

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Evaluación del potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza,
distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad**

Línea de Investigación: Ingeniería Civil
Sub Línea de Investigación: Geotecnia

Autores:

Castillo Vega, Julian Aaron
Reyes Loyola, Rocio del Pilar

Jurado Evaluador:

Presidente : Sánchez Malpica, Carmen Esperanza
Secretario : Galvez Paredes, Jose Alcides
Vocal : Geldres Sánchez, Carmen Lucia

Asesor:

Henríquez Ulloa, Juan Paul Edward

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3357-2315>

TRUJILLO – PERÚ
2024

Fecha de sustentación: 2024/04/10

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Evaluación del potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza,
distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad**

Línea de Investigación: Ingeniería Civil
Sub Línea de Investigación: Geotecnia

Autores:

Castillo Vega, Julian Aaron
Reyes Loyola, Rocio del Pilar

Jurado Evaluador:

Presidente : Sánchez Malpica, Carmen Esperanza
Secretario : Galvez Paredes, Jose Alcides
Vocal : Geldres Sánchez, Carmen Lucia

Asesor:

Henríquez Ulloa, Juan Paul Edward

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3357-2315>

TRUJILLO – PERÚ
2024

Fecha de sustentación: 2024/04/10

Correcciones

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

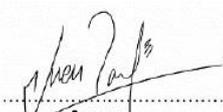
PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upt.edu.pe	3%
	Fuente de Internet	
2	repositorio.urp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego	1%
	Trabajo del estudiante	
4	repositorio.unica.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	zdocs.mx	1%
	Fuente de Internet	
7	idoc.pub	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.uprit.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
9	kupdf.net	
	Fuente de Internet	


Asesor
MS. JUÁN PAUL E. HENRÍQUEZ ULLOA
CIP:118101

1 %

10

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

11

qdoc.tips

Fuente de Internet

1 %

Excluir citas

Apagado

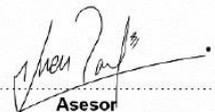
Exclude assignment
template

Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir
coincidencias < 1%



Asesor
MS. JUAN PAUL E. HENRÍQUEZ ULLOA
CIP:118101

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Henríquez Ulloa Juan Paul Edward, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada **"Evaluación del potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza, distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad"**, de los Autores Castillo Vega Julián Aaron y Reyes Loyola Rocio del Pilar, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 10 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 11 de diciembre del 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis "Evaluación del potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza, distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad", y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Trujillo, 2 de abril del 2024



Reyes Loyola, Rocio del Pilar
DNI: 72697768



Castillo Vega, Julian Aaron
DNI: 75951158



Henríquez Ulloa, Juan Paul Edward
DNI: 40284306

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3357-2315>

DEDICATORIA

A mí por mantenerme perseverante, ante todo.

A mis padres por recordarme mis prioridades.

A mis hermanos por la motivación.

A mi compañera de tesis por su paciencia.

Castillo Vega Julian Aaron

DEDICATORIA

A mi madre y hermana, por sus esfuerzos que van por encima y más allá del deber.

A Jean Carlos Torres, por compartirme sus conocimientos y sobre todo brindarme su constante apoyo y tiempo.

A mi Body Doubling, por su inmenso cariño y paciencia, ojalá todos tuvieran un K. Pantoja en su vida.

Reyes Loyola Rocio del Pilar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor por su valiosa guía en la elaboración de este proyecto.

Castillo Vega Julian Aaron

AGRADECIMIENTO

Al Ms. Juan Paul E. Henríquez Ulloa, por su tiempo, y sobre todo paciencia durante todo el desarrollo de esta tesis.

Reyes Loyola Rocio del Pilar

RESUMEN

En la presente investigación evaluación del potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza, distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad , se busca evaluar el potencial de colapso, con base en la evaluación de los parámetros físicos, químicos, hidráulicos y mecánicos del suelo, tal como se estipula en la norma técnica peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones, con el fin de elaborar un mapa de sectorización de zonas colapsables y proponer un óptimo diseño de cimentaciones superficiales.

Para llevar a cabo la investigación, se aplicó un enfoque no experimental, con un nivel descriptivo, que implicó la identificación de áreas estratégicas para sondeo. Durante este proceso se realizaron excavación de calicatas, extracción de muestras, auscultaciones, determinación de perfiles estratigráficos. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas pertinentes tanto in situ como en laboratorio, con el fin de interpretar los resultados recopilados.

Tras completar este procedimiento, se determinó que el suelo predominante es de tipo areno limoso (SM), con una buena capacidad de drenaje, lo que sugiere que es un suelo de mediana capacidad portante. Se identificó que el nivel freático se halla a 1.20 metros del terreno natural, lo que altera las condiciones de diseño, especialmente en lo referente a la capacidad admisible. Se calculó esta capacidad utilizando un enfoque de corte local, proponiendo distintos diseños de cimentación para zapatas cuadradas y corridas, variando en dimensiones y profundidades de desplante.

Los datos obtenidos en las propiedades físicas se compararon con la norma técnica peruana, concluyendo que el suelo no presenta riesgos de colapso. Finalmente, se sugirió la implementación de zapatas cuadradas conectadas por vigas de cimentación como un diseño óptimo, acorde a las propiedades geotécnicas específicas del área estudiada.

Palabras clave: potencial de colapso, corte local, cimentaciones superficiales, zapatas cuadradas y corridas.

ABSTRACT

In the present investigation evaluation of the soil collapse potential in the sector La Cobranza, district of Moche, province of Trujillo, department of La Libertad" we seek to evaluate the collapse potential, based on the evaluation of the physical, chemical, hydraulic and mechanical parameters of the soil, as stipulated in the Peruvian technical standard E0.50 Soils and Foundations, in order to elaborate a sectorization map of collapsible zones and propose an optimal design of surface foundations.

In order to carry out the research, a non-experimental approach was applied, with a descriptive level, which implied the identification of strategic areas for probing. During this process, test pits were excavated, samples were extracted, auscultations were carried out, and stratigraphic profiles were determined. Subsequently, relevant tests were carried out both in situ and in the laboratory, in order to interpret the results collected.

After completing this procedure, it was determined that the predominant soil is silty sandy (SM), with a good drainage capacity, suggesting that it is a soil of medium bearing capacity. It was identified that the water table is 1.20 meters from the natural ground, which affects and alters the design conditions, especially with regard to the admissible capacity. This capacity was calculated using a local shear approach, proposing different foundation designs for square and spread footings, varying in dimensions and depths of displacement.

The data obtained on physical properties were compared with the Peruvian technical standard, concluding that the soil does not present a risk of collapse. Finally, the implementation of square footings connected by foundation beams was suggested as an optimal design, according to the specific geotechnical properties of the area studied.

Key words: collapse potential, local shear, shallow foundations, square and spread footings.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando fiel cumplimiento a los requerimientos y normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos proporcionados por la Facultad de Ingeniería de nuestra casa de estudios “Universidad Privada Antenor Orrego”, en mira a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil, ponemos a disposición la presente tesis titulada:

Evaluación del potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza, distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad.

El contenido de la presente tesis fue desarrollado en base a los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra formación académica, apoyándonos en libros, revistas y otras investigaciones de características similares, así como el asesoramiento del Ms. Henríquez Ulloa Juan Paul E.

Atentamente,

Br. Castillo Vega Julian Aaron

Br. Reyes Loyola Rocio del Pilar

Trujillo, 9 de noviembre del 2023

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	20
1.1. Problema de investigación.....	20
1.2. Objetivos.....	22
1.2.1. Objetivo General	22
1.2.2. Objetivos Específicos	22
1.3. Justificación del estudio.....	22
II. MARCO DE REFERENCIA	24
2.1. Antecedentes del estudio	24
2.1.1. Internacionales.....	24
2.1.2. Nacionales	25
2.1.3. Locales.....	27
2.2. Marco teórico.....	29
2.2.1. Investigaciones exploratorias del subsuelo	29
2.2.2. Técnicas de muestreo	30
2.2.3. Suelos	31
2.2.4. Fases en la composición del suelo.....	33
2.2.5. Propiedades de los Suelos.....	35
2.2.5.1. Propiedades químicas.....	35
2.2.5.2. Propiedades hidráulicas	36
2.2.5.3. Propiedades físicas.....	37
2.2.5.4. Propiedades mecánicas.....	42
2.2.5.5. Ensayos para determinar los parámetros mecánicos	46
2.2.5.6. Métodos analíticos para determinar la capacidad portante	46
2.2.5.7. Suelos colapsables	53
2.3. Marco Conceptual	59

