gravedad específica del suelo  
Ws : Peso seco del suelo  
a : Factor de corrección por Gs

R<sub>CP</sub> : Longitud corregida por cero y Temperatura  
R<sub>CL</sub> : Longitud corregida por menisco  
L : Longitud efectiva  
A : Actividad  
D : Diámetro de las partículas del suelo

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN ASTM - D422 / NTP 339.128

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sondeo** : C - 06

**Fecha** : Enero - 2020

**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.00 m

**Clasificación SUCS** : ML

**Datos Iniciales del Ensayo**

Fz =   
Fm =

Gs =   
Ws =

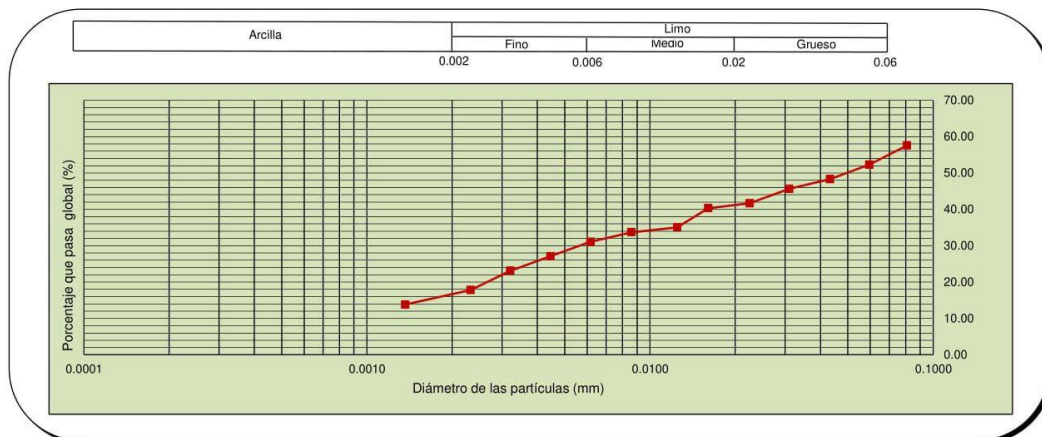
a =   
gw =

% Pasa la malla N° 200  %

Hidrómetro 152 H

Tiempo min	Lectura del hidrómetro, R	T (°C)	Ft	R <sub>CP</sub>	%pasa	R <sub>CL</sub>	L	A	D (mm)	% pasa global
0.25	47	21	0.40000	43.40	85.3	48	8.40	0.0139	0.081	57.57
0.5	43	21	0.40000	39.40	77.4	44	9.10	0.0139	0.059	52.26
1	40	21	0.40000	36.40	71.5	41	9.60	0.0139	0.043	48.28
2	38	21	0.40000	34.40	67.6	39	9.90	0.0139	0.031	45.63
4	35	21	0.40000	31.40	61.7	36	10.40	0.0139	0.022	41.65
8	34	21	0.40000	30.40	59.7	35	10.60	0.0139	0.016	40.32
14	30	21	0.40000	26.40	51.9	31	11.20	0.0139	0.012	35.02
30	29	21	0.40000	25.40	49.9	30	11.40	0.0139	0.009	33.69
60	27	21	0.40000	23.40	46.0	28	11.70	0.0139	0.006	31.04
120	24	21	0.40000	20.40	40.1	25	12.20	0.0139	0.004	27.06
240	21	21	0.40000	17.40	34.2	22	12.70	0.0139	0.003	23.08
480	17	21	0.40000	13.40	26.3	18	13.30	0.0139	0.002	17.77
1440	14	21	0.40000	10.40	20.4	15	13.80	0.0139	0.001	13.80

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



Fz : Corrección de cero  
Fm : Corrección por menisco  
Ft : Corrección por temperatura  
Gs : Gravedad específica del suelo  
Ws : Peso seco del suelo  
a : Factor de corrección por Gs

R<sub>CP</sub> : Longitud corregida por cero y Temperatura  
R<sub>CL</sub> : Longitud corregida por menisco  
L : Longitud efectiva  
A : Actividad  
D : Diámetro de las partículas del suelo

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN ASTM - D422 / NTP 339.128

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sondeo** : C - 07

**Fecha** : Enero - 2020

**Muestra** : M - 1

**Clasificación SUCS** : CL

**Profundidad** : 3.20 m

**Datos Iniciales del Ensayo**

Fz =   
Fm =

Gs =   
Ws =

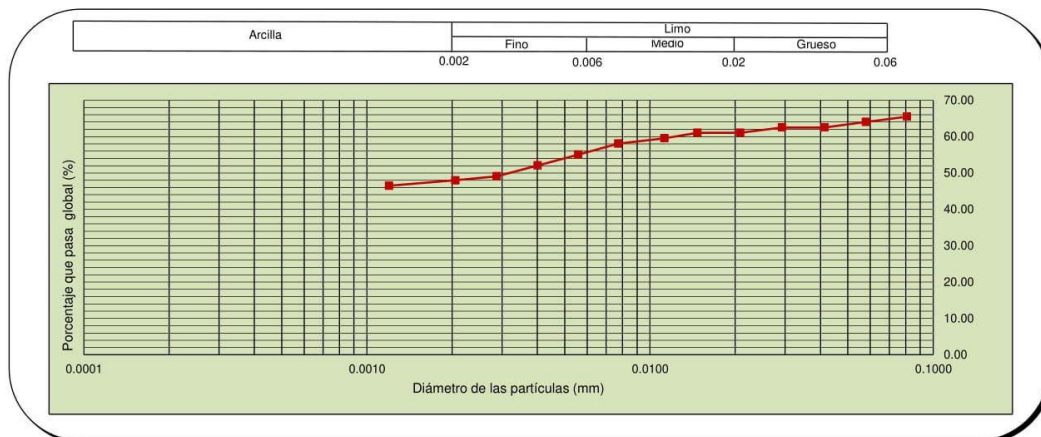
a =   
gw =

% Pasa la malla N° 200  %

Hidrómetro 152 H

Tiempo min	Lectura del hidrómetro, R	T (°C)	Ft	R <sub>CP</sub>	%pasa	R <sub>CL</sub>	L	A	D (mm)	% pasa global
0.25	47	19	-0.10000	43.90	86.6	48	8.40	0.0139	0.081	65.50
0.5	46	19	-0.10000	42.90	84.7	47	8.60	0.0139	0.058	64.01
1	45	19	-0.10000	41.90	82.7	46	8.80	0.0139	0.041	62.51
2	45	19	-0.10000	41.90	82.7	46	8.80	0.0139	0.029	62.51
4	44	19	-0.10000	40.90	80.7	45	8.90	0.0139	0.021	61.02
8	44	19	-0.10000	40.90	80.7	45	8.90	0.0139	0.015	61.02
14	43	19	-0.10000	39.90	78.7	44	9.10	0.0139	0.011	59.53
30	42	19	-0.10000	38.90	76.8	43	9.20	0.0139	0.008	58.04
60	40	19	-0.10000	36.90	72.8	41	9.60	0.0139	0.006	55.05
120	38	19	-0.10000	34.90	68.9	39	9.90	0.0139	0.004	52.07
240	36	19	-0.10000	32.90	64.9	37	10.20	0.0139	0.003	49.09
480	35	20	0.15000	32.15	63.4	36	10.40	0.0139	0.002	47.97
1440	34	20	0.15000	31.15	61.5	35	10.60	0.0139	0.001	46.48

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



Fz : Corrección de cero  
Fm : Corrección por menisco  
Ft : Corrección por temperatura  
Gs : Gravedad específica del suelo  
Ws : Peso seco del suelo  
a : Factor de corrección por Gs

R<sub>CP</sub> : Longitud corregida por cero y Temperatura  
R<sub>CL</sub> : Longitud corregida por menisco  
L : Longitud efectiva  
A : Actividad  
D : Diámetro de las partículas del suelo

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN ASTM - D422 / NTP 339.128

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sondeo** : C - 08

**Fecha** : Enero - 2020

**Muestra** : M - 1

**Clasificación SUCS** : CL

**Profundidad** : 3.30 m

**Datos Iniciales del Ensayo**

Fz = 3  
Fm = 1

Gs = 2.71  
Ws = 50

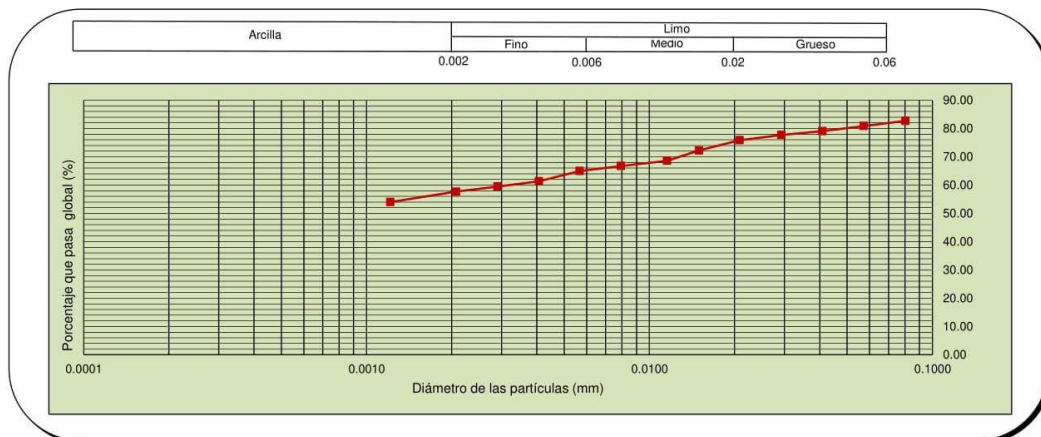
a = 0.987  
gw = 980.00

% Pasa la malla N° 200 92.30 %

Hidrómetro 152 H

Tiempo min	Lectura del hidrómetro, R	T (°C)	Ft	R <sub>CP</sub>	%pasa	R <sub>CL</sub>	L	A	D (mm)	% pasa global
0.25	48	21	0.40000	45.40	89.6	49	8.30	0.0139	0.080	82.70
0.5	47	21	0.40000	44.40	87.6	48	8.40	0.0139	0.057	80.88
1	46	21	0.40000	43.40	85.7	47	8.60	0.0139	0.041	79.06
2	45	22	0.65000	42.65	84.2	46	8.80	0.0139	0.029	77.69
4	44	22	0.65000	41.65	82.2	45	8.90	0.0139	0.021	75.87
8	42	22	0.65000	39.65	78.3	43	9.20	0.0139	0.015	72.22
14	40	22	0.65000	37.65	74.3	41	9.60	0.0139	0.012	68.58
30	39	22	0.65000	36.65	72.3	40	9.70	0.0139	0.008	66.76
60	38	22	0.65000	35.65	70.4	39	9.90	0.0139	0.006	64.94
120	36	22	0.65000	33.65	66.4	37	10.20	0.0139	0.004	61.30
240	35	22	0.65000	32.65	64.4	36	10.40	0.0139	0.003	59.47
480	34	22	0.65000	31.65	62.5	35	10.60	0.0139	0.002	57.65
1440	32	22	0.65000	29.65	58.5	33	10.90	0.0139	0.001	54.01

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



Fz : Corrección de cero  
Fm : Corrección por menisco  
Ft : Corrección por temperatura  
Gs : Gravedad específica del suelo  
Ws : Peso seco del suelo  
a : Factor de corrección por Gs

R<sub>CP</sub> : Longitud corregida por cero y Temperatura  
R<sub>CL</sub> : Longitud corregida por menisco  
L : Longitud efectiva  
A : Actividad  
D : Diámetro de las partículas del suelo

**LÍMITES DE ATTERBERG  
ASTM - D4318**

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

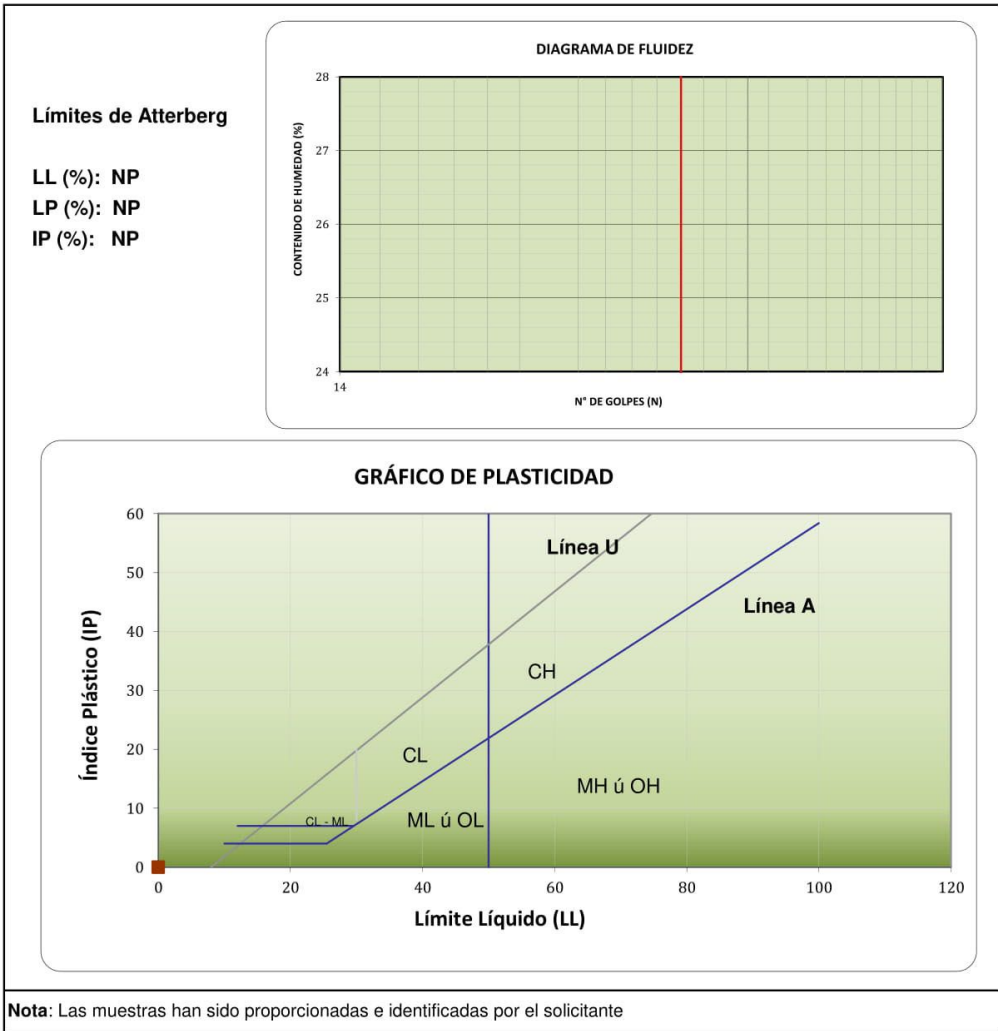
**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 02 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 2.80 **Coordenadas** : ----



## LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

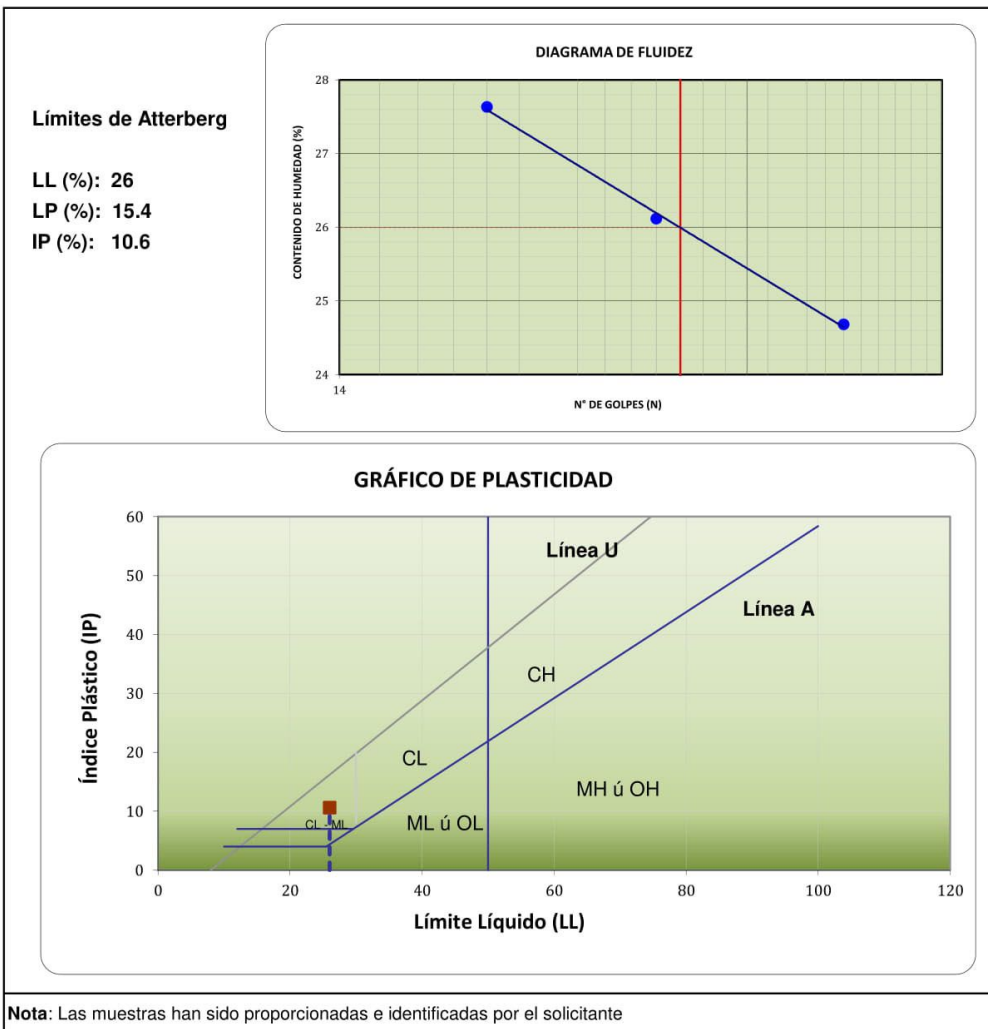
**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 01 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.30 **Coordenadas** : ----



## LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

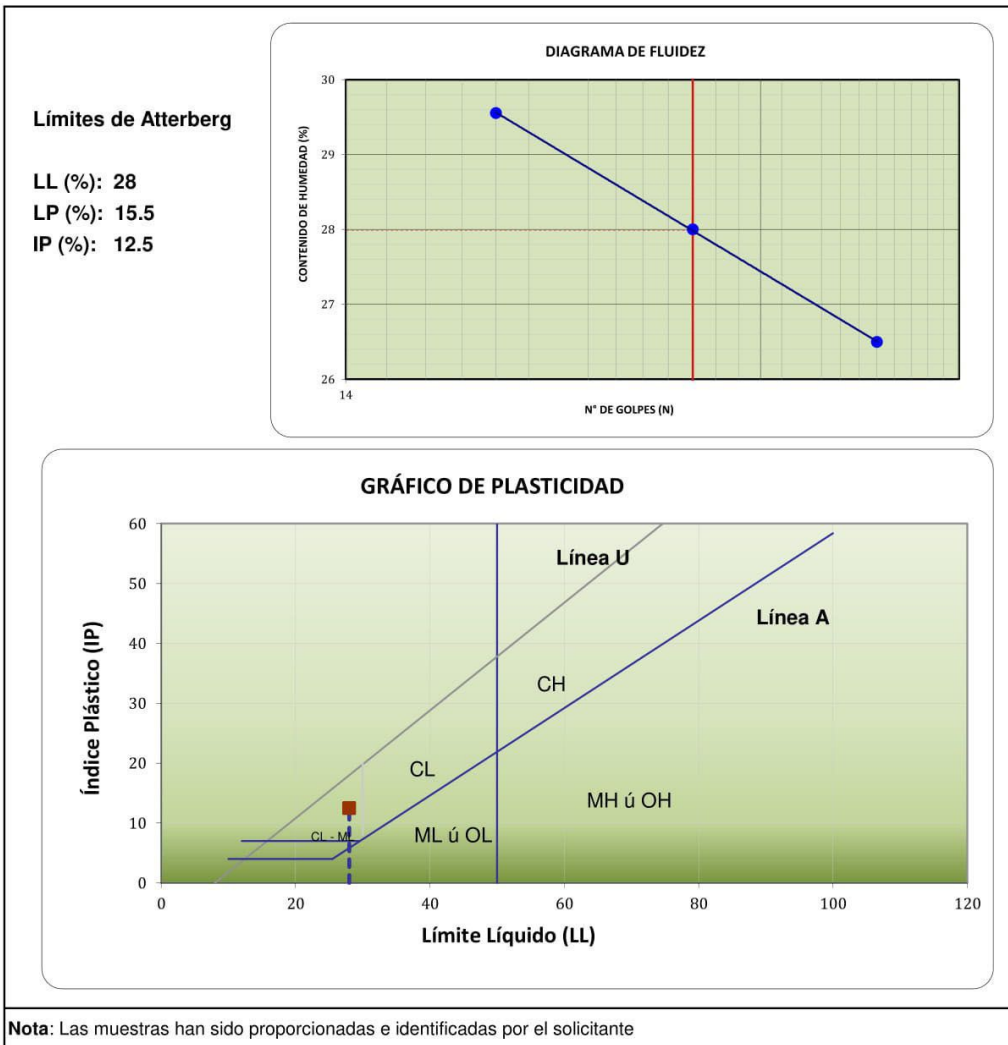
**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 03A **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.00 **Coordenadas** : ----



## LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

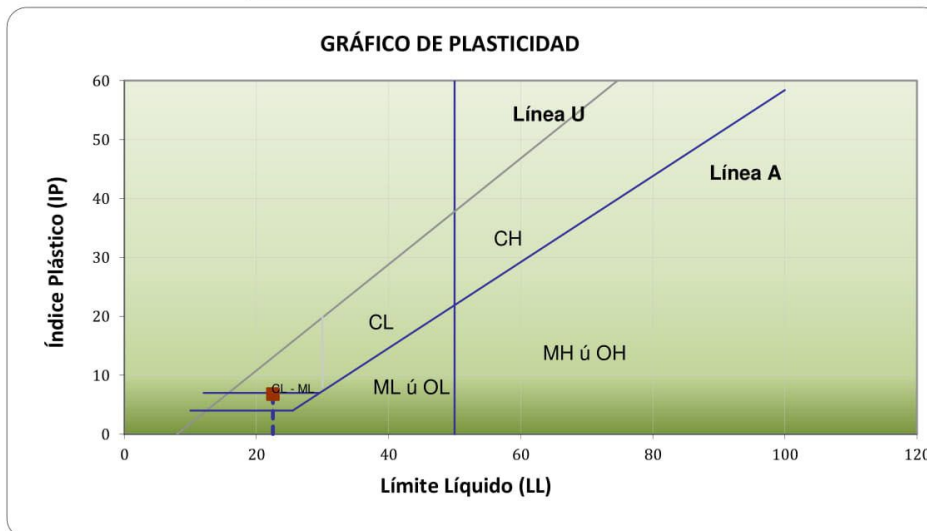
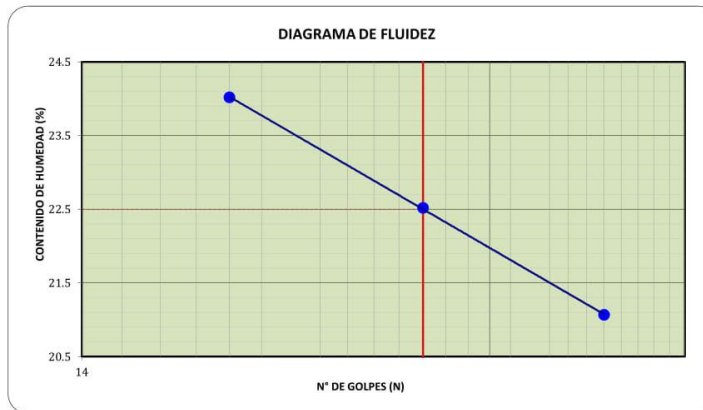
**Sondeo** : C - 04 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M -1

**Profundidad (mts.)** : 3.55 **Coordenadas** : ----

### Límites de Atterberg

**LL (%)**: 22.5  
**LP (%)**: 15.7  
**IP (%)**: 6.8



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

**LÍMITES DE ATTERBERG  
ASTM - D4318**

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

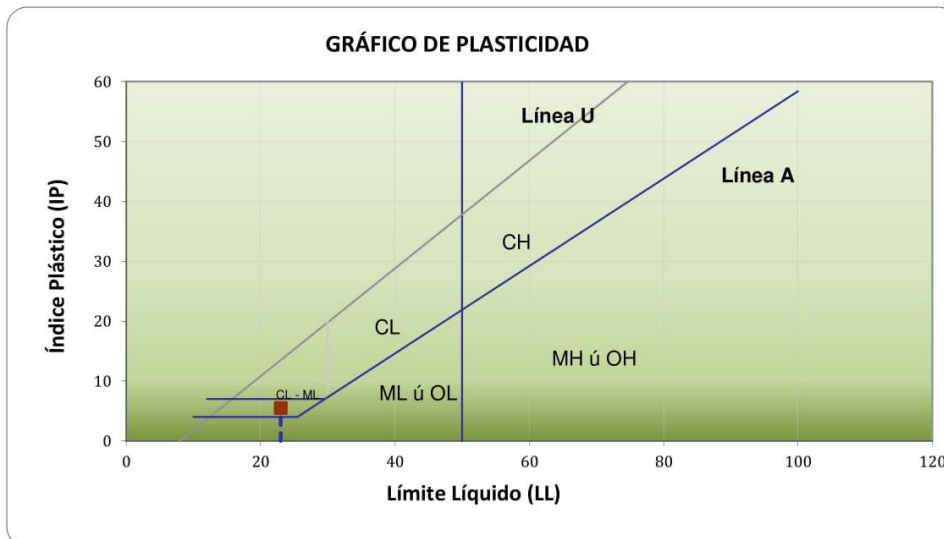
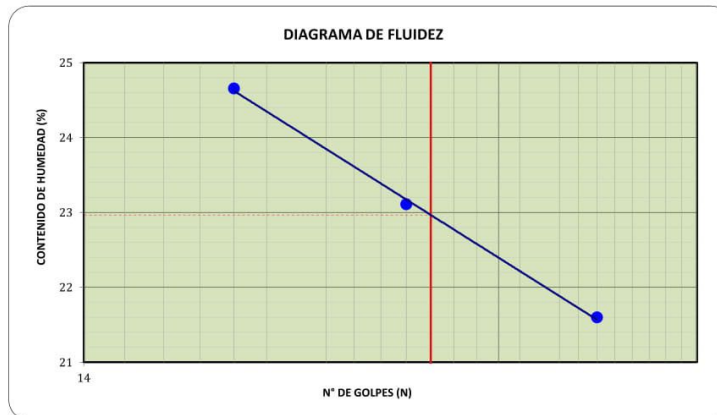
**Sondeo** : C - 05 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.20 **Coordenadas** : ----

**Límites de Atterberg**

**LL (%)**: 23  
**LP (%)**: 17.5  
**IP (%)**: 5.5



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

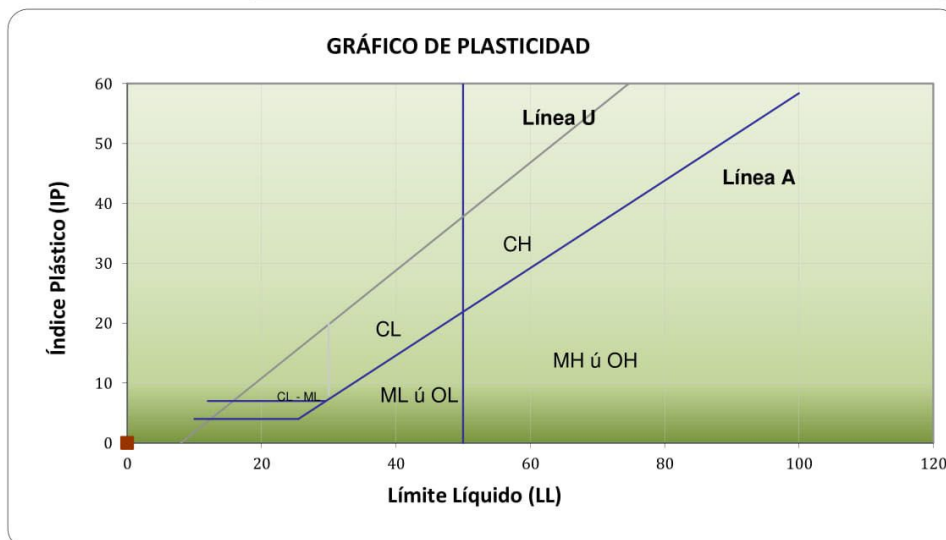
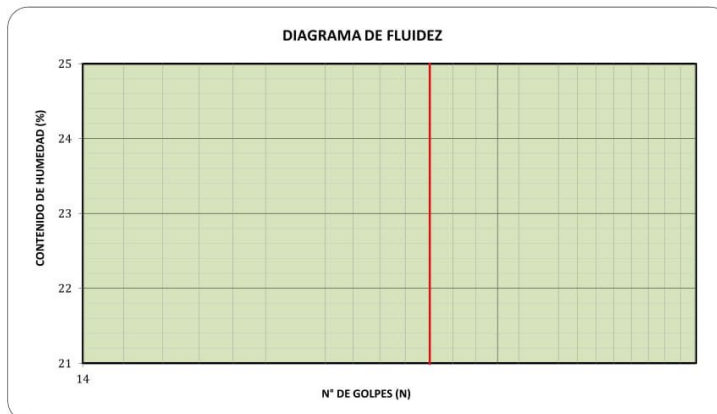
**Sondeo** : C - 06 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.00 **Coordenadas** : ----

### Límites de Atterberg

LL (%): NP  
LP (%): NP  
IP (%): NP



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 07 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

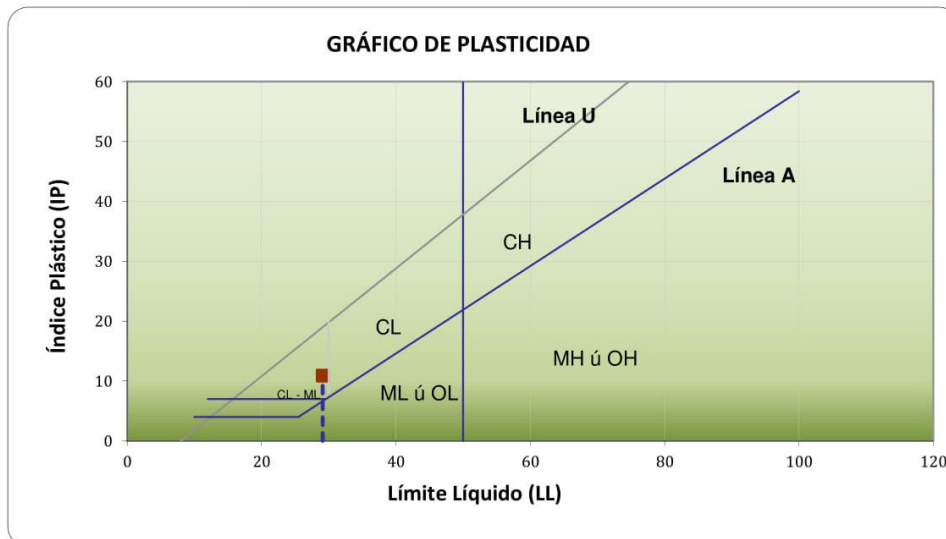
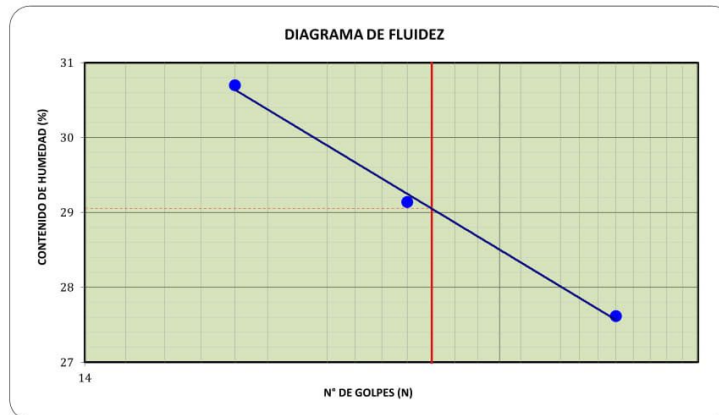
**Profundidad (mts.)** : 3.20 **Coordenadas** : ----