2.4. Sistema de hipótesis	62
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	63
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	63
3.1.1. De acuerdo a la orientación o finalidad: Investigación Aplicativa	63
3.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación: Investigación Cuantitativa... 63	
3.2. Población y muestra de estudio.....	63
3.2.1. Población	63
3.2.2. Muestra	63
3.3. Diseño de investigación.....	63
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación	63
3.5. Procesamiento y análisis de datos	64
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	66
4.1. Análisis e interpretación de resultados	66
4.2. Docimasia de hipótesis.....	83
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	84
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Relaciones Peso-Volumen</i>	33
Figura 2 <i>Modo De Falla Por Corte General</i>	44
Figura 3 <i>Modo De Falla Por Punzonamiento</i>	45
Figura 4 <i>Modo De Falla Por Corte Local</i>	45
Figura 5 <i>Casos Para Modificación</i>	52
Figura 6 <i>Profundidad vs NDPL de la auscultación N°1</i>	69
Figura 7 <i>Profundidad vs N Corregido de la Auscultación N°1</i>	70
Figura 8 <i>Profundidad vs NDPL de la auscultación N°2</i>	72
Figura 9 <i>Profundidad vs N Corregido de la Auscultación N°2</i>	73
Figura 10 <i>Profundidad vs NDPL de la auscultación N°3</i>	75
Figura 11 <i>Profundidad vs N Corregido de la Auscultación N°3</i>	76
Figura 12 <i>Profundidad vs NDPL de la auscultación N°4</i>	78
Figura 13 <i>Profundidad vs N Corregido de la Auscultación N° 4</i>	79
Figura 14 <i>Criterios del Potencial de Colapso</i>	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Técnicas De Investigación</i>	31
Tabla 2 <i>Parámetros De Exposición A Sulfatos, Cloruros Y Sales Solubles</i>	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3 <i>Símbolos De Grupos Según SUCS</i>	38
Tabla 4 <i>Parámetros De Consistencia</i>	39
Tabla 5 <i>Criterios De Severidad</i>	55
Tabla 6 <i>Parámetros Elásticos para Distintos Suelos</i>	57
Tabla 7 <i>Operacionalización De Variables</i>	62
Tabla 8 <i>Técnicas e Instrumentos De Recolección De Datos</i>	64
Tabla 9 <i>Cuadro Resumen de Propiedades Físicas, Químicas e Hidráulicas</i>	66
Tabla 10 <i>Resumen de Propiedades Mecánicas de la Auscultación N°1</i>	68
Tabla 11 <i>Resumen de Propiedades Mecánicas de la Auscultación N°2</i>	71
Tabla 12 <i>Resumen de Propiedades Mecánicas de la Auscultación N°3</i>	74
Tabla 13 <i>Resumen de Propiedades Mecánicas de la Auscultación N°4</i>	77
Tabla 14 <i>Resumen de Diferentes Métodos de Capacidad de Carga – Cimientos Corridos</i>	80
Tabla 15 <i>Resumen de Diferentes Métodos de Capacidad de Carga – Cimientos Cuadrados</i>	80
Tabla 16 <i>Cuadro resumen asentamiento flexible y rígido en cimentaciones cuadrada</i>	81
Tabla 17 <i>Cuadro resumen asentamiento flexible y rígido en cimentaciones corridas</i>	81
Tabla 18 <i>Cuadro resumen de asentamientos diferenciales en cimentaciones cuadradas</i>	82
Tabla 19 <i>Cuadro resumen de asentamientos diferenciales en cimentaciones corridas</i>	82
Tabla 20 <i>Cuadro Resumen de Auscultaciones</i>	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Índice de poros u oquedad.....</i>	<i>33</i>
<i>Ecuación 2 Porosidad.....</i>	<i>33</i>
<i>Ecuación 3 Saturación.....</i>	<i>33</i>
<i>Ecuación 4 Relación Aire - Vacíos.....</i>	<i>34</i>
<i>Ecuación 5 Porcentaje de Humedad.....</i>	<i>34</i>
<i>Ecuación 6 Peso Específico.....</i>	<i>34</i>
<i>Ecuación 7 Gravedad Específica.....</i>	<i>34</i>
<i>Ecuación 8 Total de Sales Solubles.....</i>	<i>35</i>
<i>Ecuación 9 Coeficiente de Permeabilidad.....</i>	<i>36</i>
<i>Ecuación 10 Peso de la Muestra Seca.....</i>	<i>40</i>
<i>Ecuación 11 Peso del Agua Presente en la Muestra.....</i>	<i>40</i>
<i>Ecuación 12 Índice de Plasticidad.....</i>	<i>41</i>
<i>Ecuación 13 Volumén del Orificio de Prueba.....</i>	<i>41</i>
<i>Ecuación 14 Masa Seca del Material del Hoyo de Ensayo.....</i>	<i>41</i>
<i>Ecuación 15 Densidad Húmeda del Material Probado.....</i>	<i>42</i>
<i>Ecuación 16 Densidad Seca del Material Probado.....</i>	<i>42</i>
<i>Ecuación 17 Capacidad de Carga Última por Corte General para Cimentaciones Corridas.....</i>	<i>46</i>
<i>Ecuación 18 Factor de Capacidad de Carga Nc para Corte General.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 19 Factor de Capacidad de Carga Nq para Corte General.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 20 Factor de Capacidad de Carga Ny para Corte General.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 21 Coeficiente de Empuje Pasivo.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 22 Capacidad de Carga Última por Corte General para Cimentaciones Cuadradas.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 23 Capacidad de Carga Última por Corte General para Cimentaciones Circulares.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 24 Capacidad de Carga Última por Corte Local para Cimentaciones Corridas.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 25 Capacidad de Carga Última por Corte Local para Cimentaciones Cuadradas.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 26 Capacidad de Carga Última por Corte Local para Cimentaciones Circulares.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 27 Cohesión Modificada para Corte Local.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 28 Capacidad de Carga Última para Cargas Verticales Según Meyerhof.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 29 Capacidad de Carga Última para Cargas Inclinadas Según Meyerhof.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 30 Factor de Capacidad de Carga Nq Según Meyerhof.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 31 Factor de Capacidad de Carga Nc Según Meyerhof.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 32 Factor de Capacidad de Carga Ny Según Meyerhof.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 33 Factor de Forma para Cualquier Ángulo de Fricción.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 34 Factor de Forma para Ángulos de Fricción Mayores a 10°.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 35 Factor de Forma para Ángulos de Fricción Iguales a 0°.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 36 Factor de Profundidad para Cualquier Ángulo de Fricción.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 37 Factor de Profundidad para Ángulos de Fricción Mayores a 10°.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 38 Factor de Profundidad Para Ángulos de Fricción Iguales a 0°.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 39 Factor de Inclinación para Cualquier Ángulo de Fricción.....</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 40 Factor de Inclinación para Ángulos de Fricción Mayores a 10°.....</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 41 Factor de Inclinación para Ángulos de Fricción Iguales a 0°.....</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 42 Coeficiente de Presión Pasiva de tierra de Rankine.....</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 43 Capacidad de Carga Última Segun Vesic.....</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 44 Factor de Capacidad de Carga Ny Segun Vesic.....</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 45 Factor de Forma Sc Según Vesic.....</i>	<i>51</i>
<i>Ecuación 46 Factor de Forma Sq Según Vesic.....</i>	<i>51</i>
<i>Ecuación 47 Factor de Forma Sy Según Vesic.....</i>	<i>51</i>
<i>Ecuación 48 Factor de Forma Segun Vesic Para Zapatas Continuas.....</i>	<i>51</i>
<i>Ecuación 49 Factor dc Profundidad dc Según Vesic.....</i>	<i>51</i>
<i>Ecuación 50 Factor dq Profundidad dc Según Vesic.....</i>	<i>51</i>

<i>Ecuación 51 Factor d_y Profundidad d_c Según Vesic.....</i>	<i>51</i>
<i>Ecuación 52 Factor de Inclinación i_q Según Vesic.....</i>	<i>51</i>
<i>Ecuación 53 Factor de Inclinación i_c Según Vesic.....</i>	<i>51</i>
<i>Ecuación 54 Factor de Inclinación i_y Según Vesic.....</i>	<i>52</i>
<i>Ecuación 55 Factor de Inclinación para Ángulos de Fricción Iguales a 0.....</i>	<i>52</i>
<i>Ecuación 56 Capacidad de Carga Admisible Considerando Factor de Seguridad.....</i>	<i>52</i>
<i>Ecuación 57 Sobrecarga Efectiva para el Primer Caso de Modificación por Nivel Freático.....</i>	<i>53</i>
<i>Ecuación 58 Potencial de Colapso en Porcentaje.....</i>	<i>55</i>
<i>Ecuación 59 Potencial de Colapso en Porcentaje.....</i>	<i>55</i>
<i>Ecuación 60.....</i>	<i>56</i>
<i>Ecuación 61.....</i>	<i>56</i>
<i>Ecuación 62.....</i>	<i>56</i>
<i>Ecuación 63.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 64.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 65.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 66.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 67.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 68.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 69.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 70.....</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 71 Grado de Sobreconsolidación.....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 72 Asentamiento por Consolidación.....</i>	<i>58</i>
<i>Ecuación 73 Asentamiento por Consolidación para Arcilla Normalmente Consolidada.....</i>	<i>59</i>
<i>Ecuación 74 Asentamiento por Consolidación para Arcilla Pre o Sobre Consolidada.....</i>	<i>59</i>

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

En los últimos años, el Perú ha presentado numerosos casos de fallas en las cimentaciones de las edificaciones, debido al desconocimiento del comportamiento del suelo y por otro lado a la negligencia; que se refleja en la construcción informal y la ausencia de EMS (estudios de mecánica de suelos).