### Límites de Atterberg

**LL (%)**: 29.1

**LP (%)**: 18.2

**IP (%)**: 10.9



**Nota:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

## LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

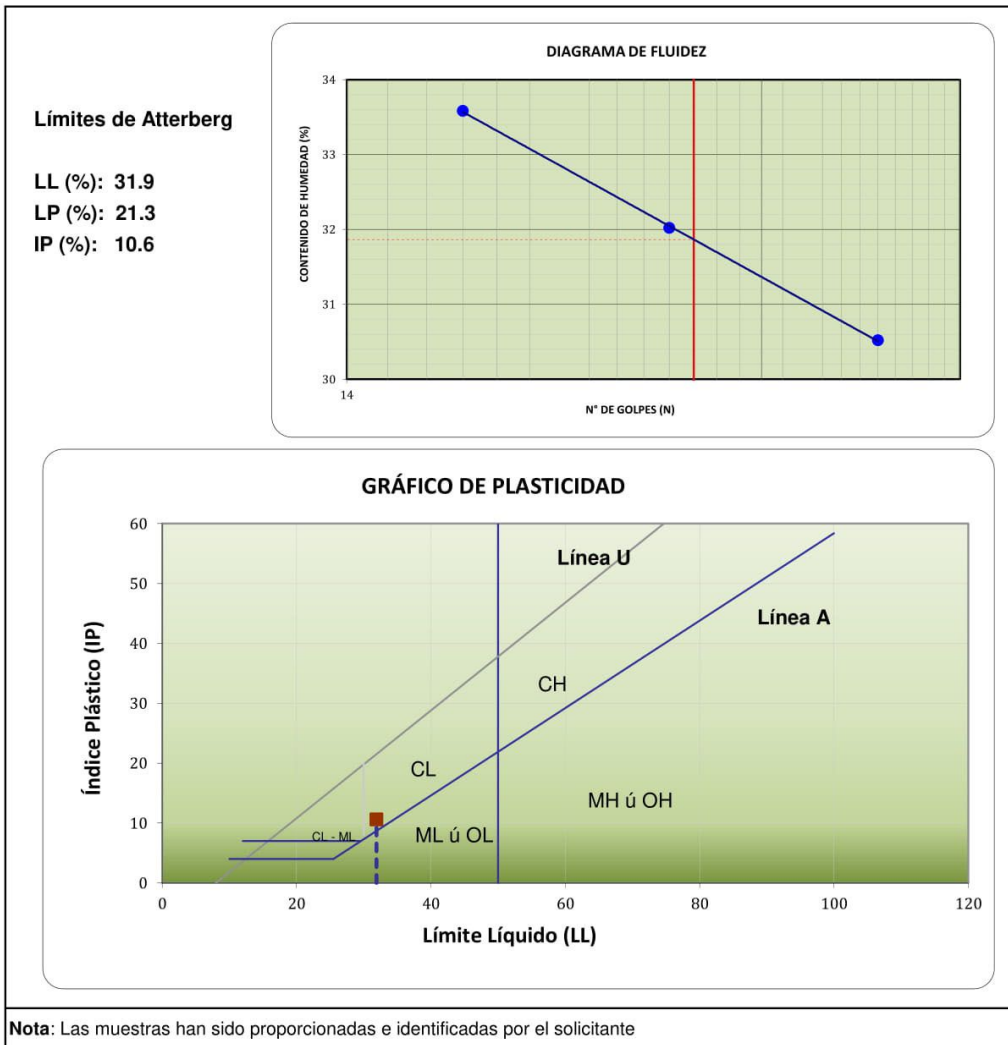
**Ubicación** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosics

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 08 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.30 **Coordenadas** : ----



**LÍMITES DE ATTERBERG  
ASTM - D4318**

**Proyecto** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**Solicitante** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

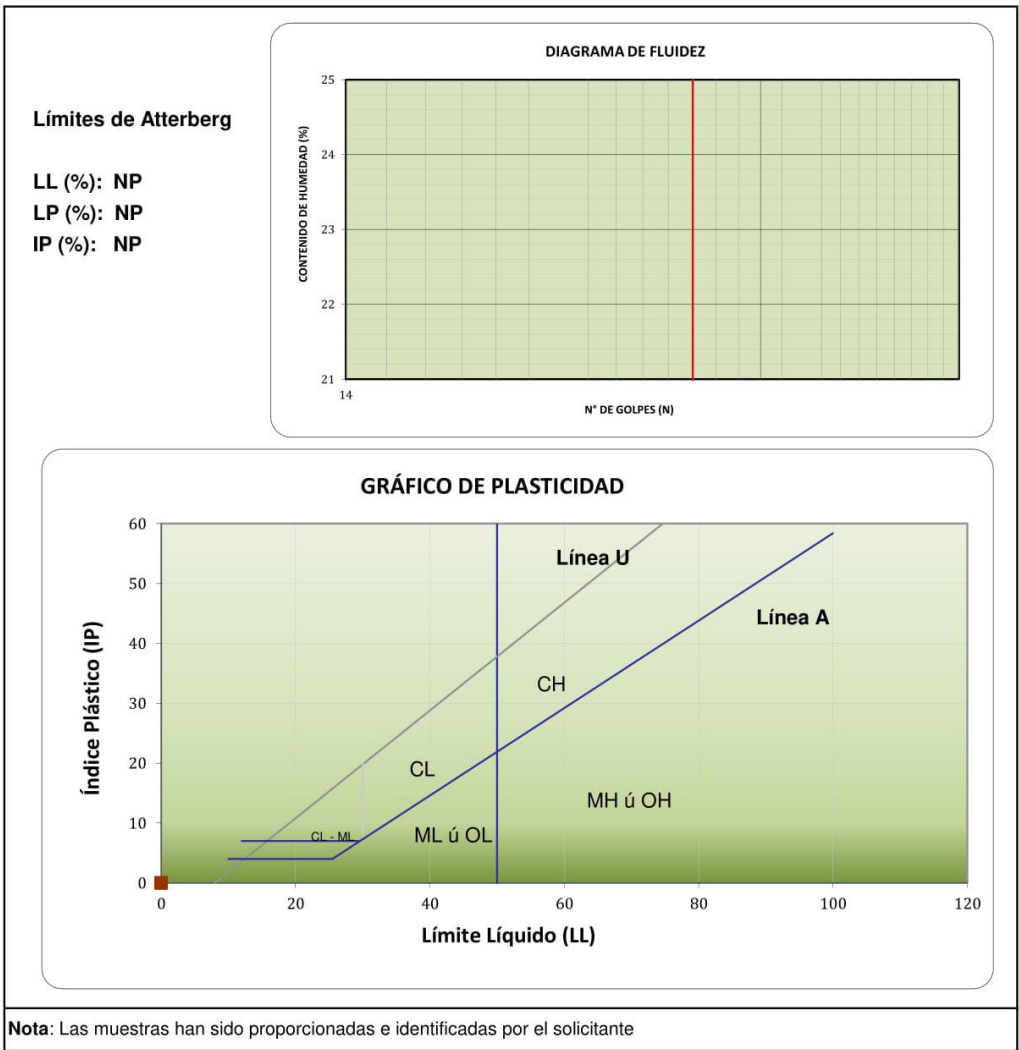
**Ubicación** : Carretera Cenrral Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : ---

**Sondeo** : C - 09 **Fecha** : Diciembre - 2019

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (mts.)** : 3.00 **Coordenadas** : ----





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 04 de Diciembre 2019

**RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DEL SUELO**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-01
<b>Muestra</b>	:	Inalterada
<b>Profundidad</b>	:	2.70 m

DESCRIPCIÓN	E-1	E-2	E-3
Peso del suelo tallado húmedo (gr)	354.50	386.80	362.30
Peso del suelo + parafina (gr)	379.50	414.00	374.00
Peso del suelo + parafina (sumergido) (gr)	201.00	220.50	202.50
Volumen del suelo + parafina (cm3)	202.13	239.25	190.00
Densidad de la parafina (gr/cm3)	0.96	0.96	0.96
Volumen de la parafina (gr/cm3)	27.13	64.25	15.00
Volumen del suelo tallado húmedo (gr/cm3)	175.00	175.00	175.00
Contenido de Humedad (%)	7.68	8.62	10.09
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.026	2.210	2.070
Densidad seca (gr/cm3)	1.881	2.035	1.881
Peso del suelo seco (gr)	329.22	356.10	329.09
Gravedad específica de sólidos	2.57	2.57	2.57
Volumen del suelo seco (cm3)	128.10	138.56	128.05
Volumen de vacíos (cm3)	46.90	36.44	46.95
Volumen del agua (cm3)	25.284	30.696	33.206
Relación de vacíos (e)	0.366	0.263	0.367
Porosidad (n)	26.800	20.822	26.827
Grado de saturación (S)	53.910	84.242	70.729

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	
Peso de Tara (gr)	15.00	14.50
Peso de muestra húmeda + tara (gr)	47.50	45.00
Peso de muestra seca + tara (gr)	45.00	43.00
Contenido de Humedad Parcial (%)	8.33	7.02
Contenido de Humedad (%)	7.68	

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado inalterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 04 de Diciembre 2019

**RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DEL SUELO**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-05
<b>Muestra</b>	:	Inalterada
<b>Profundidad</b>	:	2.80 m

DESCRIPCIÓN	E-1	E-2	E-3
Peso del suelo tallado húmedo (gr)	252.00	248.00	239.50
Peso del suelo + parafina (gr)	264.00	259.00	252.00
Peso del suelo + parafina (sumergido) (gr)	162.50	152.00	147.50
Volumen del suelo + parafina (cm <sup>3</sup> )	140.6	140.6	140.60
Densidad de la parafina (gr/cm <sup>3</sup> )	0.96	0.96	0.96
Volumen de la parafina (gr/cm <sup>3</sup> )	15.60	15.60	15.60
Volumen del suelo tallado húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	125.00	125.00	125.00
Contenido de Humedad (%)	9.40	11.20	10.17
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.016	1.984	1.916
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.843	1.784	1.739
Peso del suelo seco (gr)	230.347	223.022	217.391
Gravedad específica de sólidos	2.61	2.61	2.61
Volumen del suelo seco (cm <sup>3</sup> )	88.26	85.45	83.29
Volumen de vacíos (cm <sup>3</sup> )	36.74	39.55	41.71
Volumen del agua (cm <sup>3</sup> )	21.653	24.978	22.109
Relación de vacíos (e)	0.416	0.463	0.501
Porosidad (n)	29.395	31.641	33.367
Grado de saturación (S)	58.928	63.155	53.008

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	
Peso de Tara (gr)	14.50	14.50
Peso de muestra húmeda + tara (gr)	47.00	46.00
Peso de muestra seca + tara (gr)	44.00	43.50
Contenido de Humedad Parcial (%)	10.17	8.62
Contenido de Humedad (%)	9.40	

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado inalterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella MaTra Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 05 de Diciembre 2019

**RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DEL SUELO**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-06
<b>Muestra</b>	:	Inalterada
<b>Profundidad</b>	:	2.60 m

DESCRIPCIÓN	E-1	E-2	E-3
Peso del suelo tallado húmedo (gr)	309.00	274.00	344.00
Peso del suelo + parafina (gr)	318.50	283.00	357.00
Peso del suelo + parafina (sumergido) (gr)	208.50	192.00	225.50
Volumen del suelo + parafina (cm3)	210.70	187.20	214.50
Densidad de la parafina (gr/cm3)	0.96	0.96	0.96
Volumen de la parafina (gr/cm3)	35.70	12.20	39.50
Volumen del suelo tallado húmedo (gr/cm3)	175.00	175.00	175.00
Contenido de Humedad (%)	13.47	10.53	14.28
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.766	1.566	1.966
Densidad seca (gr/cm3)	1.556	1.417	1.720
Peso del suelo seco (gr)	272.319	247.896	301.015
Gravedad específica de sólidos	2.64	2.64	2.64
Volumen del suelo seco (cm3)	103.15	93.90	114.02
Volumen de vacíos (cm3)	71.85	81.10	60.98
Volumen del agua (cm3)	36.681	26.104	42.985
Relación de vacíos (e)	0.697	0.864	0.535
Porosidad (n)	41.057	46.343	34.845
Grado de saturación (S)	51.053	32.187	70.491

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	
Peso de Tara (gr)	14.00	14.50
Peso de muestra húmeda + tara (gr)	45.50	46.00
Peso de muestra seca + tara (gr)	42.50	43.00
Contenido de Humedad Parcial (%)	10.53	10.53
Contenido de Humedad (%)	10.53	

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado inalterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 05 de Diciembre 2019

**RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DEL SUELO**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-07
<b>Muestra</b>	:	Inalterada
<b>Profundidad</b>	:	2.80 m

DESCRIPCIÓN	E-1	E-2	E-3
Peso del suelo tallado humedo (gr)	436.00	386.00	362.00
Peso del suelo + parafina (gr)	448.00	398.00	378.00
Peso del suelo + parafina (sumergido) (gr)	241.00	216.00	209.50
Volumen del suelo + parafina (cm3)	247.50	245.00	213.75
Densidad de la parafina (gr/cm3)	0.96	0.96	0.96
Volumen de la parafina (gr/cm3)	13.75	1.80	3.75
Volumen del suelo tallado húmedo (gr/cm3)	233.75	243.20	210.00
Contenido de Humedad (%)	15.28	17.42	18.4
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.865	1.587	1.724
Densidad seca (gr/cm3)	1.618	1.352	1.456
Peso del suelo seco (gr)	378.210	328.734	305.743
Gravedad específica de sólidos	2.74	2.74	2.74
Volumen del suelo seco (cm3)	138.03	119.98	111.59
Volumen de vacíos (cm3)	95.72	123.22	98.41
Volumen del agua (cm3)	57.790	57.266	56.257
Relación de vacíos (e)	0.693	1.027	0.882
Porosidad (n)	40.949	50.668	46.864
Grado de saturación (S)	60.376	46.473	57.163

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	
Peso de Tara (gr)	16.00	14.00
Peso de muestra húmeda + tara (gr)	41.00	42.00
Peso de muestra seca + tara (gr)	37.50	38.50
Contenido de Humedad Parcial (%)	16.28	14.29
Contenido de Humedad (%)	15.28	

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado inalterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Florencia Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 05 de Diciembre 2019

**RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DEL SUELO**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-08
<b>Muestra</b>	:	Inalterada
<b>Profundidad</b>	:	2.90 m

DESCRIPCIÓN	E-1	E-2	E-3
Peso del suelo tallado húmedo (gr)	347.00	341.50	360.00
Peso del suelo + parafina (gr)	366.50	356.50	379.00
Peso del suelo + parafina (sumergido) (gr)	241.00	208.00	223.00
Volumen del suelo + parafina (cm3)	194.69	189.64	199.83
Densidad de la parafina (gr/cm3)	0.96	0.96	0.96
Volumen de la parafina (gr/cm3)	19.69	14.64	24.83
Volumen del suelo tallado húmedo (gr/cm3)	175.00	175.00	175.00
Contenido de Humedad (%)	20.41	20.41	20.18
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.983	1.951	2.057
Densidad seca (gr/cm3)	1.647	1.621	1.712
Peso del suelo seco (gr)	288.182	283.614	299.551
Gravedad específica de sólidos	2.66	2.66	2.66
Volumen del suelo seco (cm3)	108.34	106.62	112.61
Volumen de vacíos (cm3)	66.66	68.38	62.39
Volumen del agua (cm3)	58.818	57.886	60.449
Relación de vacíos (e)	0.615	0.641	0.554
Porosidad (n)	38.092	39.073	35.650
Grado de saturación (S)	88.235	84.655	96.894

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	
Peso de Tara (gr)	14.50	14.00
Peso de muestra húmeda + tara (gr)	45.00	46.00
Peso de muestra seca + tara (gr)	40.00	40.50
Contenido de Humedad Parcial (%)	19.61	20.75
Contenido de Humedad (%)	20.18	

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado inalterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 05 de Diciembre 2019

**RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DEL SUELO**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-09
<b>Muestra</b>	:	Inalterada
<b>Profundidad</b>	:	2.60 m

DESCRIPCIÓN	E-1	E-2	E-3
Peso del suelo tallado húmedo (gr)	306.50	304.00	327.00
Peso del suelo + parafina (gr)	315.50	319.00	345.50
Peso del suelo + parafina (sumergido) (gr)	183.00	198.00	214.00
Volumen del suelo + parafina (cm3)	187.20	189.80	189.20
Densidad de la parafina (gr/cm3)	0.96	0.96	0.96
Volumen de la parafina (gr/cm3)	12.20	14.80	14.20
Volumen del suelo tallado húmedo (gr/cm3)	175.00	175.00	175.00
Contenido de Humedad (%)	21.46	18.56	21.27
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.751	1.737	1.869
Densidad seca (gr/cm3)	1.442	1.465	1.541
Peso del suelo seco (gr)	252.346	256.410	269.646
Gravedad específica de sólidos	2.67	2.67	2.67
Volumen del suelo seco (cm3)	94.51	96.03	100.99
Volumen de vacíos (cm3)	80.49	78.97	74.01
Volumen del agua (cm3)	54.154	47.590	57.354
Relación de vacíos (e)	0.852	0.822	0.733
Porosidad (n)	45.993	45.124	42.291
Grado de saturación (S)	67.281	60.266	77.496

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
Peso de Tara (gr)	14.50    14.00
Peso de muestra húmeda + tara (gr)	45.00    46.00
Peso de muestra seca + tara (gr)	40.00    40.50
Contenido de Humedad Parcial (%)	19.61    20.75
Contenido de Humedad (%)	20.18

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado inalterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 2 de Diciembre del 2019

**DENSIDAD IN-SITU MEDIANTE EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA**  
**(ASTM D 1556)**

DESCRIPCIÓN	PUNTOS DE CONTROL		
	C-2	C-03A	C-4
Calicata			
Profundidad	2.80 m	3.50 m	3.55 m

**Densidad Húmeda**

Peso del frasco + arena	(gr)	5926.00	5663.00	6126.00
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	819.00	2048.00	2095.00
Peso de la arena en el cono	(gr)	1505.67	1505.67	1505.67
Densidad de la arena	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.28	1.28	1.28
Peso del recipiente + suelo + grava	(gr)	7159.00	3290.00	3095.00
Peso del recipiente	(gr)	225.00	225.00	225.00
Peso del suelo + grava	(gr)	6934.00	3065.00	2870.00
Peso del retenido en la malla 3/4"	(gr)	2470.00	151.00	243.00
Peso específico de la grava	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.65	2.65	2.65

**Contenido de Humedad**

Peso del recipiente + suelo húmedo	(gr)	124.39	122.21	103.10
Peso del recipiente + suelo seco	(gr)	121.25	119.56	99.59
Peso del agua	(gr)	3.14	2.65	3.51
Peso del recipiente	(gr)	14.34	14.83	14.52
Peso del suelo seco	(gr)	106.91	104.73	85.07
Contenido de Humedad	(%)	2.94	2.53	4.13

**Resultados**

Densidad Húmeda	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.37	1.83	1.40
Contenido de Humedad	(%)	2.94	2.53	4.13
Densidad Seca	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.30	1.79	1.34

**Nota:**

1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 16 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

Identificación de la muestra

Calicata	:	C-01
Muestra	:	Alterada
Profundidad	:	3.30 m

Determinación de la curva de calibración

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	139.15	139.15	139.15	139.15
Peso de Picnómetro + Agua	636.50	635.50	634.50	633.50
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	21.1	33.6	39.3	44.0
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.998	0.995	0.993	0.991
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>637.630</b>	<b>635.863</b>	<b>634.812</b>	<b>633.801</b>

Determinación de la gravedad específica

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	G-4	A	N
Peso de Picnómetro	139.15	197.88	153.4
Peso de Picnómetro + suelo + agua	667.5	726	682
Peso de picnómetro + agua calibrado	636.489	694.273	651.610
Peso del recipiente	161	90.81	223
Peso del recipiente + suelo seco	210.5	144.5	272.5
Peso de suelo seco	49.5	53.69	49.5
Gravedad específica parcial	2.68	2.44	2.59
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.57</b>		

Nota:

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 17 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-02
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	2.80 m

**Determinación de la curva de calibración**

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	139.5	139.5	139.5	139.5
Peso de Picnómetro + Agua	637	635.5	634.5	633
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	19.2	31.6	40.5	46.9
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.99837	0.995218	0.992055	0.989404
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>638.189</b>	<b>636.551</b>	<b>634.926</b>	<b>633.569</b>

**Determinación de la gravedad específica**

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	G-4	A	B
Peso de Picnómetro	139.5	198	146.5
Peso de Picnómetro + suelo + agua	699.5	758	706.5
Peso de picnómetro + agua calibrado	636.842	695.235	643.954
Peso del recipiente	154	212	213
Peso del recipiente + suelo seco	254	310.5	312
Peso de suelo seco	100	98.5	99
Gravedad específica parcial	2.68	2.76	2.72
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.72</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 17 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-03A
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.50 m

**Determinación de la curva de calibración**

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	155	155	155	155
Peso de Picnómetro + Agua	653	651.5	650	649
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	19.1	31.3	38.6	44.9
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.998	0.995	0.993	0.989
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>653.739</b>	<b>652.101</b>	<b>650.797</b>	<b>649.079</b>

**Determinación de la gravedad específica**

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	C	D	F
Peso de Picnómetro	155	154	154.5
Peso de Picnómetro + suelo + agua	684	682	682
Peso de picnómetro + agua calibrado	652.989	651.508	650.878
Peso del recipiente	156.5	213.5	126.5
Peso del recipiente + suelo seco	206.5	260	175.5
Peso de suelo seco	50	46.5	49
Gravedad específica parcial	2.63	2.90	2.74
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.76</b>		

**Note:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 17 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-04
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.55 m

**Determinación de la curva de calibración**

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	158	158	158	158
Peso de Picnómetro + Agua	654.5	653.5	652.5	651
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	18	34.4	39.9	46.4
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.999	0.994	0.992	0.990
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>656.810</b>	<b>654.573</b>	<b>653.545</b>	<b>652.182</b>

**Determinación de la gravedad específica**

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	E	G	H
Peso de Picnómetro	158	166.5	149
Peso de Picnómetro + suelo + agua	686	695.5	708
Peso de picnómetro + agua calibrado	654.566	664.695	645.484
Peso del recipiente	154	132	221.5
Peso del recipiente + suelo seco	203	181	319.5
Peso de suelo seco	49	49	98
Gravedad específica parcial	2.79	2.69	2.76
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.75</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 17 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-05
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.20 m

**Determinación de la curva de calibración**

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	159	159	159	159
Peso de Picnómetro + Agua	656.5	656	654.5	653.5
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	17.8	28.4	34.2	39.2
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.999	0.996	0.994	0.993
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>657.826</b>	<b>656.518</b>	<b>655.609</b>	<b>654.682</b>

**Determinación de la gravedad específica**

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	I	J	K
Peso de Picnómetro	159	167.5	165
Peso de Picnómetro + suelo + agua	687.5	695.5	692.5
Peso de picnómetro + agua calibrado	656.859	664.691	663.042
Peso del recipiente	130	160	94
Peso del recipiente + suelo seco	179	209	143.5
Peso de suelo seco	49	49	49.5
Gravedad específica parcial	2.67	2.69	2.47
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.61</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 17 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-05
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.20 m

**Determinación de la curva de calibración**

<b>Descripción</b>	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>	<b>T-4</b>
Peso de Picnómetro	159	159	159	159
Peso de Picnómetro + Agua	656.5	656	654.5	653.5
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	17.8	28.4	34.2	39.2
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coeficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.999	0.996	0.994	0.993
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>657.826</b>	<b>656.518</b>	<b>655.609</b>	<b>654.682</b>

**Determinación de la gravedad específica**

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
N° de Picnómetro	I	J	K
Peso de Picnómetro	159	167.5	165
Peso de Picnómetro + suelo + agua	687.5	695.5	692.5
Peso de picnómetro + agua calibrado	656.859	664.691	663.042
Peso del recipiente	130	160	94
Peso del recipiente + suelo seco	179	209	143.5
Peso de suelo seco	49	49	49.5
Gravedad específica parcial	2.67	2.69	2.47
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.61</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 17 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-06
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.00 m

**Determinación de la curva de calibración**

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	152.5	152.5	152.5	152.5
Peso de Picnómetro + Agua	649.5	648.5	647.5	646
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	21.1	32.2	39.2	44.7
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.998	0.995	0.993	0.990
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>650.980</b>	<b>649.451</b>	<b>648.182</b>	<b>647.051</b>

**Determinación de la gravedad específica**

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	L	M	N
Peso de Picnómetro	152.5	161.5	166
Peso de Picnómetro + suelo + agua	712	721	683
Peso de picnómetro + agua calibrado	649.642	658.425	663.770
Peso del recipiente	118	153	161
Peso del recipiente + suelo seco	217	252	193
Peso de suelo seco	99	99	32
Gravedad específica parcial	2.70	2.72	2.51
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.64</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Matra Zapata Antasana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 18 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-07
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.20 m

**Determinación de la curva de calibración**

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	198	198	198	198
Peso de Picnómetro + Agua	694.5	693.5	692.5	692
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	20.1	29.9	34.6	41.3
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.998	0.996	0.994	0.992
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>696.595</b>	<b>695.291</b>	<b>694.537</b>	<b>693.264</b>

**Determinación de la gravedad específica**

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	A	B	C
Peso de Picnómetro	198	146.5	155
Peso de Picnómetro + suelo + agua	726	675	684
Peso de picnómetro + agua calibrado	694.511	644.451	651.734
Peso del recipiente	95	160.5	126.5
Peso del recipiente + suelo seco	144.5	210	176
Peso de suelo seco	49.5	49.5	49.5
Gravedad específica parcial	2.75	2.61	2.87
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.74</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 18 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-08
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.30 m

**Determinación de la curva de calibración**

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	154	154	154	154
Peso de Picnómetro + Agua	651.5	650.5	649.5	649
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	19.2	26.7	32.3	39.1
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.998	0.997	0.995	0.993
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>652.689</b>	<b>651.767</b>	<b>650.703</b>	<b>649.701</b>

**Determinación de la gravedad específica**

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	D	E	F
Peso de Picnómetro	154	158	154.5
Peso de Picnómetro + suelo + agua	713	717	713.5
Peso de picnómetro + agua calibrado	651.451	654.654	651.552
Peso del recipiente	130.5	154	154
Peso del recipiente + suelo seco	229.5	253.5	253
Peso de suelo seco	99	99.5	99
Gravedad específica parcial	2.64	2.68	2.67
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.66</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**SOLICITANTE** : Karla Chávez García y Geraldine Vega Castro  
**PROYECTO** : Tesis " Análisis de los asentamientos del suelo por carga estática en las zonas MDA del campus de la Universidad Peruana Unión sede Lima mediante el software Robot Structural y OptumG2".  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**FECHA DE ENSAYO** : 18 de Diciembre 2019

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA**  
**(ASTM D 854 - 02)**

**Identificación de la muestra**

<b>Calicata</b>	:	C-09
<b>Muestra</b>	:	Alterada
<b>Profundidad</b>	:	3.00 m

**Determinación de la curva de calibración**

Descripción	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso de Picnómetro	166.5	166.5	166.5	166.5
Peso de Picnómetro + Agua	664	663	662	661
Volumen calibrado de Picnómetro	500	500	500	500
Temperatura de Trabajo (T)	18.9	28.6	35.3	41.2
Temperatura de Calibración	20	20	20	20
Coefficiente térmica de expansión	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Peso unitario del agua a T	0.998	0.996	0.994	0.992
Peso unitario del aire a T	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Peso del picnómetro + agua</b>	<b>665.220</b>	<b>663.992</b>	<b>662.912</b>	<b>661.785</b>

**Determinación de la gravedad específica**

Descripción	M-1	M-2	M-3
N° de Picnómetro	D	E	F
Peso de Picnómetro	166.5	149	159
Peso de Picnómetro + suelo + agua	726.5	708	718.5
Peso de picnómetro + agua calibrado	663.921	645.685	656.509
Peso del recipiente	92.5	94	158
Peso del recipiente + suelo seco	192	194	257.5
Peso de suelo seco	99.5	100	99.5
Gravedad específica parcial	2.69	2.65	2.65
<b>Gravedad específica final (Gs)</b>	<b>2.67</b>		

**Nota:**

- 1) El presente documento no deberá reproducirse ni modificarse sin la autorización del laboratorio.
- 2) La muestra ensayada en estado alterado ha sido proporcionada por el cliente.



Ing. Fiorella Maira Zapata Antesana  
**JEFE DE LABORATORIO**

Carretera Central km. 19.5 Ñaña, Chosica – Perú  
 Teléfono: (511) 618-6300 Anexo: 2046 Fax: (511) 618-339  
 Casilla 3564 - Lima - Perú

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : --  
**Sondeo** : C - 01 **Fecha** : Enero - 2020  
**Muestra** : M - 1  
**Profundidad** : 3.30 mts **Clasificación SUCS** : CL  
**Diámetro** : 6.26 cm **Peso Suelo Seco** : 98.96 g  
**Altura** : 2.10 cm **Contenido Humeda** : 9.20 %  
**Área** : 30.78 cm<sup>2</sup> **Densidad Húmeda** : 1.91 g/cm<sup>3</sup>  
**Volumen** : 64.63 cm<sup>3</sup> **Densidad Seca** : 1.75 g/cm<sup>3</sup>  
**Estado** : Muestra Inalterada.

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz.	I (1.00 kg/cm <sup>2</sup> )		II (2.00 kg/cm <sup>2</sup> )		III (4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	16.50	0.07	104.30	0.47	168.40	0.76
3	10	0.10	33.40	0.15	113.60	0.51	203.60	0.92
4	25	0.25	49.90	0.23	130.30	0.59	245.40	1.11
5	50	0.50	66.20	0.30	144.20	0.66	291.00	1.32
6	75	0.75	82.00	0.37	169.10	0.77	324.90	1.48
7	100	1.00	106.80	0.49	196.50	0.90	350.10	1.60
8	125	1.25	114.60	0.53	208.20	0.95	366.70	1.68
9	150	1.50	130.30	0.60	221.40	1.02	382.80	1.76
10	200	2.00	137.70	0.64	224.60	1.04	402.10	1.86
11	250	2.50	149.60	0.70	232.50	1.08	412.30	1.92
12	300	3.00	156.60	0.73	237.30	1.11	418.50	1.96
13	350	3.50	163.50	0.77	244.70	1.15	424.40	2.00
14	400	4.00	173.70	0.82	250.30	1.19	434.20	2.06
15	450	4.50	175.50	0.84	274.70	1.31	469.10	2.24
16	500	5.00	176.10	0.85	288.90	1.39	482.80	2.32
17	600	6.00	176.60	0.86	291.60	1.42	492.80	2.40
18	700	7.00	177.80	0.88	294.50	1.45	506.70	2.50
19	800	8.00	179.80	0.90	295.20	1.48	512.00	2.56
20	900	9.00	184.60	0.94	295.20	1.50	512.60	2.60
21	1000	10.00	184.60	0.95	293.00	1.51	507.60	2.61
22	1100	11.00	184.00	0.96	290.40	1.51	501.00	2.61
23	1200	12.00	182.40	0.97	286.20	1.51	493.90	2.61
24	1300	13.00	178.60	0.96	282.10	1.51	486.90	2.61
25	1400	14.00	176.10	0.96	278.10	1.51	479.90	2.61
26	1500	15.00	173.50	0.96	274.00	1.51	472.80	2.61

**Carga Normal** : 30.8 Kg 61.5 Kg 123.0 Kg  
**Constante del Anillo** : 0.139

**ESFUERZOS**  
**Esfuerzo Normal** : 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Esfuerzo Cortante Máximo** : 0.97 Kg/cm<sup>2</sup> 1.51 Kg/cm<sup>2</sup> 2.61 Kg/cm<sup>2</sup>

**RESULTADOS**  
**Ángulo de Fricción Interna** : 28.8 Grados  
**Cohesión** : 0.42 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**  
 Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

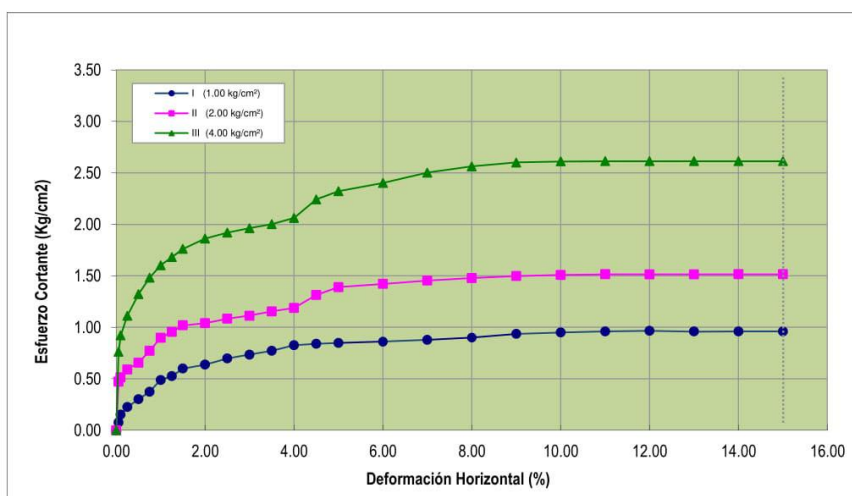
**Sector** : --

**Sondeo** : C - 01 **Fecha** : Enero - 2020

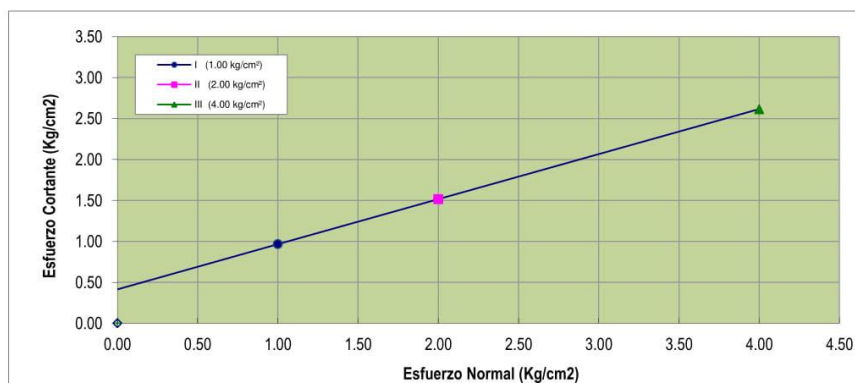
**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.3 mts **Clasificación SUCS** : CL

**GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE**



<b>RESULTADOS</b>	
Ángulo de Fricción Interna :	28.8 Grados
Cohesión :	0.42 kg/cm <sup>2</sup>

**Observaciones:**  
Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo.

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM - D 3080

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : --  
**Sondeo** : **C - 02** **Fecha** : Enero - 2020  
**Muestra** : **M - 1**  
**Profundidad** : **2.80** mts **Clasificación SUCS** : **GP**

**Diámetro** : 6.26 cm **Peso Suelo Seco** : 105.18 g  
**Altura** : 2.10 cm **Contenido Humeda** : 2.90 %  
**Área** : 30.78 cm<sup>2</sup> **Densidad Húmeda** : 1.91 g/cm<sup>3</sup>  
**Volumen** : 64.63 cm<sup>3</sup> **Densidad Seca** : 1.86 g/cm<sup>3</sup>  
**Estado** : Remoldeado (Material <Tamiz N°4).