Debido a que el suelo se utiliza como material de construcción en diversos proyectos ingenieriles y sirve para soportar las cimentaciones estructurales (Braja, 2014, p.1), es pertinente su estudio mediante la mecánica de suelos como uno de los pilares fundamentales de la ingeniería civil, ya que de esta manera se logra la determinación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos, dado a que gracias a estas propiedades podemos realizar un adecuado diseño de cimentaciones, por lo tanto, en la actualidad el Ingeniero civil está obligado a conocer las propiedades de los del suelo, mediante un EMS (estudio de mecánica de suelos), porque nos provee de datos acerca del comportamiento del terreno, con la finalidad de predecir las condiciones desfavorables que se pueden manifestar en un proyecto y aportar soluciones a problemas como la inestabilidad que puedan presentar las cimentaciones y demás obras civiles. Mitigando así gran porcentaje de posibles daños estructurales en las edificaciones, causados por desastres naturales y sobre todo porque se ignora la presencia de alguna patología que afecta a los suelos.

Siendo esencial en los suelos el poder soportar las cimentaciones estructurales, es preocupante cuando estos presentan problemas especiales de cimentación, estas fallas son ocasionadas por la misma naturaleza de algunos suelos, por acción individual o combinada de factores ambientales y/o químicos.

Dentro de estos problemas que representan un riesgo para la actividad ingenieril, se pueden distinguir fenómenos como ataques químicos, aguas subterráneas, suelos expansivos, licuación de suelos y sostenimiento de excavaciones, pero uno de los más problemáticos y comunes es de los suelos colapsables.

Los suelos colapsables son aquellos que; estando secos soportan grandes cargas estructurales, sin embargo, cuando se encuentran parcial o totalmente saturados tienen una significativa pérdida de volumen. (Villalaz, 2005, p.85), son suelos geotécnicamente inestables caracterizados por tener una estructura macro porosa mal acomodada que suelen ser resultado del intemperismo que modifica y destruye las propiedades físicas y químicas de los suelos, los desintegra en boleos hasta partículas muy pequeñas que luego son depositadas por acciones eólica, estos se caracterizan por su comportamiento colapsable, ya que presentan inestabilidad a los cambios de humedad, así mismo, excesivo asentamiento, lo cual dificulta la construcción.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, es preocupante el acelerado crecimiento poblacional que experimenta el sector en estudio, en consecuencia, se presenta un notable incremento en el desarrollo urbano que se lleva a cabo sin tener conocimiento de las propiedades del suelo donde se cimienta, por ello, nace la iniciativa del presente proyecto, que tiene por finalidad determinar el potencial de colapso de la zona.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo General*

Evaluar el potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza, distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad.

1.2.2. *Objetivos Específicos*

- Determinar los parámetros físicos, químicos y mecánicos del suelo de fundación a partir de un estudio de mecánica de suelos conforme lo dispuesto a la E0.50.
- Determinar el potencial de colapso mediante el Ensayo del Edómetro y por el método de Jennings y Knight.
- Plantear un mapeo geotécnico de zonas colapsables.
- Recomendar el tipo de cimentación superficial óptima, que se adecue a la zona de estudio.

1.3. Justificación del estudio

- **Social**

Esta investigación estará orientada al estudio del sector La Cobranza, ya que en los últimos años viene experimentando un acelerado crecimiento poblacional, por consiguiente, la mayor parte de las construcciones son llevadas a cabo sin conocimiento del comportamiento del terreno, por ello nace la propuesta de la evaluación del potencial de colapso, ya que los suelos de este sector se encuentra amenazado por esta patología que afecta a las cimentaciones haciéndolas vulnerables a asentamientos diferenciales que ocasionan deformaciones estructurales en las edificaciones.

- **Académica**

La investigación se justifica académicamente dado que nos permite indagar, aplicar teorías, metodologías y técnicas, adquiridas en la universidad y sobre todo contribuirá a desarrollar nuestro criterio profesional, aportándonos conocimiento técnico acerca del terreno y si este es apto para cimentación, de lo contrario se recomendará métodos alternativos para un adecuado diseño de cimentaciones superficiales.

- **Práctica**

La pertinencia de esta investigación estará basada fundamentalmente en beneficiar a los pobladores del sector La Cobranza, ofreciéndoles conocimiento acerca de las propiedades del suelo a través de un mapa de sectores colápsales y proponiendo un óptimo diseño de cimentación; con el propósito de reducir las pérdidas humanas y materiales en caso de algún desastre natural.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. *Internacionales*

Jailly (2018) en su tesis titulada: "Estudio del comportamiento geotécnico de un suelo colapsable frente a cimentaciones superficiales". Tiene como objetivo principal la caracterización geotécnica de un suelo no saturado colapsable en Juazeiro do Norte-CE, mediante pruebas de laboratorio y de campo, con fines de cimentación superficial. En este sentido, la investigación pudo concluir que el suelo es arena arcillo-limosa (SC-SM) cuyas propiedades como rigidez, humedad y succión se ven influenciadas por los marcados periodos que tiene la ciudad (lluvioso y seco), tras el análisis de colapsabilidad también se pudo concluir que según distintos criterios el suelo pasa de colapsable a condicionalmente colapsable, pero según las clasificaciones de Jennings y Knight (1975) es un problema grave en cuanto al daño que puede causar en una obra, así también gracias al diferente contenido de humedad inicial en las muestras se pudo concluir que las deformaciones por colapso aumentan según el grado de saturación, también mostrando que pequeñas variaciones de humedad pueden causar colapsos significativos, en adición los resultados de las pruebas edométricas realizadas con muestras compactadas mostraron que la compactación del suelo es una técnica viable para reducir las deformaciones por colapso del suelo estudiado.

Por lo tanto, este antecedente Aporta a la investigación con una visión más amplia en cuanto a las diferencias en resultados que se pueden obtener dependiendo del estado de la muestra para así obtener resultados más confiables en cuanto a la determinación de la colapsabilidad de un suelo.

Además, aporta comprobando que la compactación de los suelos es una alternativa efectiva para la reducción del potencial de colapso a valores admisibles.

2.1.2. Nacionales

Flores (2017) en su tesis titulada: “Determinación del tipo de suelo y potencial de colapso del suelo del puesto de salud “Intiorko”, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna - 2017.” Cuyo principal objetivo es el determinar el potencial de colapso, así como el tipo de suelo del puesto de salud “Intiorko” en el distrito de Ciudad Nueva del departamento de Tacna. Concluyó que el puesto de salud “Intiorko” cuyo suelo es del tipo arena limosa (SM) cuenta con un potencial de colapso moderado para una carga admisible de 1.00 kg/cm^2 debido a que el asentamiento generado por el colapso del suelo es alrededor del 90% del asentamiento inmediato y las distorsiones causadas por el asentamiento inmediato y colapso, son menores a $1/150$ y $1/300$. Se concluyó también que las propiedades mecánicas y químicas del suelo del puesto de salud “Intiorko” son muy variables con las investigaciones anteriores debido a que la curva de esfuerzo deformación del ensayo in situ de placa a presiones menores de 2 kg/cm^2 indica que las propiedades de resistencia mecánica son mayores a las obtenidas en estudios anteriores y las sales solubles difieren también, lo que hace suponer que la distribución de estas no es homogénea. Finalmente, el antecedente aporta con conocimientos sobre como las propiedades físicas, mecánicas y químicas contribuyen a la estructura colapsable del suelo, esto debido a la baja densidad natural, límite líquido, alta relación de vacíos y sales solubles totales, en complemento con

información teórica sobre las propiedades físicas, químicas y mecánicas de un suelo tipo arena limosa (SM).

Mamani y Apaza (2018) en su tesis titulada: “Caracterización del tipo de suelo y problemas especiales de cimentación de edificaciones en la asociación agropecuaria Apaza – 2018”, Universidad Privada de Tacna. La cual tiene como objetivo principal el determinar las características del suelo, así como los problemas especiales de cimentación que puedan presentar las edificaciones de la asociación agropecuaria “Apaza”. En este sentido se llegó a la conclusión de que el suelo presente en la asociación agropecuaria “Apaza” es de del tipo arena limosa (SM) de color marrón claro con presencia ceniza volcánica; además de encontrar que el problema especial de cimentación presente es el de suelos colapsable según la norma técnica E0.50, teniendo un potencial de colapso de 1.89% entrando entre el rango de 1% a 5% de un potencial de colapso moderado, también gracias al sondaje eléctrico se pudo concluir se descarta la presencia de nivel freático hasta la profundidad de 30 metros. Por ende, tomamos como aporte del antecedente; información teórica acerca de la relación entre las propiedades físicas, químicas y mecánicas de un suelo con sus problemas especiales de cimentación, así como aportar con un método de prospección geofísica como es el sondaje eléctrico vertical (SEV) que demostró ser útil para la estratificación del terreno, así mismo aporta información sobre los problemas especiales de cimentación y como el colapso es una causa común de estos.

Caceda (2017) en su tesis titulada: “Mejoramiento del suelo colapsable con fines de cimentación mezclando cemento diluido en agua en el asentamiento humano Magdalena Nueva – Chimbote 2017”. Tiene como

principal objetivo el mejoramiento del suelo colapsable con fines de cimentación mezclando cemento diluido en agua en el asentamiento humano Magdalena Nueva. De esta manera, se llegó a la conclusión de que el cemento diluido en agua mejoró considerablemente las propiedades del suelo, siendo el más notable el cemento diluido en agua al 10% con un contenido de agua de 0.7, que mejoro al suelo hasta una capacidad portante de 1.28 kg/cm^2 en comparación del 0.56 kg/cm^2 de capacidad portante obtenido en el suelo más crítico sin mejorar. También se concluyó que el tipo de suelo presente en el asentamiento humano Magdalena Nueva era del tipo SP o arena mal graduada con pocos finos. Por lo tanto, se toma como aporte del antecedente la alternativa de mejoramiento de suelo para cimentaciones para suelos colapsables, siendo esta opción más económica y fácil de realizar por los pobladores que otros métodos convencionales.

2.1.3. Locales

Alva (2018) en su tesis titulada: Influencia en el comportamiento volumétrico de suelos con elevado contenido de finos en la urb. "UPAO" II etapa, frente a altas precipitaciones en la ciudad de Trujillo - La Libertad - Perú - 2018. Tiene como objetivo principal el determinar que tanto influye la alta intensidad de precipitaciones en el comportamiento volumétrico de los suelos con un elevado porcentaje de finos en la urbanización "UPAO" II Etapa en la ciudad de Trujillo - La Libertad. En tal sentido, la investigación concluyo que las lluvias intensas provocarían el desarrollo de potencial de colapso en las zonas que estén directamente expuestas durante un periodo prolongado que posteriormente entraran en contacto con cargas, así mismo el suelo se trata de un suelo arcillo-limoso con baja plasticidad cuyo índice de expansión

provocado por la saturación causada por las lluvias es bajo y de consecuencias negativas leves, pero de entrar en contacto directo con cargas desarrollaría un potencial de colapso moderado teniendo consecuencias negativas significativas. Este antecedente aporta a la presente investigación con información sobre la diferencia en resultados de un análisis granulométrico por tamizado y uno por hidrometría, así como conocimiento práctico en la aplicación de diversos estudios para la caracterización de un suelo e información sobre el efecto negativo de la saturación en un suelo del tipo CL-ML.

2.2. Marco teórico

2.2.1. *Investigaciones exploratorias del subsuelo*

En 2001, Peck argumentó “Para poder proyectar una cimentación inteligentemente, se debe tener conocimiento razonable de las propiedades físicas y disposición de los materiales del subsuelo. A las operaciones de campo y de laboratorio necesarias para obtener esa información esencial se les llama exploración del suelo o programa de exploración” (p.137). Con el propósito de adquirir información para determinar:

- Tipo de cimentación.
- La profundidad adecuada de las cimentaciones de una estructura.
- Capacidad de carga.
- Evaluar asentamiento probable.
- Ubicación del nivel freático.
- Identificar si el suelo presenta alguna patología (por ejemplo, suelos colapsables, expansivos, etc.)
- Plantear propuestas de mejora para modificar las condiciones del subsuelo.

“El costo del estudio representa una parte insignificante del coste de la estructura que se pretende construir, y el posible ahorro en tiempo y dinero, equivale en casi todos los casos, a múltiples veces el costo de los estudios aplicados”. (Villalaz, 2004, p.42), por lo tanto; programa de exploración es el siguiente:

- **Recolección de Información Preliminar.** consiste en la obtención de la información acerca del tipo de estructura y uso que se le dará,

niveles de piso, luces y, sobre todo; conocer las cargas estimadas que se transmitirán a las cimentaciones, de acuerdo a la Norma E-050.

- **Reconocimiento.** Consiste en la evaluación visual del terreno, para recabar información tal como:
 - Usos anteriores del terreno (agricultura, botaderos, minería).
 - Tipo de vegetación; permite conocer la naturaleza del suelo.
 - Antecedentes de deslizamientos
 - Topografía.
 - Nivel de agua freática.
 - Presencia de canales de drenaje.
 - Estratificación.
 - Datos de edificaciones colindantes.

A partir de estos datos, se tendrá un conocimiento más amplio de cada factor, lo cual permitirá que la selección y planificación de los estudios a realizar sea más efectiva.

2.2.2. Técnicas de muestreo

Se definen conforme a el programa de exploración, anteriormente mencionado, según la Norma E-050 Suelos y Cimentaciones, y NTP 339.162 (ASTM D 420); para obtener muestras alteradas o inalteradas, existen las siguientes técnicas de muestreo:

Tabla 1

Técnicas De Investigación

Técnica de Investigación		Símbolo
Calicata o Pozo	C	
Perforación	P	
Trinchera	T	
Auscultación	A	

Nota. Tabla de simbología según la E.050 suelos y cimentaciones

2.2.3. Suelos

“Es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos” (Peck, 2001, p.29)

En construcción, el material más común para los procedimientos de Ingeniería Civil es el suelo. Este conforma la base de distintos tipos de estructuras como lo pueden ser: carreteras, puentes, canales, edificios, entre otros, los suelos son sistemas que satisfacen diferentes objetivos en las prácticas ingenieriles, siendo los principales componentes estabilizadores en edificaciones en general por lo cual es de suma importancia conocer el tipo de suelo en el que se realizarán los proyectos, así como sus características.

Tipos de Suelos. “Los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería.” (Braja, 2013, p.78)

Existen varios tipos de suelo, en especial si se consideran las diferentes formas de categorización que existen según el propósito, para el caso a la mano clasificaremos los suelos según el sistema unificado de clasificación de suelos:

- **Suelos Gruesos.** Grupo conformado por gravas y arena con menos del 50% atravesando la malla 200, siendo los símbolos utilizados:

G: Grava

S: Arena

Que a su vez se subdividen en 4 grupos según su composición:

W: Bien graduada

P: Pobrementemente graduada

M: Limosas

C: Arcillosas

- **Suelos Finos.** Suelos cuyas partículas atraviesan en un 50% o más el tamiz N° 200, para este apartado los símbolos utilizados son:

M: Limo inorgánico

C: Arcilla inorgánica

O: Limos orgánicos & arcillas

Pt: Turba, lodo y suelos altamente inorgánicos

Que a su vez utilizan los prefijos:

L: Baja plasticidad

H: Alta plasticidad.

2.2.4. Fases en la composición del suelo

Figura 1

Relaciones Peso-Volumen



Nota. Representación de la composición del suelo, según Casagrande.