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz.	I (1.00 kg/cm <sup>2</sup> )		II (2.00 kg/cm <sup>2</sup> )		III (4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	30.00	0.14	78.50	0.35	114.70	0.52
3	10	0.10	44.90	0.20	115.50	0.52	155.80	0.70
4	25	0.25	59.80	0.27	139.80	0.63	228.70	1.04
5	50	0.50	71.50	0.32	160.00	0.73	269.00	1.22
6	75	0.75	81.80	0.37	175.80	0.80	315.30	1.44
7	100	1.00	88.90	0.41	194.20	0.89	358.00	1.64
8	125	1.25	98.90	0.45	211.60	0.97	402.10	1.84
9	150	1.50	103.10	0.47	227.00	1.04	441.40	2.03
10	200	2.00	117.10	0.54	245.80	1.14	474.50	2.20
11	250	2.50	123.60	0.58	264.30	1.23	515.70	2.40
12	300	3.00	130.00	0.61	274.60	1.29	530.20	2.49
13	350	3.50	133.60	0.63	280.60	1.32	549.10	2.59
14	400	4.00	136.90	0.65	284.30	1.35	558.50	2.65
15	450	4.50	139.50	0.67	284.80	1.36	563.40	2.69
16	500	5.00	142.20	0.68	284.80	1.37	564.70	2.72
17	600	6.00	134.80	0.66	281.00	1.37	561.00	2.73
18	700	7.00	130.40	0.64	273.40	1.35	549.70	2.71
19	800	8.00	124.60	0.62	269.70	1.35	538.10	2.69
20	900	9.00	122.90	0.62	264.60	1.34	530.60	2.69
21	1000	10.00	118.50	0.61	261.10	1.34	523.50	2.69
22	1100	11.00	116.90	0.61	257.40	1.34	516.30	2.69
23	1200	12.00	115.30	0.61	253.80	1.34	508.90	2.69
24	1300	13.00	113.60	0.61	250.20	1.34	501.70	2.69
25	1400	14.00	111.90	0.61	246.50	1.34	494.20	2.69
26	1500	15.00	110.30	0.61	243.00	1.34	487.10	2.69

**Carga Normal** : 30.8 Kg 61.5 Kg 123.0 Kg  
**Constante del Anillo** : 0.139

**ESFUERZOS**

**Esfuerzo Normal** : 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Esfuerzo Cortante Máximo** : 0.68 Kg/cm<sup>2</sup> 1.37 Kg/cm<sup>2</sup> 2.73 Kg/cm<sup>2</sup>

**RESULTADOS**

**Ángulo de Fricción Interna** : 34.3 Grados  
**Cohesión** : 0.00 kg/cm<sup>2</sup>

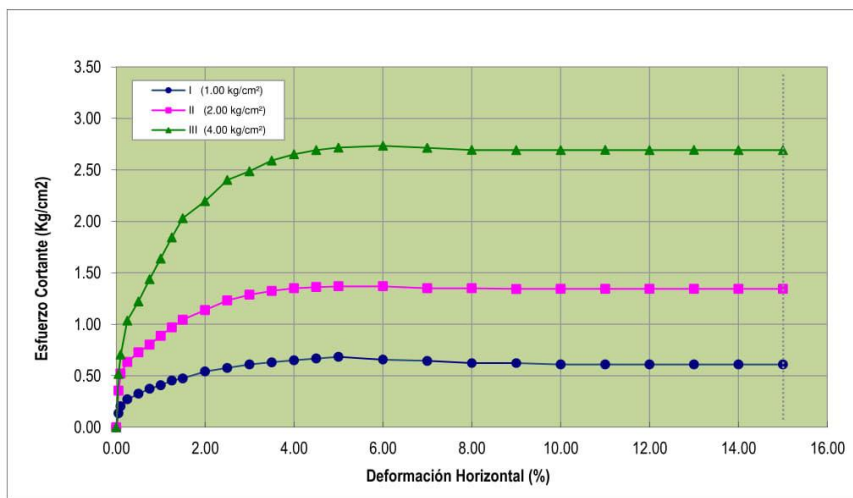
**Observaciones:**

Los especímenes se remoldearon con el 85% de la densidad proporcionada por el cliente

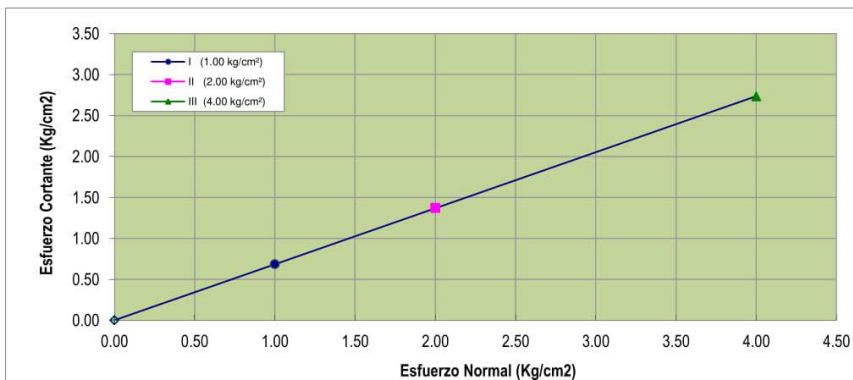
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : --  
**Sondeo** : C - 02 Fecha : Enero - 2020  
**Muestra** : M - 1  
**Profundidad** : 2.80 mts Clasificación SUCS : GP

**GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE**



<b>RESULTADOS</b>	
Ángulo de Fricción Interna :	34.3 Grados
Cohesión :	0.00 kg/cm²

**Observaciones:**  
 Los especímenes se remoldearon con el 85% de la densidad proporcionada por el cliente

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : --  
**Sondeo** : C - 03A **Fecha** : Enero - 2020  
**Muestra** : M - 1  
**Profundidad** : 3.00 mts **Clasificación SUCS** : CL  
**Diámetro** : 6.26 cm **Peso Suelo Seco** : 99.53 g  
**Altura** : 2.10 cm **Contenido Humeda** : 2.50 %  
**Área** : 30.78 cm<sup>2</sup> **Densidad Húmeda** : 1.80 g/cm<sup>3</sup>  
**Volumen** : 64.63 cm<sup>3</sup> **Densidad Seca** : 1.76 g/cm<sup>3</sup>  
**Estado** : Remoldeado (Material <Tamiz N°4).

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz.	I (1.00 kg/cm <sup>2</sup> )		II (2.00 kg/cm <sup>2</sup> )		III (4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	16.30	0.07	106.20	0.48	173.90	0.79
3	10	0.10	33.10	0.15	115.60	0.52	210.30	0.95
4	25	0.25	49.40	0.22	132.60	0.60	253.50	1.15
5	50	0.50	65.50	0.30	146.80	0.67	300.60	1.37
6	75	0.75	81.10	0.37	172.10	0.78	335.60	1.53
7	100	1.00	105.70	0.48	200.00	0.91	361.60	1.65
8	125	1.25	113.40	0.52	211.90	0.97	378.80	1.74
9	150	1.50	128.90	0.59	225.40	1.04	395.40	1.82
10	200	2.00	136.30	0.63	228.60	1.06	415.30	1.92
11	250	2.50	148.00	0.69	236.70	1.10	425.90	1.98
12	300	3.00	155.00	0.73	241.60	1.13	432.30	2.03
13	350	3.50	161.80	0.76	249.10	1.18	438.40	2.07
14	400	4.00	171.90	0.82	254.80	1.21	448.50	2.13
15	450	4.50	173.70	0.83	279.60	1.34	484.50	2.32
16	500	5.00	174.30	0.84	294.10	1.41	498.70	2.40
17	600	6.00	174.80	0.85	296.80	1.45	509.00	2.48
18	700	7.00	175.90	0.87	299.80	1.48	523.40	2.58
19	800	8.00	177.90	0.89	300.50	1.50	528.90	2.65
20	900	9.00	182.70	0.93	300.50	1.52	529.50	2.69
21	1000	10.00	182.70	0.94	298.20	1.53	524.30	2.70
22	1100	11.00	182.10	0.95	295.60	1.54	517.50	2.70
23	1200	12.00	180.50	0.96	291.30	1.54	510.20	2.70
24	1300	13.00	176.70	0.95	287.20	1.54	502.90	2.70
25	1400	14.00	174.30	0.95	283.10	1.54	495.70	2.70
26	1500	15.00	171.70	0.95	278.90	1.54	488.40	2.70

**Carga Normal** : 30.8 Kg 61.5 Kg 123.0 Kg  
**Constante del Anillo** : 0.139

**ESFUERZOS**

**Esfuerzo Normal** : 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Esfuerzo Cortante Máximo** : 0.96 Kg/cm<sup>2</sup> 1.54 Kg/cm<sup>2</sup> 2.70 Kg/cm<sup>2</sup>

**RESULTADOS**

**Ángulo de Fricción Interna** : 30.2 Grados  
**Cohesión** : 0.38 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

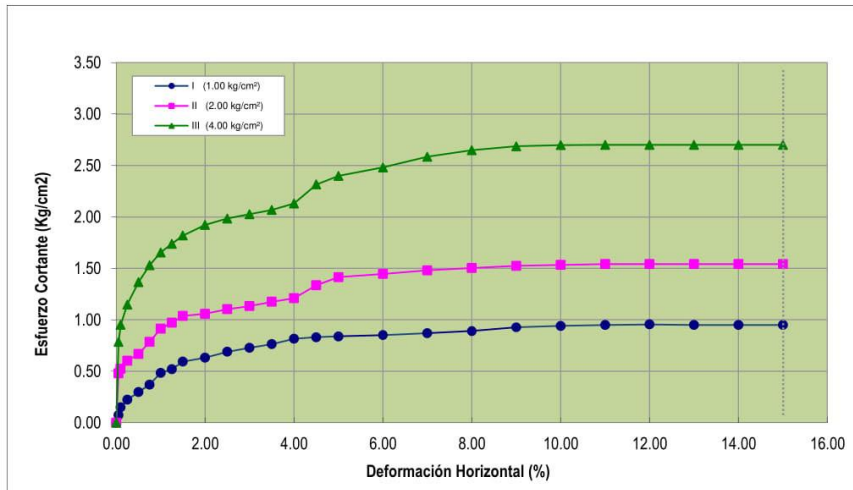
**Sector** : --

**Sondeo** : C-03A **Fecha** : Enero - 2020

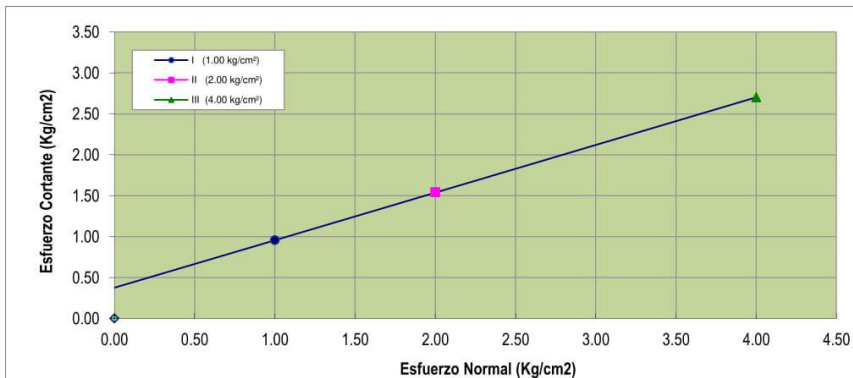
**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.00 mts **Clasificación SUCS** : CL

**GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**RESULTADOS**

Ángulo de Fricción Interna : 30.2 Grados  
Cohesión : 0.38 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Los especímenes se remodelaron con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM - D3080)  
CONSOLIDADO DRENADO**

INFORME N° : TC-004-COR-20-09-01-2020  
 SOLICITANTE : GERALDINE JESSARELA RAQUEL VEGA CASTRO Y KARLA E. CHÁVEZ GARCÍA  
 DIRECCIÓN : LIMA  
 PROYECTO : ANÁLISIS DE LOS ASENTAMIENTOS DEL SUELO POR CARGA ESTÁTICA EN LAS ZONAS MDA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN SEDE LIMA, MEDIANTE EL SOFTWARE ROBOT STRUCTURAL Y OPTUM G2  
 UBICACIÓN : CARRETERA CENTRAL KM 19.5 NAÑA, CHOSICA  
 CANTERA : --  
 CALICATA : C-03A  
 MUESTRA : M-2  
 PROFUNDIDAD (m) : 0.00 - 3.50  
 CLASIFICACIÓN (S.U.C.S.) : GP  
 TIPO DE MUESTRA : REMOLDEADO  
 CONDICIÓN DE HUMEDAD : SATURADA SIN INUNDACIÓN DE CELDA  
 APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL : PRUEBA DE DEFORMACIÓN CONTROLADA  
 TIPO DE DEFORMACIÓN : DISTORSIÓN PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA

FECHA DE RECEPCIÓN : 24/01/2020  
 FECHA DE ENSAYO : 25/01/2020  
 FECHA DE EMISIÓN : 25/01/2020

DATOS DEL ESPECIMEN	ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	2.12	2.08	2.12	2.03	2.12	1.98
Ancho (φ)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Total (γ <sub>t</sub> )	1.65	1.95	1.65	1.85	1.65	1.75
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	1.60	1.63	1.60	1.67	1.60	1.71
Humedad (ω)	3.31	19.41	3.31	10.76	3.31	2.33
Relación de Vacíos (e)	0.66	0.62	0.66	0.59	0.66	0.55
Grado de Saturación (S)	13.32	32.34	13.32	48.75	13.32	11.30
Velocidad Deformación Tangencial	(mm/min)	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87
Esfuerzo Normal	(Kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.00	1.00	1.50	1.50

Deform. Tangencial (%)	ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	
0.05	0.12	0.23	0.05	0.13	0.13	0.05	0.15	0.10	
0.10	0.14	0.27	0.10	0.16	0.16	0.10	0.18	0.12	
0.20	0.16	0.31	0.20	0.19	0.19	0.20	0.22	0.15	
0.35	0.16	0.33	0.35	0.23	0.23	0.35	0.30	0.20	
0.50	0.17	0.35	0.50	0.26	0.26	0.50	0.35	0.23	
0.75	0.20	0.41	0.75	0.31	0.31	0.75	0.41	0.27	
1.00	0.21	0.43	1.00	0.35	0.35	1.00	0.48	0.32	
1.25	0.22	0.45	1.25	0.37	0.37	1.25	0.52	0.34	
1.50	0.24	0.49	1.50	0.40	0.40	1.50	0.56	0.38	
1.75	0.25	0.51	1.75	0.42	0.42	1.75	0.59	0.40	
2.00	0.26	0.52	2.00	0.45	0.45	2.00	0.63	0.42	
2.50	0.28	0.56	2.50	0.49	0.49	2.50	0.70	0.47	
3.00	0.30	0.60	3.00	0.53	0.53	3.00	0.75	0.50	
3.50	0.33	0.66	3.50	0.58	0.58	3.50	0.83	0.55	
4.00	0.35	0.70	4.00	0.61	0.61	4.00	0.87	0.58	
4.50	0.37	0.74	4.50	0.64	0.64	4.50	0.92	0.61	
5.00	0.38	0.76	5.00	0.66	0.66	5.00	0.95	0.63	
6.00	0.42	0.84	6.00	0.72	0.72	6.00	1.01	0.68	
7.00	0.44	0.88	7.00	0.75	0.75	7.00	1.05	0.70	
8.00	0.44	0.88	8.00	0.76	0.76	8.00	1.08	0.72	
9.00	0.44	0.88	9.00	0.77	0.77	9.00	1.11	0.74	
10.00	0.44	0.88	10.00	0.79	0.79	10.00	1.14	0.76	
11.00	0.43	0.86	11.00	0.78	0.78	11.00	1.14	0.76	
12.00	0.44	0.88	12.00	0.79	0.79	12.00	1.14	0.76	
13.00	0.43	0.86	13.00	0.79	0.79	13.00	1.15	0.77	
14.00	0.43	0.86	14.00	0.79	0.79	14.00	1.15	0.77	
15.00	0.44	0.88	15.00	0.79	0.79	15.00	1.15	0.77	
16.00	0.42	0.84	16.00	0.78	0.78	16.00	1.15	0.77	
17.00	0.42	0.84	17.00	0.78	0.78	17.00	1.15	0.77	
18.00	0.42	0.84	18.00	0.78	0.78	18.00	1.14	0.76	
19.00			19.00			19.00			
20.00			20.00			20.00			
21.00			21.00			21.00			
22.00			22.00			22.00			
23.00			23.00			23.00			
24.00			24.00			24.00			
25.00			25.00			25.00			