Relaciones volumétricas

- **Índice de poros u oquedad (e)**

Es la razón del volumen de poros al volumen de los sólidos.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{Varía de 0.25 a 15}$$

Ecuación 1 Índice de poros u oquedad

0.25 = Arenas muy compactas

15 = Arcillas altamente compresibles

- **Porosidad (n)**

Es otra manera de expresar la relación entre los poros y los sólidos.

$$n(\%) = \frac{V_v}{V} * 100 \quad \text{Varía de 20% a 95%}$$

Ecuación 2 Porosidad

- **Saturación (s)**

Es la razón del volumen de agua al volumen de los poros.

$$s(\%) = \frac{V_w}{V_v} * 100 \quad \text{Varía de 0% a 100%}$$

Ecuación 3 Saturación

- **Relación aire vacíos (A_v)**

Es la razón del volumen de aire al volumen total.

$$A_v(\%) = \frac{V_a}{V} * 100$$

Ecuación 4 Relación Aire - Vacíos

Relaciones gravimétricas

- **Contenido de humedad**

La razón del peso del agua al peso de los sólidos.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad \text{Varía desde 0 a } \infty$$

Ecuación 5 Porcentaje de Humedad

- **El peso específico**

Es la razón del peso de la masa del suelo al volumen de la masa del suelo, se expresa en g/cm^3 ó g/cm^3

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Ecuación 6 Peso Específico

Peso específico del agua = 1 g/cm^3 o $1,000 \text{ g/cm}^3$

- **Gravedad específica (G_s)**

Es la razón entre la densidad y la densidad del agua

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

Ecuación 7 Gravedad Específica

2.2.5. Propiedades de los Suelos

2.2.5.1. Propiedades químicas

Sales Solubles. Son sustancias salinas con capacidad de disolverse en otras sustancias generando una solución que integra los componentes de la sustancia salina con la que se utilizó para disolverla.

Normativa. Para la realización del ensayo se tomará de base normativa a las normas **NTP 339.152**

$$SS = \frac{(m_2 - m_1) \times D}{E} \times 10^6$$

Ecuación 8 Total de Sales Solubles

Donde:

$$SS = \text{Total de sales solubles, en ppm} \left(\frac{mg}{kg} \right)$$

$(m_2 - m_1) = \text{peso del residuo de evaporación}$

$D = \text{Relación de la mezcla suelo: agua}$

$E = \text{Volumen de extracto acuoso evaporado (ml)}$

Tabla 2

Parámetros De Exposición A Sulfatos, Cloruros Y Sales Solubles

Presencia en el Suelo	ppm	Grado de Alteración	Tipo de Cemento	Observaciones
Sulfatos (SO ₄)	0 - 150	Leve	-	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
	150 - 1500	Moderado	MS, IP	
	1500 - 10000	Severo	V	
	>10000	Muy Severo	V + Puzolana	
Cloruros (Cl)	>6000	Perjudicial	-	Corrosión en armaduras
Sales Solubles Totales	>15000	Perjudicial	-	Pérdida de resistencia

Nota. La tabla especifica el grado de alteración por causa de la exposición química, según la E.060 Concreto Armado.

2.2.5.1.1. Propiedades hidráulicas

Permeabilidad. “Se dice que un material es permeable, cuando contiene huecos o intersticios continuos. Todos los suelos satisfacen esta condición, sin embargo, hay grandes diferencias en el grado de la permeabilidad de los diferentes suelos” (Peck, 2001, p.67).

Normativa. Para la realización del ensayo se tomará de base normativa a las normas **NTP 339.147**.

$$K = \frac{Vol \times L}{t \times h \times A}$$

Ecuación 9 Coeficiente de Permeabilidad

En donde:

K = Coeficiente de permeabilidad

Vol = Volumen

L = Longitud de la muestra

t = Tiempo total de descarga

h = Diferencia de cargas en los manómetros

A = Area transversal de la muestra

Tabla 3

Coeficiente de permeabilidad

K	k(cm/s)	Tipos de Suelos	Propiedad de Drenaje
10 ²	100		
10 ¹	10	Grava Limpia	
1	1		Buen Drenaje
10 ⁻¹	0.1		
10 ⁻²	0.01	Arenas Limpias, Mezclas de Grava y Arenas Limpias	
10 ⁻³	0.001		
10 ⁻⁴	0.0001	Arenas muy Finas, Limos Orgánicos e Inorgánicos. Mezclas de Arena, Limo y Arcilla. Morena Glacial.	Mal Drenaje
10 ⁻⁵	0.00001		

10 ⁻⁶	0.000001	Depósitos de Arcilla Estratificados, etc.	
10 ⁻⁷	0.0000001		
10 ⁻⁸	0.00000001	Suelos "Impermeables", Arcillas Homogéneas debajo de la zona de intemperismo	Prácticamente Impermeables
10 ⁻⁹	0.000000001		

Nota. Tabla de parámetros de evaluación de permeabilidad según A. Casagrande.

2.2.5.2. Propiedades físicas

Humedad. Hace referencia a la relación entre el peso del agua en una determinada masa con respecto al peso de las partículas sólidas, ósea la cantidad de agua que está presente en un material medida mediante análisis volumétrico o gravimétrico.

Porcentaje de humedad. se refiere a la cantidad de agua contenida en una muestra orgánica del material representada mediante un valor porcentual con respecto al peso total de la muestra.

Determinación de la humedad del suelo. esto se logra mediante una prueba rutinaria de laboratorio que arroja como resultado la cantidad de agua contenida en una muestra en términos de su peso seco, el contenido de humedad de un suelo se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

En donde:

W = contenido de humedad en %

W_w = peso del agua presente en la masa de suelo.

W_s = peso de partículas solidas

Normativa. El ensayo a realizar para determinar el contenido de humedad del suelo estará basado en la norma **ASTM D 2216** y la **NTP 339.127**.

Granulometría. Es la investigación de la repartición estadística de las distintas dimensiones que los elementos de un material pueden tener al fraccionarse, utilizando para esto tamices de diferentes graduaciones.

Tabla 4

Símbolos De Grupos Según SUCS

Tipos De Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien Graduado	W
Arena	S	Pobremente Graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite Líquido Alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite Líquido Bajo (<50)	H

Nota. Clasificación de suelos según la simbología del sistema unificado de clasificación de suelos.

Normativa. Para el siguiente ensayo granulométrico se tomará como base de ejecución a las normas **NTP. 339.128 & ASTM D - 422**

Límites de Atterberg. Hacen referencia a los límites de contenidos de humedad que diferencian los distintos estados de consistencia de un suelo de grano fino, siendo los estados:

- Estado sólido
- Estado semisólido
- Estado plástico

Estado semilíquido/viscoso Con esto en mente se definen los límites de la siguiente forma:

- El límite que separa a los estados sólido y semisólido se nombra límite de retracción
- El límite que separa a los estados semisólido y plástico se denomina límite plástico
- El límite que separa los estados plástico y semilíquido se llama límite líquido.

De esta manera un suelo de grano fino pasara entre distintos estados de consistencia de acuerdo a su contenido de humedad.

Tabla 5

Parámetros De Consistencia

Descripción	Símbolo	Condición
Baja Plasticidad	L	LL < 30%
Mediana Plasticidad	M	30% < LL < 50%
Alta Plasticidad	H	LL > 50%

Nota. Parámetros de evaluación para clasificación.

En la actualidad, se usa el término “Límites de Atterberg” para hacer referencia principalmente al límite plástico y límite líquido.

Normativa. Las normas que se tomarán como base para la ejecución del ensayo para la determinación de los límites de Atterberg serán la norma ASTM D 4318 y la NTP 339.129.

Límite líquido

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

En donde:

$W\%$ = contenido de humedad en %

W_w = peso del agua presente en la muestra

W_s = peso de la muestra seca

Una vez obtenidos los datos, se procederá a ubicarlos en el diagrama de fluidez, creando una recta entre los 3 ensayos que al interceptarse con el punto producto del contenido de humedad con el número de golpes dará como resultado el límite líquido.

Límite plástico

$$W_s = W_{ts} - W_t$$

Ecuación 10 Peso de la Muestra Seca

$$W_w = W_{tw} - W_t$$

Ecuación 11 Peso del Agua Presente en la Muestra

$$W\% = \frac{W_s}{W_w} * 100$$

En donde:

$W\%$ = contenido de humedad en %

W_w = peso del agua presente en la muestra

W_s = peso de la muestra seca

W_{tw} = peso de la tara + la muestra húmeda

W_{ts} = peso de la tara + la muestra seca

W_t = peso de la tara

Finalmente, para determinar el índice de plasticidad se utilizará la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 12 Índice de Plasticidad

En donde:

IP = Índice de plasticidad

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico

Densidad. Cuando hablamos de densidad hacemos referencia al total de material que se encuentra contenido en un volumen determinado de material, es la relación que existe entre la masa de un material y el espacio que esta ocupa en el espacio en el que está.

En el caso de esta investigación se realizará una prueba de densidad de campo in situ para determinar si se alcanzó la compactación especificada.