OBSERVACION: La muestra ha sido ensayada en estado alterado, suelto y húmeda a temperatura ambiente proporcionada e identificada por la exploración de campo. El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, esto que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025:2005)

**ERICK GRANDEZ IBERICO**  
Técnico de Laboratorio  
Mecánica de Suelos

**Ing. Percy R. Tupla Córdova**  
Jefe de Laboratorio  
Mecánica de Suelos  
CIP: 112630

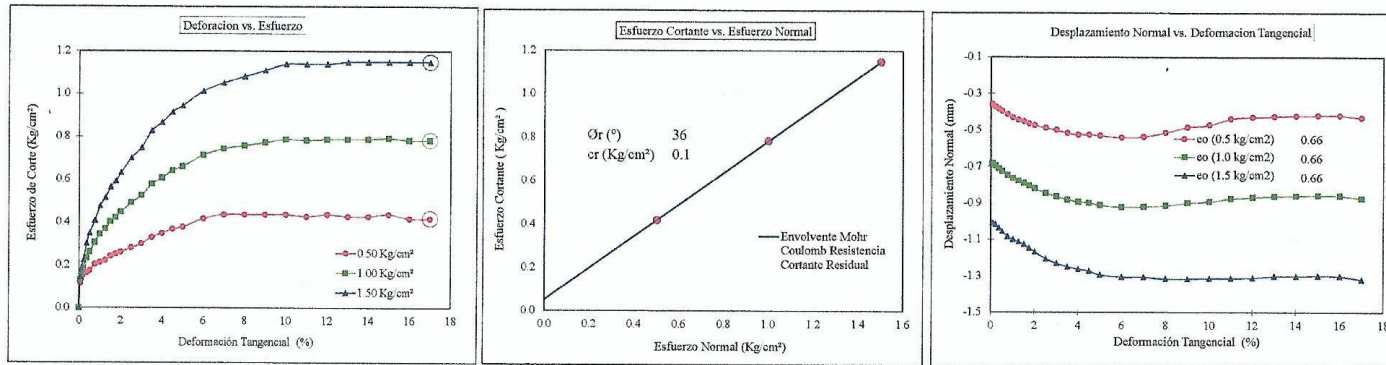
INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VÁLIDO ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 986552035 998022655

ingenieria@tcinge.com  
tcinge\_ssc@yahoo.es  
www.tcinge.com

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO (ASTM - D3080)  
CONSOLIDADO DRENADO**

INFORME N°	: TC-004-LG-20-09-01-2019	CANTERA	: --	TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADO
SOLICITANTE	: GERALDINE JESSARELA RAQUEL VEGA CASTRO Y KARLA E. CHÁVEZ GARCÍA	CALICATA	: C-03A	CONDICION DE HUMEDAD	: SATURADA SIN INUNDACION DE CELDA
DIRECCIÓN	: LIMA	MUESTRA	: M-2	APLICACIÓN DE LA FUERZA TANGENCIAL	: PRUEBA DE DEFORMACION CONTROLADA
PROYECTO	: ANÁLISIS DE LOS ASENTAMIENTOS DEL SUELO POR CARGA ESTÁTICA EN LAS ZONAS MDA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN SEDE LIMA, MEDIANTE EL SOFTWARE ROBOT STRUCTURAL Y OPTUM G2	PROFUNDIDAD (m)	: 0.00 - 3.50	TIPO DE DEFORMACION	: DISTORSION PRINCIPALMENTE, CON CIERTA DEFORMACION VOLUMETRICA
UBICACIÓN	: CARRETERA CENTRAL KM 19.5 NAÑA, CHOSICA	CLASIFICACION SUCS	: GP	FECHA DE EMISION	: 25/01/2020
FECHA DE RECEPCIÓN	: 24/01/2020	FECHA DE ENSAYO	: 25/01/2020		



OBSERVACION :

La muestra ha sido ensayada en estado alterado, suelto y húmeda a temperatura ambiente proporcionada e identificada por la exploración de campo. El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO IEX 17025-2006).  $\phi_r$ ,  $c_r$ , ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia residual, respectivamente.  $\phi_p$ ,  $c_p$  ángulo de fricción interna y cohesión de resistencia máxima, respectivamente.

ERICK GRANDEZ IBERICO  
Técnico de Laboratorio  
Mecánica de Suelos

Ing. Percy S. Tupla Córdova  
Jefe de Laboratorio  
Mecánica de Suelos  
CIP. 112630

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax : 01-5796223 Celular : 986552035 998022655  
ingenieria@toingo.com  
tcinge\_sac@yahoo.es  
www.tcinge.com

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : --  
**Sondeo** : **C - 04** **Fecha** : Enero - 2020  
**Muestra** : **M - 1**  
**Profundidad** : **3.55** mts **Clasificación SUCS** : **SC-SM**  
**Diámetro** : 6.26 cm **Peso Suelo Seco** : 95.57 g  
**Altura** : 2.10 cm **Contenido Humeda** : 4.10 %  
**Área** : 30.78 cm<sup>2</sup> **Densidad Húmeda** : 1.76 g/cm<sup>3</sup>  
**Volumen** : 64.63 cm<sup>3</sup> **Densidad Seca** : 1.69 g/cm<sup>3</sup>  
**Estado** : Remoldeado (Material <Tamiz N°4).

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz.	I (1.00 kg/cm <sup>2</sup> )		II (2.00 kg/cm <sup>2</sup> )		III (4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	73.80	0.33	70.20	0.32	98.30	0.44
3	10	0.10	80.50	0.36	77.70	0.35	128.50	0.58
4	25	0.25	87.10	0.39	98.30	0.45	245.20	1.11
5	50	0.50	103.70	0.47	130.40	0.59	304.70	1.38
6	75	0.75	112.10	0.51	162.00	0.74	351.70	1.60
7	100	1.00	123.60	0.57	183.40	0.84	384.60	1.76
8	125	1.25	134.30	0.62	199.90	0.92	416.80	1.91
9	150	1.50	149.00	0.69	218.90	1.01	433.80	2.00
10	200	2.00	156.40	0.72	241.30	1.12	460.40	2.13
11	250	2.50	169.80	0.79	262.00	1.22	482.40	2.25
12	300	3.00	180.80	0.85	278.90	1.31	492.30	2.31
13	350	3.50	178.90	0.84	287.00	1.35	502.10	2.37
14	400	4.00	178.10	0.85	290.50	1.38	511.10	2.43
15	450	4.50	176.40	0.84	292.80	1.40	517.10	2.47
16	500	5.00	174.90	0.84	291.90	1.40	525.80	2.53
17	600	6.00	176.00	0.86	289.50	1.41	536.50	2.61
18	700	7.00	175.20	0.87	290.50	1.43	542.40	2.68
19	800	8.00	175.20	0.88	289.50	1.45	540.80	2.71
20	900	9.00	174.10	0.88	287.70	1.46	536.50	2.72
21	1000	10.00	173.00	0.89	285.30	1.47	531.80	2.74
22	1100	11.00	171.90	0.90	285.30	1.49	528.70	2.76
23	1200	12.00	170.90	0.90	284.60	1.51	523.60	2.77
24	1300	13.00	166.40	0.89	282.70	1.52	519.30	2.79
25	1400	14.00	162.80	0.89	281.60	1.53	517.70	2.82
26	1500	15.00	155.00	0.86	278.90	1.54	509.90	2.82

**Carga Normal** : 30.8 Kg 61.5 Kg 123.0 Kg  
**Constante del Anillo** : 0.139

**ESFUERZOS**

**Esfuerzo Normal** : 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Esfuerzo Cortante Máximo** : 0.90 Kg/cm<sup>2</sup> 1.54 Kg/cm<sup>2</sup> 2.82 Kg/cm<sup>2</sup>

**RESULTADOS**

**Ángulo de Fricción Interna** : 32.6 Grados  
**Cohesión** : 0.27 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

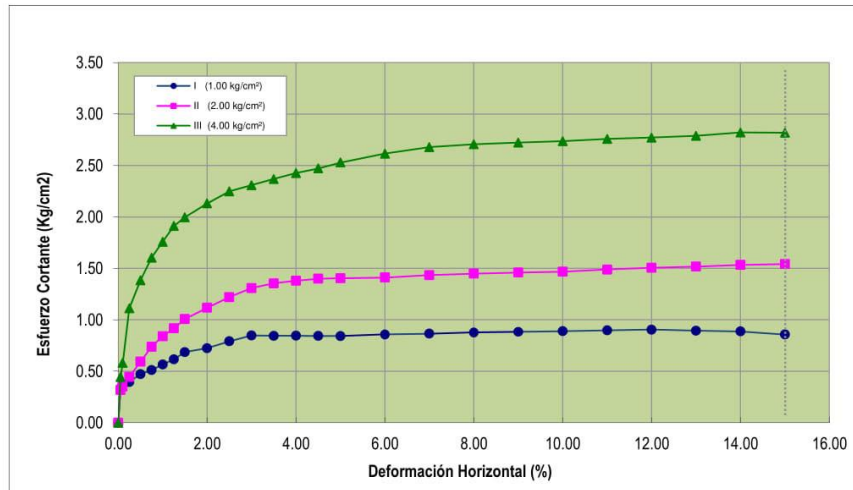
**Sector** : --

**Sondeo** : C - 04 **Fecha** : Enero - 2020

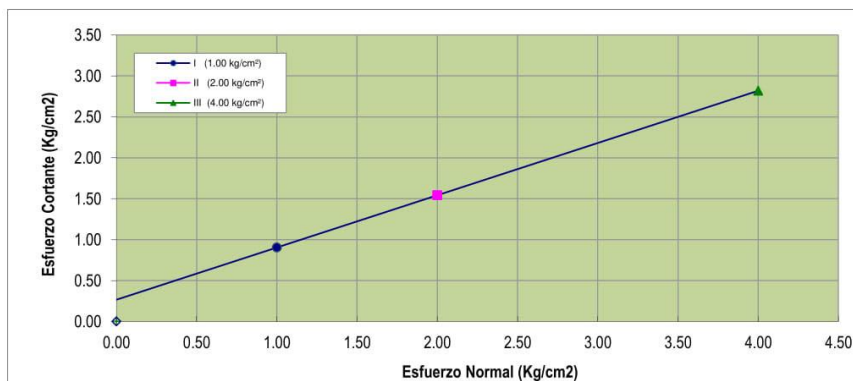
**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.55 mts **Clasificación SUCS** : SC-SM

**GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**RESULTADOS**

Ángulo de Fricción Interna : 32.6 Grados  
Cohesión : 0.27 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo.

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM - D 3080

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : --  
**Sondeo** : C - 05 Fecha : Enero - 2020  
**Muestra** : M - 1  
**Profundidad** : 3.20 mts **Clasificación SUCS** : SC-SM  
**Diámetro** : 6.26 cm **Peso Suelo Seco** : 91.05 g  
**Altura** : 2.10 cm **Contenido Humeda** : 8.90 %  
**Área** : 30.78 cm<sup>2</sup> **Densidad Húmeda** : 1.75 g/cm<sup>3</sup>  
**Volumen** : 64.63 cm<sup>3</sup> **Densidad Seca** : 1.61 g/cm<sup>3</sup>  
**Estado** : Muestra Inalterada.

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz.	I (1.00 kg/cm <sup>2</sup> )		II (2.00 kg/cm <sup>2</sup> )		III (4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	75.40	0.34	69.80	0.32	95.90	0.43
3	10	0.10	82.20	0.37	77.30	0.35	125.30	0.57
4	25	0.25	89.10	0.40	97.90	0.44	239.10	1.08
5	50	0.50	106.00	0.48	129.80	0.59	297.10	1.35
6	75	0.75	114.60	0.52	161.20	0.73	343.00	1.56
7	100	1.00	126.30	0.58	182.50	0.83	375.00	1.71
8	125	1.25	137.20	0.63	199.00	0.91	406.50	1.86
9	150	1.50	152.30	0.70	217.90	1.00	423.00	1.95
10	200	2.00	159.90	0.74	240.20	1.11	449.00	2.08
11	250	2.50	173.50	0.81	260.80	1.21	470.40	2.19
12	300	3.00	184.80	0.87	277.70	1.30	480.10	2.25
13	350	3.50	182.90	0.86	285.70	1.35	489.60	2.31
14	400	4.00	182.10	0.86	289.10	1.37	498.40	2.37
15	450	4.50	180.30	0.86	291.50	1.39	504.20	2.41
16	500	5.00	178.80	0.86	290.50	1.40	512.80	2.47
17	600	6.00	179.90	0.88	288.20	1.40	523.20	2.55
18	700	7.00	179.10	0.88	289.10	1.43	528.90	2.61
19	800	8.00	179.10	0.90	288.20	1.44	527.40	2.64
20	900	9.00	178.00	0.90	286.40	1.45	523.20	2.65
21	1000	10.00	176.90	0.91	284.00	1.46	518.60	2.67
22	1100	11.00	175.70	0.92	284.00	1.48	515.60	2.69
23	1200	12.00	174.60	0.92	283.30	1.50	510.60	2.70
24	1300	13.00	170.00	0.91	281.40	1.51	506.40	2.72
25	1400	14.00	166.40	0.91	280.30	1.53	504.90	2.75
26	1500	15.00	158.50	0.88	277.70	1.54	497.20	2.75

**Carga Normal** : 30.8 Kg 61.5 Kg 123.0 Kg  
**Constante del Anillo** : 0.139

**ESFUERZOS** :  
**Esfuerzo Normal** : 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Esfuerzo Cortante Máximo** : 0.92 Kg/cm<sup>2</sup> 1.54 Kg/cm<sup>2</sup> 2.75 Kg/cm<sup>2</sup>

**RESULTADOS** :  
**Ángulo de Fricción Interna** : 31.3 Grados  
**Cohesión** : 0.32 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Los especímenes se moldearon con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

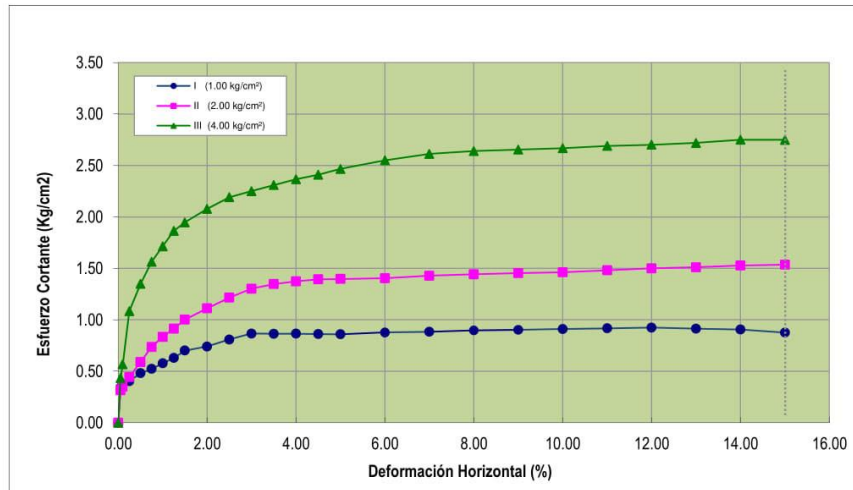
**Sector** : --

**Sondeo** : C - 05 **Fecha** : Enero - 2020

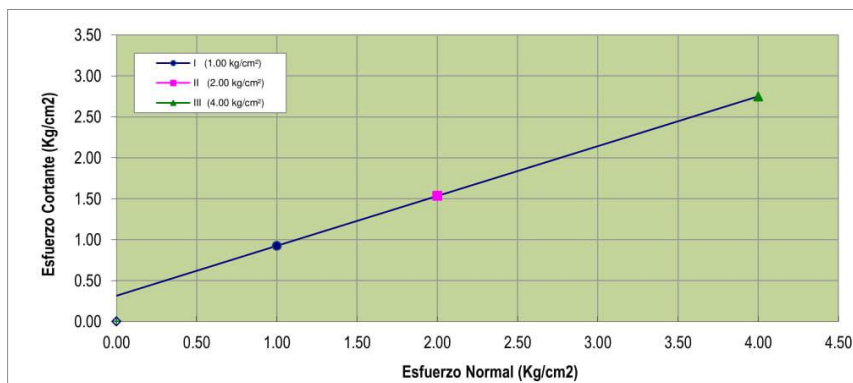
**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.2 mts **Clasificación SUCS** : SC-SM

**GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**RESULTADOS**

Ángulo de Fricción Interna : 31.3 Grados  
Cohesión : 0.32 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Los especímenes se remodelaron con la densidad natural del suelo.