Normativa. Para la realización del ensayo se tomará de base normativa a las normas **NTP 339.143 & ASTM 1556.**

$$V = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1}$$

Ecuación 13 Volumen del Orificio de Prueba

Donde:

V = volumen del orificio de prueba. (cm³)

M₁ = Masa de arena en el orificio de prueba, embudo y plato (g)

M₂ = Masa de la arena utilizada para llenar el embudo y plato base. (g)

ρ₁ = Densidad del volumen de la arena

Para calcular la masa seca del material extraído del orificio se utiliza la siguiente formula:

$$M_4 = \frac{100M_3}{w + 100}$$

Ecuación 14 Masa Seca del Material del Hoyo de Ensayo

Donde:

$w =$ Contenido de humedad del material extraído (%)

$M_3 =$ masa húmeda del material del hueco de ensayo. (g)

$M_4 =$ Masa seca del material del hoyo de ensayo. (g)

Para calcular la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho_m = \frac{(M_3)}{V}$$

Ecuación 15 Densidad Húmeda del Material Probado

$$\rho_d = \frac{(M_4)}{V}$$

Ecuación 16 Densidad Seca del Material Probado

Donde:

$V =$ Volumen del orificio de prueba. (cm³)

$M_3 =$ Masa húmeda del material del orificio de prueba. (g)

$M_4 =$ Masa seca del material del hoyo de ensayo. (g)

$\rho_m =$ Densidad húmeda del material probado. ($\frac{g}{cm^3}$)

$\rho_d =$ Densidad seca del material probado. ($\frac{g}{cm^3}$)

2.2.5.3. Propiedades mecánicas

Estas son las principales propiedades; ya que, es indispensable conocer el comportamiento mecánico en cuanto a las cargas que el suelo será sometido durante la proyección de la estructura, en contraste con las anteriores propiedades; los resultados que nos aporta son directamente aplicables al diseño de cimentaciones, puesto que nos arroja información sobre los parámetros de resistencia y deformidad de un suelo. La evaluación de estos datos se realiza a través de pruebas in situ o en el laboratorio; con muestras inalteradas.

Estas pruebas tienden a ser más costosas, lentas y complicadas que las anteriores.

Cimentaciones superficiales. Conocidas como cimentaciones rasa o directa, se utiliza cuando el suelo de soporte es lo suficiente resistente para soportar la carga de la estructura y se caracterizan porque la relación entre la profundidad de desplate y el ancho del cimiento es menor igual a 5. Los tipos más comunes de cimentaciones:

- **Cimentaciones aisladas.** Son elementos que soportan cargas puntuales de columnas y las transmiten al suelo de fundación. Se utiliza usualmente en suelos firmes y competentes.
- **Cimentaciones corridas.** Son similares a las zapatas aisladas, pero se entienden a lo largo de una línea para soportar cargas distribuidas, como la de muros, estas son poco propensas a sufrir asentamientos.
- **Cimentaciones combinadas.** Se utilizan para soportar la carga de dos o más columnas, el espesor de este cimiento suele ser mayor al de un cimiento corrido o aislado.
- **Losas de cimentación.** Consiste en una placa de concreto armado que se extiende por debajo de toda la superficie de la estructura.

Análisis de la capacidad de carga. La capacidad de carga permisible que tolera el suelo de fundación, se caracteriza porque al aplicarse las cargas que soportan la cimentación no producen fallas en la estructura de soporte.

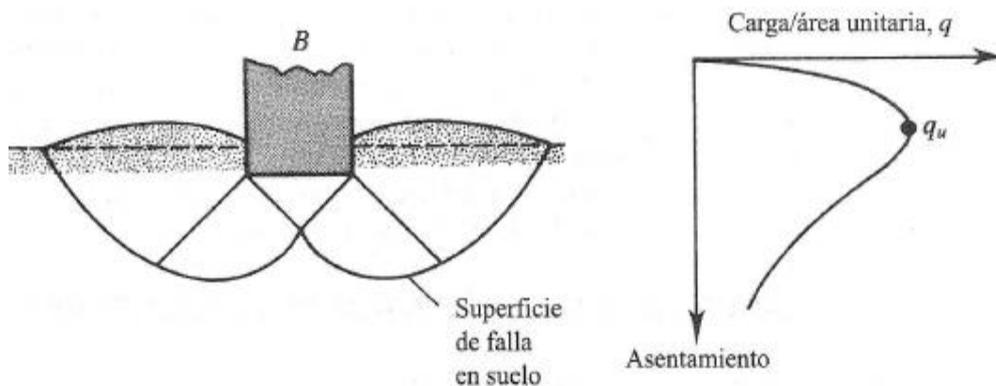
Exploración de las condiciones de cimentaciones superficiales. Para que este tipo de cimentaciones tengan un óptimo desempeño, es necesario contar con dos características fundamentales como ofrecer Resistencia Contra la Falla General Por Corte.

Los tipos de falla son:

- **Falla por corte general.** Se manifiesta con un deslizamiento súbito y continuo del terreno, son fallas frágiles que tiene origen en la base de la cimentación, extendiéndose hasta a los costados de la superficie de la misma. Según Baja M. Das estas fallas surgen mayormente en suelos cohesivos rígidos o arenas densas.

Figura 2

Modo De Falla Por Corte General

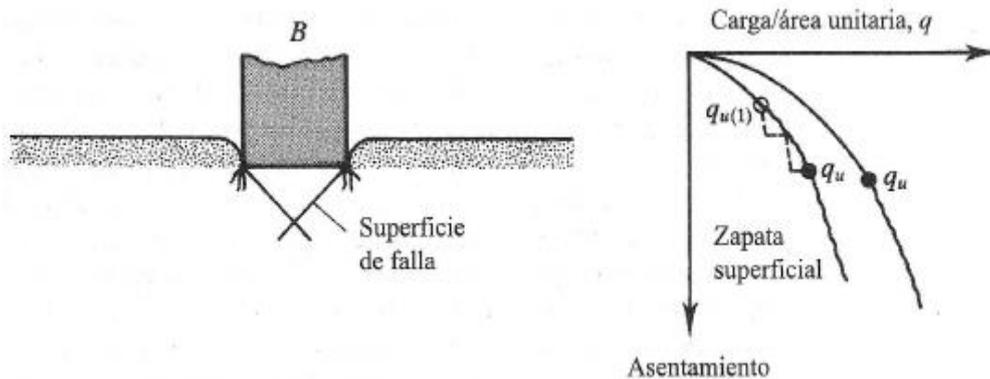


Nota. Se expresa gráficamente el modo de falla por capacidad de carga.

- **Falla por punzonamiento.** Esta falla depende de la compresibilidad del suelo que yace bajo la cimentación, y está en relación a la carga existente, Según Baja M. Das esta falla se da en suelos bastante sueltos, en los cuales se genera una compresión inmediata con un asentamiento vertical que no se transmite a los costados de la cimentación, manteniendo el equilibrio vertical y horizontal.

Figura 3

Modo De Falla Por Punzonamiento

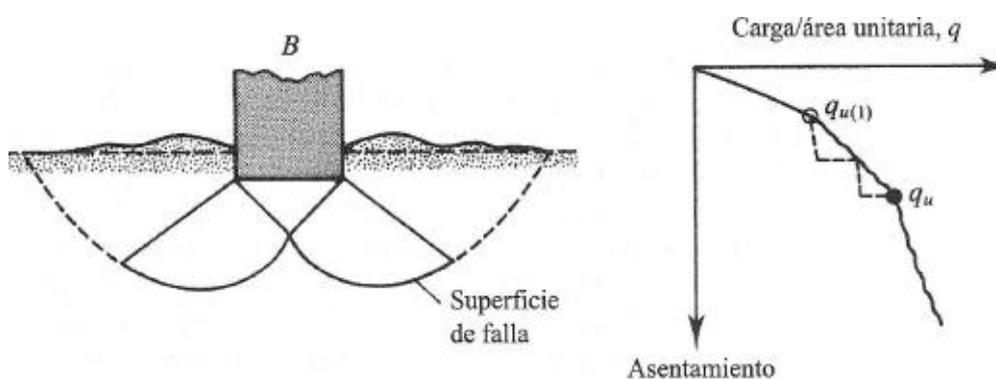


Nota. Se expresa gráficamente el modo de falla por capacidad de carga.

- **Falla por corte local.** Esta falla se caracteriza por la confluencia de las dos fallas anteriores, normalmente los suelos propensos a experimentar esta rotura son los suelos arcillosos de compactación media, estos suelos se caracterizan por tener tendencias al bufamiento por lo que causa un deslizamiento vertical y si este es muy grande, los desplazamientos llegan hasta la superficie del terreno.

Figura 4

Modo De Falla Por Corte Local



Nota. Se expresa gráficamente el modo de falla por capacidad de carga.

- a) No Presentar Desplazamiento o Asentamiento Mayor al Admisible

2.2.5.4. Ensayos para determinar los parámetros mecánicos

Penetrómetro Dinámico Ligero (DPL). Es un instrumento utilizado para medir la resistencia del suelo a la penetración. Se utiliza principalmente para evaluar la densidad relativa y la consistencia del suelo. La función principal del penetrómetro ligero es medir la resistencia que ofrece el suelo al penetrar una varilla delgada en su interior. El instrumento consiste en una varilla delgada con un extremo en forma de cono que se empuja en el suelo y un indicador que mide la resistencia del suelo a la penetración.

Normativa. Para la realización del ensayo se tomará de base normativa a las normas **NTP 339.159**

2.2.5.5. Métodos analíticos para determinar la capacidad portante

Estos métodos se han encontrado a través del desarrollo de ecuaciones, basadas en el estudio de mecánica de suelos y gracias a los diferentes enfoques de cada investigador, los más comunes son:

Método de Terzaghi. Este método fue una de las primeras teorías completas para cimentaciones superficiales tales como; continuas, cuadradas y circulares, se basa en la consolidación unidimensional. Se considera que la capacidad portante del suelo depende de su resistencia al corte y de la presión efectiva del suelo.

Modo de falla por corte general

Cimentaciones continuas

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma \cdot BN_\gamma$$

Ecuación 17 Capacidad de Carga Última por Corte General para Cimentaciones Corridas

c = cohesión del suelo.

y = peso específico del suelo.

$q = \gamma \cdot D_f$

D_f = profundidad de desplante de la cimentación.

B = menor lado de la cimentación.

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga (son adimensionales y se encuentran en función del ángulo de fricción del suelo ϕ)

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

Ecuación 18 Factor de Capacidad de Carga N_c para Corte General

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)}$$

Ecuación 19 Factor de Capacidad de Carga N_q para Corte General

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

Ecuación 20 Factor de Capacidad de Carga N_γ para Corte General

Donde:

$K_{py} = 3 \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi+33}{2}\right)$ = coeficiente de empuje pasivo

Ecuación 21 Coeficiente de Empuje Pasivo

Cimentaciones cuadradas

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

Ecuación 22 Capacidad de Carga Última por Corte General para Cimentaciones Cuadradas

Cimentaciones circulares

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma$$

Ecuación 23 Capacidad de Carga Última por Corte General para Cimentaciones Circulares

Modo de falla por corte local

Para este tipo de falla, las ecuaciones se sustituyen por:

$$q_u = \frac{2}{3}cN'_c + qN'_q + 0.3\gamma BN'_\gamma \text{ (Cimentación corrida)}$$

Ecuación 24 Capacidad de Carga Última por Corte Local para Cimentaciones Corridas

$$q_u = 0.867cN'_c + qN'_q + 0.4\gamma BN'_\gamma \text{ (Cimentación cuadrada)}$$

Ecuación 25 Capacidad de Carga Última por Corte Local para Cimentaciones Cuadradas

$$q_u = 0.867cN'_c + qN'_q + 0.3\gamma BN'_\gamma \text{ (Cimentación circular)}$$

Ecuación 26 Capacidad de Carga Última por Corte Local para Cimentaciones Circulares

Donde:

$$c' = (2/3)c$$

Ecuación 27 Cohesión Modificada para Corte Local

N'_c , N'_q , N'_γ = factores de capacidad de carga modificado. Se calculan utilizando las ecuaciones para los factores de capacidad de carga (para N_c , N_q , N_γ) sustituyendo ϕ por $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3}\tan\phi\right)$.

Método de Meyerhof. Se basa en la teoría de Terzaghi, y adicionalmente propone añadir coeficientes de profundidad, forma e inclinación, para más precisión.

Carga vertical

$$q_u = cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

Ecuación 28 Capacidad de Carga Última para Cargas Verticales Según Meyerhof

Carga inclinada

$$q_u = cN_c d_c i_c + qN_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Ecuación 29 Capacidad de Carga Última para Cargas Inclinadas Según Meyerhof

Factores de capacidad de carga

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

Ecuación 30 Factor de Capacidad de Carga N_q Según Meyerhof

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

Ecuación 31 Factor de Capacidad de Carga N_c Según Meyerhof

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1.4\phi)$$

Ecuación 32 Factor de Capacidad de Carga N_γ Según Meyerhof

Factores de forma

$$S_c = 1 + 0.2 \cdot K_p \frac{B}{L}, \text{ para cualquier valor de } \phi$$

Ecuación 33 Factor de Forma para Cualquier Ángulo de Fricción

$$S_c = S_c = 1 + 0.1 \cdot K_p \frac{B}{L}, \text{ para } \phi > 10^\circ$$

Ecuación 34 Factor de Forma para Ángulos de Fricción Mayores a 10°

$$S_q = S_\gamma = 1, \text{ para } \phi = 0$$

Ecuación 35 Factor de Forma para Ángulos de Fricción Iguales a 0°

Factores de profundidad

$$d_c = 1 + 0.2 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D_f}{B}, \text{ para cualquier valor de } \phi$$

Ecuación 36 Factor de Profundidad para Cualquier Ángulo de Fricción

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D_f}{B}, \text{ para } \phi > 10^\circ$$

Ecuación 37 Factor de Profundidad para Ángulos de Fricción Mayores a 10°

$$d_q = d_\gamma = 1, \text{ para } \phi = 0$$

Ecuación 38 Factor de Profundidad Para Ángulos de Fricción Iguales a 0°

Factores de inclinación de la carga

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2, \text{ para cualquier valor de } \phi$$

Ecuación 39 Factor de Inclinación para Cualquier Ángulo de Fricción

$$i_y = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2, \text{ para } \phi > 10^\circ$$

Ecuación 40 Factor de Inclinación para Ángulos de Fricción Mayores a 10°

$$i_y = \text{ para } \phi = 0$$

Ecuación 41 Factor de Inclinación para Ángulos de Fricción Iguales a 0°

Donde:

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Ecuación 42 Coeficiente de Presión Pasiva de tierra de Rankine

θ = ángulo de la fuerza inclinada respecto a la vertical

Método de Vesic. Se basa en la teoría de la elasticidad y considera que la capacidad portante del suelo depende de la presión de contacto, el área de la cimentación y las propiedades elásticas del suelo.

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Ecuación 43 Capacidad de Carga Última Segun Vesic

Factores de capacidad de carga

$$N_\gamma = 2(N_q - 1)\tan\phi$$

Ecuación 44 Factor de Capacidad de Carga Ny Segun Vesic

N_q = Igual al factor para la Ec. de Meyerof

N_c = Igual al factor para la Ec. de Meyerof

Factores de forma

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

Ecuación 45 Factor de Forma Sc Según Vesic

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

Ecuación 46 Factor de Forma Sq Según Vesic

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

Ecuación 47 Factor de Forma Sy Según Vesic

Sc, Sq, Sy = 1, para zapatas continuas

Ecuación 48 Factor de Forma Segun Vesic Para Zapatas Continuas

Factores de profundidad

$$d_c = 1 + 0.1 \cdot k$$

Ecuación 49 Factor dc Profundidad dc Según Vesic

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan\phi \cdot (1 - \sin\phi)^2 \cdot k$$

Ecuación 50 Factor dq Profundidad dc Según Vesic

dy = 1, para cualquier valor de ϕ

Ecuación 51 Factor dy Profundidad dc Según Vesic

Factores de inclinación de la carga

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^m$$

Ecuación 52 Factor de Inclinación iq Según Vesic

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

Ecuación 53 Factor de Inclinación ic Según Vesic

$$i_v = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^{m+1}$$

Ecuación 54 Factor de Inclinación y Según Vesic

Para $\phi = 0$

$$i'_c = 1 - \frac{m \cdot H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

Ecuación 55 Factor de Inclinación para Ángulos de Fricción Iguales a 0

Factores de seguridad. Es una medida de la capacidad de carga que se utiliza para garantizar que la cimentación sea capaz de soportar las cargas que se aplican sobre ella sin fallar.

El FS se define como la relación entre la carga máxima que puede soportar la cimentación y la carga máxima que se espera que actúe sobre ella. En otras palabras, es la relación entre la resistencia de la cimentación y la carga de diseño.

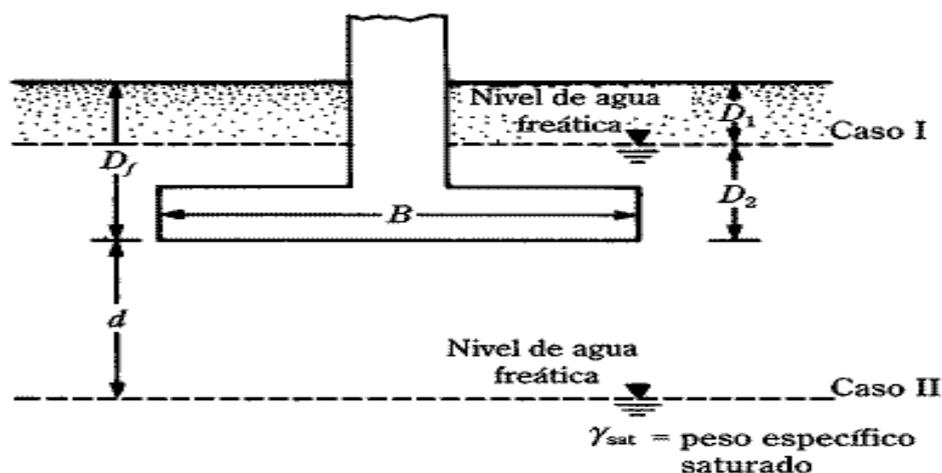
$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

Ecuación 56 Capacidad de Carga Admisible Considerando Factor de Seguridad

Modificación de capacidad de carga por nivel freático. Esta modificación se realiza solo si el nivel freático está cerca de la cimentación, por lo tanto, será necesario modificar la ecuación de capacidad de carga.