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM - D 3080

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : -  
**Sondeo** : C - 06 Fecha : Enero - 2020  
**Muestra** : M - 1  
**Profundidad** : 3.00 mts **Clasificación SUCS** : ML  
**Diámetro** : 6.26 cm **Peso Suelo Seco** : 79.74 g  
**Altura** : 2.10 cm **Contenido Humeda** : 13.00 %  
**Área** : 30.78 cm<sup>2</sup> **Densidad Húmeda** : 1.59 g/cm<sup>3</sup>  
**Volumen** : 64.63 cm<sup>3</sup> **Densidad Seca** : 1.41 g/cm<sup>3</sup>  
**Estado** : Muestra Inalterada.

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz.	I (1.00 kg/cm <sup>2</sup> )		II (2.00 kg/cm <sup>2</sup> )		III (4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	20.00	0.09	112.80	0.51	168.60	0.76
3	10	0.10	40.40	0.18	122.90	0.56	203.70	0.92
4	25	0.25	60.10	0.27	141.00	0.64	245.50	1.11
5	50	0.50	79.80	0.36	156.20	0.71	291.10	1.32
6	75	0.75	98.80	0.45	183.10	0.83	324.80	1.48
7	100	1.00	128.50	0.59	212.70	0.97	350.10	1.60
8	125	1.25	137.90	0.63	225.40	1.03	366.80	1.68
9	150	1.50	157.00	0.72	239.60	1.10	383.00	1.76
10	200	2.00	166.00	0.77	243.10	1.13	402.20	1.86
11	250	2.50	180.20	0.84	251.60	1.17	412.50	1.92
12	300	3.00	188.60	0.88	257.00	1.20	418.50	1.96
13	350	3.50	197.00	0.93	265.10	1.25	424.60	2.00
14	400	4.00	209.30	0.99	271.00	1.29	434.30	2.06
15	450	4.50	211.50	1.01	297.40	1.42	469.40	2.24
16	500	5.00	212.20	1.02	312.80	1.50	482.90	2.32
17	600	6.00	212.80	1.04	315.80	1.54	493.00	2.40
18	700	7.00	214.10	1.06	318.90	1.57	506.70	2.50
19	800	8.00	216.70	1.08	319.70	1.60	512.00	2.56
20	900	9.00	222.20	1.13	319.70	1.62	512.80	2.60
21	1000	10.00	222.20	1.14	317.20	1.63	507.80	2.61
22	1100	11.00	221.60	1.16	314.30	1.64	501.10	2.61
23	1200	12.00	219.60	1.16	309.90	1.64	494.00	2.61
24	1300	13.00	215.10	1.15	305.50	1.64	487.00	2.61
25	1400	14.00	212.20	1.16	301.10	1.64	479.90	2.61
26	1500	15.00	209.00	1.16	296.70	1.64	473.00	2.61

**Carga Normal** : 30.8 Kg 61.5 Kg 123.0 Kg  
**Constante del Anillo** : 0.139

**ESFUERZOS** :  
**Esfuerzo Normal** : 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Esfuerzo Cortante Máximo** : 1.16 Kg/cm<sup>2</sup> 1.64 Kg/cm<sup>2</sup> 2.61 Kg/cm<sup>2</sup>

**RESULTADOS** :  
**Ángulo de Fricción Interna** : 25.8 Grados  
**Cohesión** : 0.68 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Los especímenes se remodelaron con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : --

**Sondeo** : C - 06 **Fecha** : Enero - 2020

**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3 mts **Clasificación SUCS** : ML

GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE

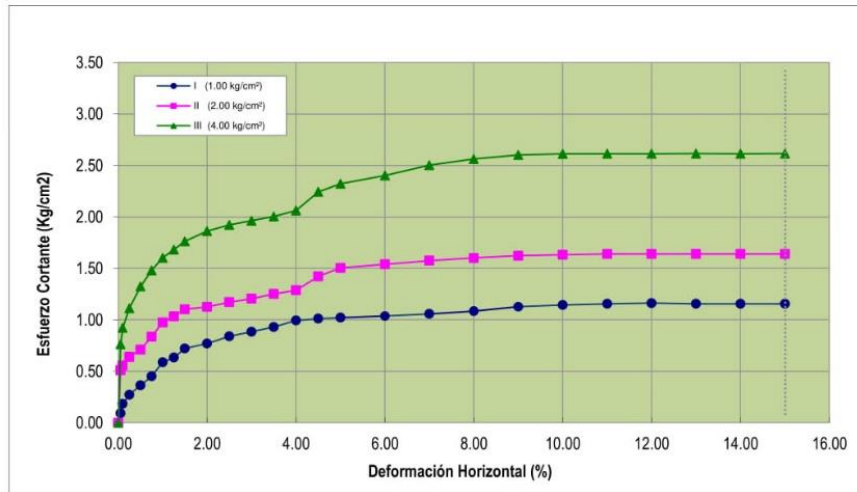
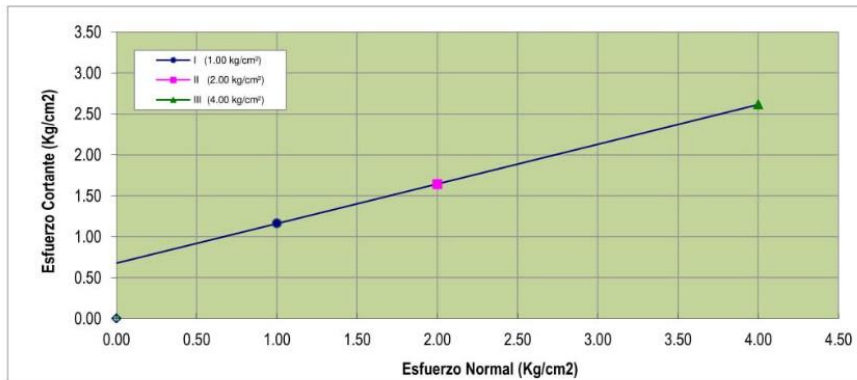


GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE



<b>RESULTADOS</b>	
Ángulo de Fricción Interna :	25.8 Grados
Cohesión :	0.68 kg/cm²

**Observaciones:**  
Los especímenes se remodelaron con la densidad natural del suelo.



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19,5 Ñaña, Chosica

**Sector** : --

**Sondeo** : C - 07 **Fecha** : Enero - 2020

**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.20 mts **Clasificación SUCS** : CL

GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE

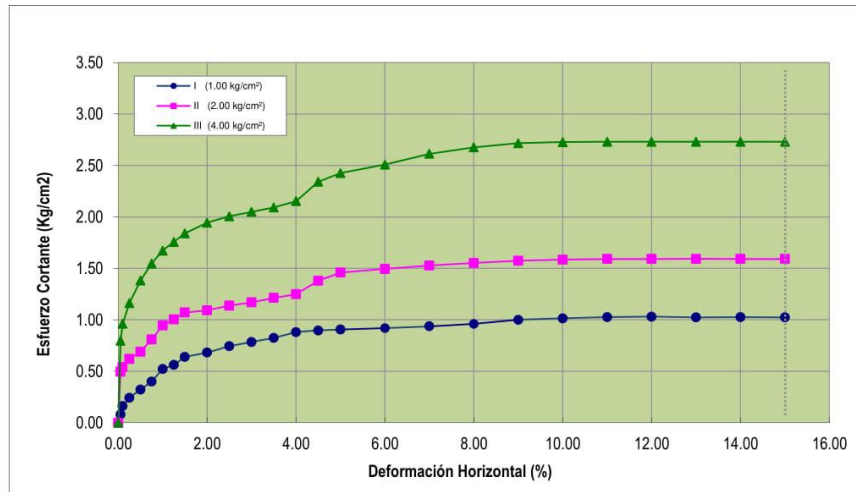
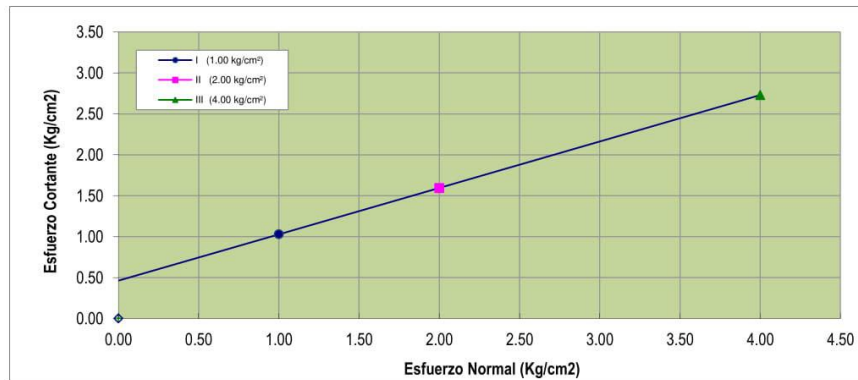


GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE



<b>RESULTADOS</b>	
Ángulo de Fricción Interna :	29.5 Grados
Cohesión :	0.46 kg/cm²

**Observaciones:**  
Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : -  
**Sondeo** : C - 08 **Fecha** : Enero - 2020  
**Muestra** : M - 1  
**Profundidad** : 3.30 mts **Clasificación SUCS** : CL  
**Diámetro** : 6.26 cm **Peso Suelo Seco** : 84.26 g  
**Altura** : 2.10 cm **Contenido Humeda** : 20.50 %  
**Área** : 30.78 cm<sup>2</sup> **Densidad Húmeda** : 1.80 g/cm<sup>3</sup>  
**Volumen** : 64.63 cm<sup>3</sup> **Densidad Seca** : 1.49 g/cm<sup>3</sup>  
**Estado** : Muestra Inalterada.

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz.	I (1.00 kg/cm <sup>2</sup> )		II (2.00 kg/cm <sup>2</sup> )		III (4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	16.60	0.08	101.90	0.46	162.40	0.73
3	10	0.10	33.60	0.15	111.00	0.50	196.20	0.89
4	25	0.25	50.10	0.23	127.10	0.58	236.60	1.07
5	50	0.50	66.50	0.30	140.90	0.64	280.50	1.27
6	75	0.75	82.50	0.38	165.20	0.75	313.10	1.43
7	100	1.00	107.30	0.49	192.00	0.88	337.40	1.54
8	125	1.25	115.20	0.53	203.40	0.93	353.30	1.62
9	150	1.50	131.00	0.60	216.30	1.00	368.90	1.70
10	200	2.00	138.50	0.64	219.40	1.02	387.60	1.79
11	250	2.50	150.40	0.70	227.10	1.06	397.40	1.85
12	300	3.00	157.50	0.74	231.80	1.09	403.40	1.89
13	350	3.50	164.30	0.78	239.20	1.13	409.00	1.93
14	400	4.00	174.60	0.83	244.50	1.16	418.50	1.99
15	450	4.50	176.50	0.84	268.40	1.28	452.20	2.16
16	500	5.00	177.10	0.85	282.20	1.36	465.30	2.24
17	600	6.00	177.50	0.86	284.70	1.39	475.00	2.31
18	700	7.00	178.70	0.88	287.70	1.42	488.40	2.41
19	800	8.00	180.70	0.90	288.40	1.44	493.40	2.47
20	900	9.00	185.60	0.94	288.40	1.46	494.00	2.51
21	1000	10.00	185.60	0.95	286.30	1.47	489.20	2.52
22	1100	11.00	184.90	0.96	283.70	1.48	483.90	2.52
23	1200	12.00	183.30	0.97	279.60	1.48	476.10	2.52
24	1300	13.00	179.50	0.96	275.60	1.48	469.20	2.52
25	1400	14.00	177.10	0.96	271.70	1.48	462.50	2.52
26	1500	15.00	174.40	0.96	267.70	1.48	455.60	2.52

**Carga Normal** : 30.8 Kg 61.5 Kg 123.0 Kg  
**Constante del Anillo** : 0.139

**ESFUERZOS**  
**Esfuerzo Normal** : 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Esfuerzo Cortante Máximo** : 0.97 Kg/cm<sup>2</sup> 1.48 Kg/cm<sup>2</sup> 2.52 Kg/cm<sup>2</sup>

**RESULTADOS**  
**Ángulo de Fricción Interna** : 27.4 Grados  
**Cohesión** : 0.45 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Nota 1 : Los especímenes se remodelaron con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

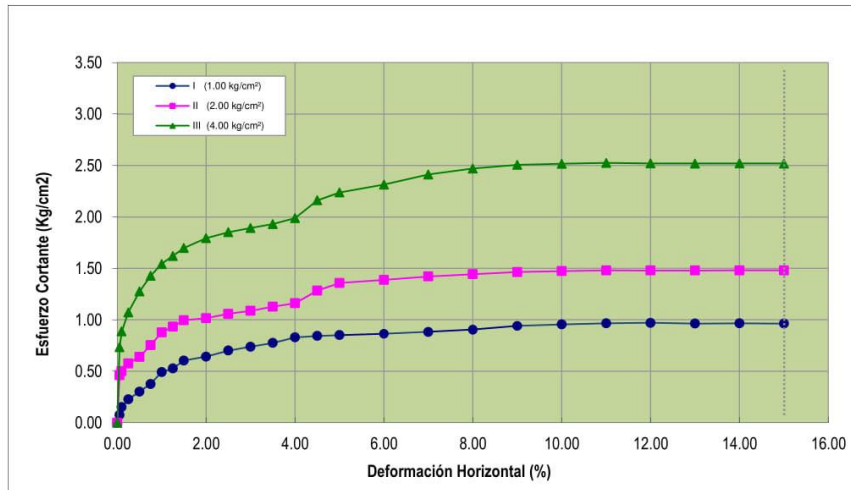
**Sector** : --

**Sondeo** : C - 08 **Fecha** : Enero - 2020

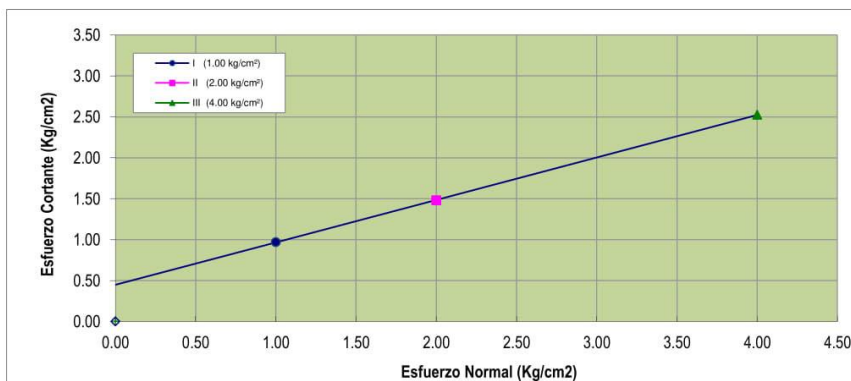
**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3.3 mts **Clasificación SUCS** : CL

**GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE**



**RESULTADOS**

Ángulo de Fricción Interna : 27.4 Grados  
Cohesión : 0.45 kg/cm²

**Observaciones:**

*Nota 1 : Los especímenes se remodelaron con la densidad natural del suelo.*

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM - D 3080

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"  
**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García  
**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica  
**Sector** : -  
**Sondeo** : C - 09 Fecha : Enero - 2020  
**Muestra** : M - 1  
**Profundidad** : 3.00 mts **Clasificación SUCS** : ML  
**Diámetro** : 6.26 cm **Peso Suelo Seco** : 85.39 g  
**Altura** : 2.10 cm **Contenido Humeda** : 16.10 %  
**Área** : 30.78 cm<sup>2</sup> **Densidad Húmeda** : 1.75 g/cm<sup>3</sup>  
**Volumen** : 64.63 cm<sup>3</sup> **Densidad Seca** : 1.51 g/cm<sup>3</sup>  
**Estado** : Muestra Inalterada.

Nro.	Deform Hz. (mm)	% Desplaz.Hz.	I (1.00 kg/cm <sup>2</sup> )		II (2.00 kg/cm <sup>2</sup> )		III (4.00 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	23.00	0.10	127.90	0.58	189.50	0.86
3	10	0.10	46.00	0.21	139.50	0.63	229.10	1.04
4	25	0.25	69.00	0.31	159.90	0.72	276.20	1.25
5	50	0.50	91.70	0.42	177.10	0.80	327.30	1.49
6	75	0.75	113.50	0.52	207.50	0.95	365.30	1.67
7	100	1.00	147.50	0.67	241.30	1.10	393.70	1.80
8	125	1.25	158.60	0.73	255.60	1.17	412.40	1.89
9	150	1.50	180.40	0.83	271.90	1.25	430.50	1.98
10	200	2.00	190.50	0.88	275.80	1.28	452.30	2.09
11	250	2.50	206.70	0.96	285.50	1.33	463.70	2.16
12	300	3.00	216.50	1.01	291.40	1.37	470.70	2.21
13	350	3.50	226.10	1.07	300.50	1.42	477.30	2.25
14	400	4.00	240.20	1.14	307.30	1.46	488.30	2.32
15	450	4.50	242.60	1.16	337.20	1.61	527.70	2.52
16	500	5.00	243.50	1.17	354.70	1.71	543.10	2.61
17	600	6.00	244.10	1.19	357.80	1.74	554.20	2.70
18	700	7.00	245.70	1.21	361.50	1.79	569.80	2.81
19	800	8.00	248.40	1.24	362.40	1.81	575.70	2.88
20	900	9.00	255.20	1.29	362.40	1.84	576.60	2.93
21	1000	10.00	257.00	1.32	359.70	1.85	570.90	2.94
22	1100	11.00	254.30	1.33	356.50	1.86	563.40	2.94
23	1200	12.00	252.10	1.33	351.50	1.86	555.50	2.94
24	1300	13.00	246.60	1.32	346.50	1.86	547.60	2.94
25	1400	14.00	243.50	1.33	341.30	1.86	539.80	2.94
26	1500	15.00	239.90	1.33	336.30	1.86	531.70	2.94

**Carga Normal** : 30.8 Kg 61.5 Kg 123.0 Kg  
**Constante del Anillo** : 0.139

**ESFUERZOS** :  
**Esfuerzo Normal** : 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Esfuerzo Cortante Máximo** : 1.33 Kg/cm<sup>2</sup> 1.86 Kg/cm<sup>2</sup> 2.94 Kg/cm<sup>2</sup>

**RESULTADOS** :  
**Ángulo de Fricción Interna** : 28.2 Grados  
**Cohesión** : 0.80 kg/cm<sup>2</sup>

**Observaciones:**

Los especímenes se remodelaron con la densidad natural del suelo.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM - D 3080**

**PROYECTO** : Proyecto de Tesis: "Análisis de los Asentamientos del Suelo por Carga Estática en las Zonas MDA del Campus de la Universidad Peruana Unión - Sede Lima, mediante el Software Robot Structural y Optum G2"

**SOLICITA** : Geraldine Vega Castro y Karla E. Chávez García

**UBICACIÓN** : Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica

**Sector** : --

**Sondeo** : C - 09 **Fecha** : Enero - 2020

**Muestra** : M - 1

**Profundidad** : 3 mts **Clasificación SUCS** : ML

GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE

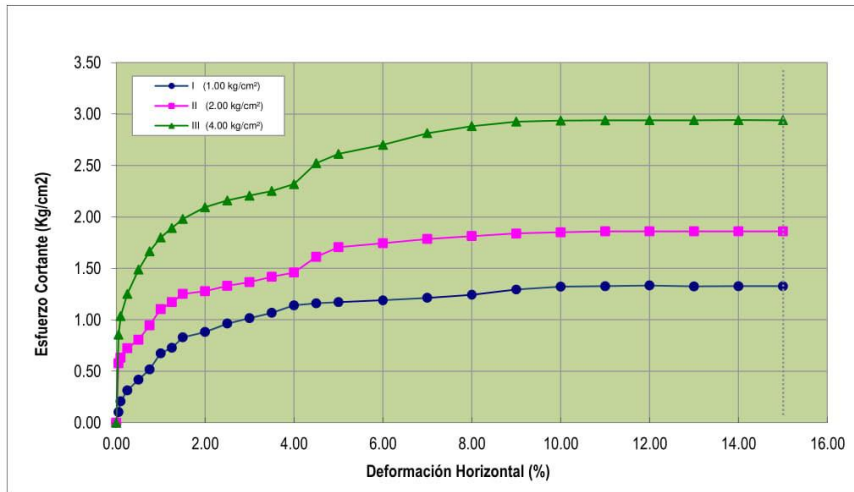
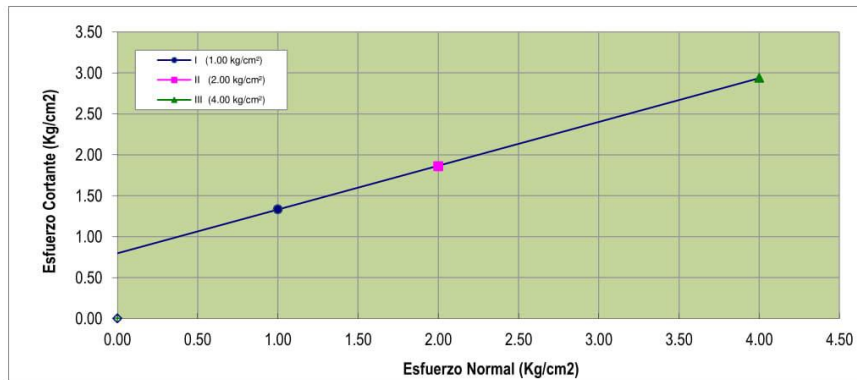


GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE



<b>RESULTADOS</b>	
Ángulo de Fricción Interna :	28.2 Grados
Cohesión :	0.80 kg/cm²

**Observaciones:**

Los especímenes se remodelaron con la densidad natural del suelo.



## Facultad de Ingeniería Civil

### Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

#### INFORME N° S19 - 1205-2

**SOLICITANTE** : GERALDINE VEGA CASTRO Y KARLA E. CHÁVEZ GARCÍA  
**PROYECTO** : PROYECTO DE TESIS: "ANÁLISIS DE LOS ASENTAMIENTOS DEL SUELO POR CARGA ESTÁTICA EN LAS ZONAS MDA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - SEDE LIMA MEDIANTE EL SOFTWARE ROBOT STRUCTURAL Y OPTUM G2"  
**UBICACIÓN** : UNIVERSIDA PERUANA UNIÓN - ÑAÑA - CARRETERA PANAMERICANA CENTRAL KM. 19.5 LIMA - LURIGANCHO  
**FECHA** : 19 DE DICIEMBRE 2019

#### ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

**Tipo de Ensayo** : No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850  
 Procedimiento interno AT-PR.11  
**Velocidad del ensayo** : 0.50 mm/min  
**Datos de la Muestra**  
**Estado** : Remoldeado (material < tamiz N° 4)  
**Calicata** : C-1  
**Prof. (m.)** : 3.30

		ESPECIMENES		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
<b>Condiciones Iniciales</b>	<b>Und.</b>			
Díámetro	cm	7.17	7.17	7.17
Altura	cm	14.17	14.17	14.17
Densidad Humeda	g/cm <sup>3</sup>	1.787	1.787	1.787
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	1.663	1.663	1.663
Contenido de Humedad	%	7.4	7.4	7.4
L/D		1.98	1.98	1.98
Gravedad Especifica		2.68	2.68	2.68
Grado de Saturacion	%	32.7	32.7	32.7
<b>Condiciones Finales</b>				
Díámetro	cm	7.58	7.46	7.40
Altura	cm	12.40	12.34	12.21
Area	cm <sup>2</sup>	46.14	46.36	46.86
Densidad Humeda	g/cm <sup>3</sup>	1.787	1.787	1.787
Contenido de Humedad	%	7.4	7.4	7.4
Grado de Saturacion	%	32.7	32.7	32.7
<b>Parámetros de Esfuerzos Totales</b>				
Esf. Confinante ( $\sigma_3$ )	kg/cm <sup>2</sup>	1.00	2.00	4.00
Esf. Principal ( $\sigma_1$ )	kg/cm <sup>2</sup>	6.010	8.825	14.447
<b>Cohesión (C)</b>	kg/cm <sup>2</sup>	<b>0.95</b>		
<b>Angulo de Fricción (<math>\phi</math>)</b>	(°)	<b>28.42</b>		

**Nota:**

Los especímenes se remoldearon con la máxima densidad remoldeable debido a que la densidad húmeda indicada por el cliente (2.102 g/cm<sup>3</sup>) excede la capacidad del molde.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. D. Del Río Ñ.

Aprobación : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
 Technology  
 Accreditation  
 Commission

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019  
 e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos



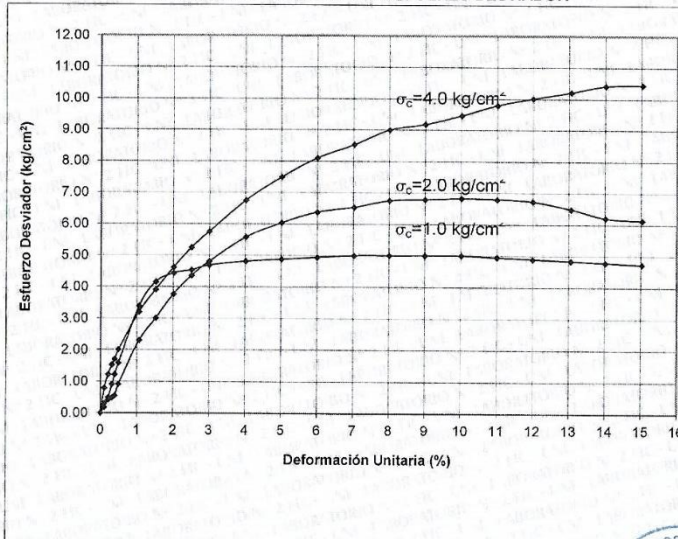
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850 Procedimiento interno AT-PR.11

INFORME N° S19 - 1205-2

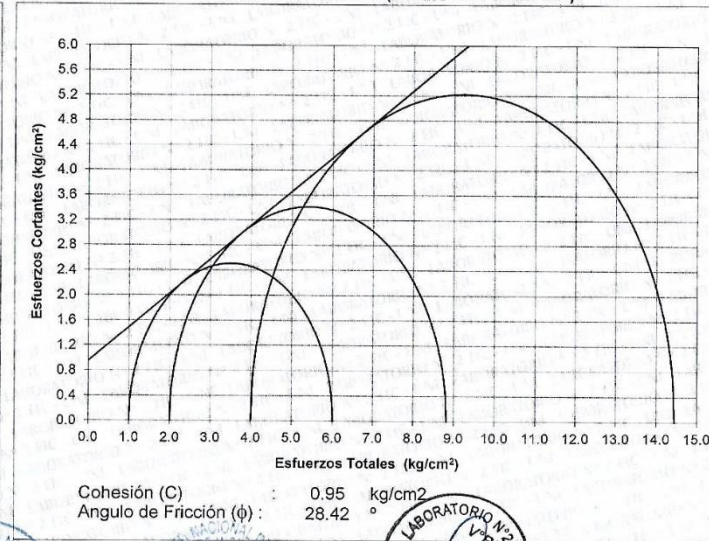
Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4) Calicata : C-1 Prof. (m.) : 3.30

SOLICITANTE : GERALDINE VEGA CASTRO Y KARLA E. CHÁVEZ GARCÍA PROYECTO : PROYECTO DE TESIS: "ANÁLISIS DE LOS ASENTAMIENTOS DEL SUELO POR CARGA ESTÁTICA EN LAS ZONAS MDA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - SEDE LIMA MEDIANTE EL SOFTWARE ROBOT STRUCTURAL Y OPTUM G2" UBICACIÓN : UNIVERSIDA PERUANA UNIÓN - ÑAÑA - CARRETERA PANAMERICANA CENTRAL KM. 19.5 LIMA - LURIGANCHO FECHA : 19 DE DICIEMBRE 2019

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo: 4019 e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe





Facultad de Ingeniería Civil  
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 1205-1

SOLICITANTE : GERALDINE VEGA CASTRO Y KARLA E. CHÁVEZ GARCÍA  
 PROYECTO : PROYECTO DE TESIS: "ANÁLISIS DE LOS ASENTAMIENTOS DEL SUELO  
 POR CARGA ESTÁTICA EN LAS ZONAS MDA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD  
 PERUANA UNIÓN - SEDE LIMA MEDIANTE EL SOFTWARE ROBOT STRUCTURAL  
 Y OPTUM G2"  
 UBICACIÓN : UNIVERSIDA PERUANA UNIÓN - ÑAÑA - CARRETERA PANAMERICANA CENTRAL KM. 19.5  
 LIMA - LURIGANCHO  
 FECHA : 19 DE DICIEMBRE 2019

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Tipo de Ensayo : No Consolidado No Drenado (UU) - REFERENCIA ASTM D2850  
 Procedimiento interno AT-PR.11

Velocidad del ensayo : 0.50 mm/min

Datos de la Muestra

Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4)  
 Calicata : C-9  
 Prof. (m.) : 3.00

		ESPECIMENES		
		N° 1	N° 2	N° 3
<b>Condiciones Iniciales</b>	Und.			
Diámetro	cm	7.17	7.17	7.17
Altura	cm	14.17	14.17	14.17
Densidad Humeda	g/cm <sup>3</sup>	1.786	1.786	1.786
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	1.549	1.549	1.549
Contenido de Humedad	%	15.3	15.3	15.3
L/D		1.98	1.98	1.98
Gravedad Especifica		2.65	2.65	2.65
Grado de Saturacion	%	57.1	57.1	57.1
<b>Condiciones Finales</b>				
Diámetro	cm	7.72	7.65	7.41
Altura	cm	12.36	12.29	12.46
Area	cm <sup>2</sup>	46.29	46.55	45.92
Densidad Humeda	g/cm <sup>3</sup>	1.786	1.786	1.786
Contenido de Humedad	%	15.3	15.3	15.3
Grado de Saturacion	%	57.1	57.1	57.1
<b>Parámetros de Esfuerzos Totales</b>				
Esf. Confinante ( $\sigma_3$ )	kg/cm <sup>2</sup>	1.00	2.00	4.00
Esf. Principal ( $\sigma_1$ )	kg/cm <sup>2</sup>	4.544	7.354	13.044
<b>Cohesión (C)</b>	kg/cm <sup>2</sup>	0.50		
<b>Angulo de Fricción (<math>\phi</math>)</b>	(°)	28.60		

Nota:

Los especímenes se remoldearon con la densidad proporcionada por el cliente.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra que fueron proporcionadas por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. D. Del Río Ñ.

Aprobación : Ing. D. Basurto R.



*[Signature]*

Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCA  
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - U.N.I.

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo 4019  
 e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
 Technology  
 Accreditation  
 Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos



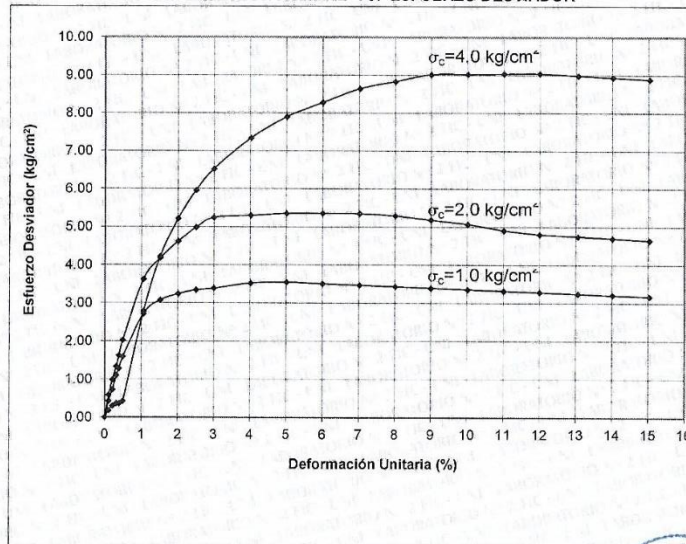
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO (UU) - REFERENCIA ASTM D2850 Procedimiento interno AT-PR.11

INFORME N° S19 - 1205-1

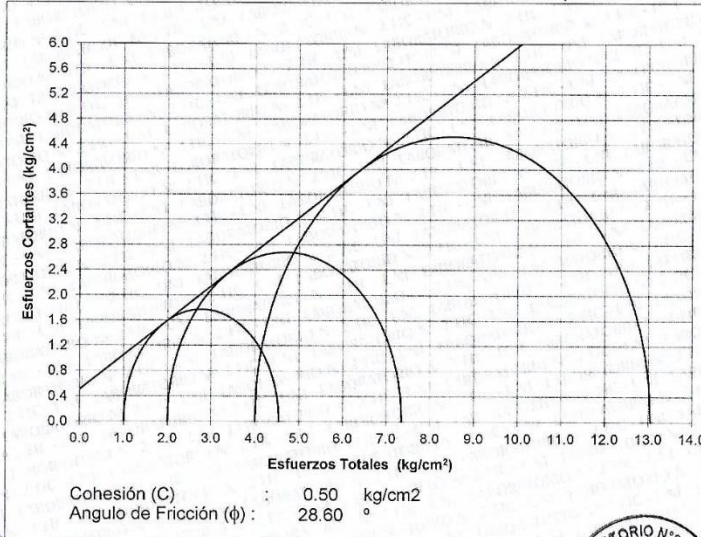
Estado : Remoldeado (material < tamiz N° 4) Calicata : C-9 Prof. (m.) : 3.00

SOLICITANTE : GERALDINE VEGA CASTRO Y KARLA E. CHÁVEZ GARCÍA PROYECTO : PROYECTO DE TESIS: "ANÁLISIS DE LOS ASENTAMIENTOS DEL SUELO POR CARGA ESTÁTICA EN LAS ZONAS MDA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN - SEDE LIMA MEDIANTE EL SOFTWARE ROBOT STRUCTURAL Y OPTUM G2" UBICACIÓN : UNIVERSIDA PERUANA UNIÓN - ÑAÑA - CARRETERA PANAMERICANA CENTRAL KM. 19.5 LIMA - LURIGANCHO FECHA : 19 DE DICIEMBRE 2019

DEFORMACION NORMAL VS. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR (ESFUERZOS TOTALES)



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo: 4019 e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



## **Anexo C Planos**