Figura 5

Casos Para Modificación



Nota. Se muestran los casos que se presentan en las cimentaciones superficiales, para realizar la modificación por nivel freático.

CASO I. si el nivel freático se encuentra a $0 \leq D_1 \leq D_f$, el factor q en las ecuaciones de capacidad de carga toma la forma.

$$q = \text{sobrecarga efectiva} = D_1\gamma + D_2(\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

Ecuación 57 Sobrecarga Efectiva para el Primer Caso de Modificación por Nivel Freático

Donde:

γ_w = peso específico del agua

γ_{sat} = peso específico del suelo

2.2.5.6. Suelos Colapsables

Son aquellos suelos que, por su contenido de sales solubles, pierden material cementante causando deformaciones en su estructura al ser saturados, esto lleva a inestabilidades en taludes, colapso en cimentaciones y en consecuencia fallas en estructuras.

Entre las características que componen un suelo colapsable podemos encontrar:

- **Estructura macro porosa**, con índice entre alto y muy alto de vacíos
- **Granulometría predominantemente fina**, con porcentajes predominantes de limos y arcilla.
- **Baja graduación**, teniendo un tamaño de granos generalmente poco distribuido.
- **Escasa meteorización**, se puede observar en sus granos más grandes.

- **Estructura mal acomodada**, presentando partículas de mayor tamaño separadas por vacíos y unidas por puentes de material arcilloso.
- **Presencia de cristales de sales solubles**, se suelen encontrar insertados en las uniones arcillosas.

Origen. Los suelos colapsables son usualmente suelos que por acción del viento y agua fueron transportados y acabaron generando depósitos, lo cual produce fallas en su cohesión.

Entre los diferentes orígenes se pueden ver rellenos arenosos sin compactar, cenizas volcánicas y dolinas en zonas kársticas.

Tipos. Entre los tipos de suelos colapsables más comunes tenemos:

- **Suelos arenosos residuales.** Estos se encuentran no saturados y presentan baja cohesión producto de deslaves.
- **Tobas blancas.** Tipo de terreno volcánico de alto porcentaje de poros que resulta de la acumulación de cenizas u otros pequeños elementos volcánicos.
- **Aglomerados piroclásticos.** Son productos volcánicos compuestos por material fragmentados producto de una erupción.
- **Limos yesíferos.** Suelos de alto porcentaje de yeso, con baja densidad seca, baja plasticidad y en general bajas características de resistencia.
- **Arenas eólicas.** Son depósitos de sedimentos transportados por el viento que carecen de consolidación.

- **Suelos loessicos.** También son depósitos sedimentarios de origen eólico, usualmente formados por limos transportados por tormentas de polvo.

Ensayo para la determinación del potencial de colapso de un suelo.

Cuando existe evidencia de un suelo colapsable, se fundamenta su evaluación a través del resultado de la prueba de colapsabilidad potencial.

Edómetro. El ensayo consiste en colocar una muestra inalterada de suelo con su contenido natural de humedad en un edómetro, aplicando un esfuerzo vertical predeterminado a la muestra, y saturándolo, para inducir el potencial de colapso en la muestra del suelo. El fluido debe ser agua destilada, para simular la presión de poros de la muestra en condiciones de campo si fuera necesario.

Normativa. Para la realización del ensayo se tomará de base normativa a las normas **NTP 339.163**, para determinar el potencial de colapso.

$$I_c = Cp = \frac{\Delta_e}{1+e_0} \times 100$$

Ecuación 58 Potencial de Colapso en Porcentaje

$$Cp(\%) = \frac{\Delta H_c}{H_0}$$

Ecuación 59 Potencial de Colapso en Porcentaje

Donde:

I_c, Cp = Potencial de colapso (%)

Δ_e = Cambio en la relación de vacíos resultante del humedecimiento.

e_0 = Relación de vacíos inicial

Tabla 6

Criterios De Severidad

Cp(%)	Severidad del Problema
0 - 1	No colapsa
1 - 5	Colapso moderado
5 - 10	Colapso
10 - 20	Colapso severo
>20	Colapso muy severo

Nota. Se establecen los rangos de severidad, según la E 0.50

2.2.5.7. Asentamiento

Es un fenómeno que surge en la construcción a partir de las cargas aplicadas sobre las cimentaciones y que provoca el hundimiento vertical en las mismas.

El asentamiento es un aspecto importante para el diseño estructural, ya que afecta la estabilidad y la integridad de la estructura a lo largo del tiempo, por lo tanto; se realiza el análisis y cálculos de asentamientos durante la etapa del diseño para garantizar que las cimentaciones sean adecuadas y seguras. Los dos tipos de asentamientos a considerar son:

- **Asentamiento elástico.** Es el hundimiento inicial que ocurre inmediatamente después de la aplicación de la carga sobre la cimentación. Este tipo de asentamiento se debe a la deformación elástica del suelo y la estructura.

$$I_s = \text{Factor de forma (Steinbrenner, 1934)}$$

$$I_s = F_1 + \frac{1-2\mu_s}{1-\mu_s} * F_2 \quad \text{Ecuación 60}$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} * (A_0 + A_1) \quad \text{Ecuación 61}$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} * \tan^{-1} * A_2) \quad \text{Ecuación 62}$$

$$A_0 = m' * \ln \frac{(1+\sqrt{m'^2+1}) * \sqrt{m'^2+n'^2}}{m'(1+\sqrt{m'^2+n'^2+1})} \quad \text{Ecuación 63}$$

$$A_1 = \ln \frac{(m'+\sqrt{m'^2+1}) * \sqrt{1+n'^2}}{m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \quad \text{Ecuación 64}$$

$$A_2 = \frac{m'}{n'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \quad \text{Ecuación 65}$$

$I_f =$ Factor de profundidad (Fox, 1948)

$$I_s = f\left(\frac{Df}{B} * \mu_s, \gamma \frac{L}{B}\right) \quad \text{Ecuación 66}$$

$\alpha =$ Depende de la posición donde el asentamiento está siendo calculado.

Para calcular el asentamiento en el centro de la cimentación, usamos:

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B} \quad \text{Ecuación 67}$$

$$n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)} \quad \text{Ecuación 68}$$

Para calcular el asentamiento en una esquina de la cimentación, usamos:

$$\alpha = 1$$

$$m' = \frac{L}{B} \quad \text{Ecuación 69}$$

$$n' = \frac{H}{B} \quad \text{Ecuación 70}$$

Tabla 7

Parámetros Elásticos para Distintos Suelos

Tipo de Suelo	lb/pulg ²	kg/cm ²	Relación de Poisson
Arena suelta	1500 – 3500	105 – 250	0.20 – 0.40
Arena densa media	2500 – 4000	175 – 280	0.25 – 0.40

Arena densa	5000 – 8000	350 – 560	0.30 – 0.45
Arena limosa	1500 -2500	105 – 175	0.20 – 0.40
Arena y grava	10000 – 25000	700 – 1760	0.15 – 0.35
Arcilla suave	600 – 3000	40 – 210	
Arcilla media	3000 – 6000	210 – 420	0.20 – 0.50
Arcilla firme	6000 - 14000	420 – 985	

Nota. Tabla de parámetros elásticos según Braha M. Das.

- **Asentamiento por consolidación** (S_c). Hundimiento lento y gradual que ocurre a lo largo del tiempo debido a la expulsión del agua presente en los poros del suelo. A medida que el agua se drena, los sedimentos se comprimen y el suelo experimenta un asentamiento por consolidación, este tipo de asentamiento puede llevar semanas, meses o incluso años en completarse, dependiendo de las características del suelo y la carga aplicada.

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$$

Ecuación 71 Grado de Sobreconsolidación

OCR = Grado de sobreconsolidación

$$S_c = H \left(\frac{\Delta_e}{1 + \Delta_e} \right)$$

Ecuación 72 Asentamiento por Consolidación

S_c = Asentamiento por consolidación

Δ_e = Cambio en la relación de vacíos resultante del humedecimiento.

H = altura del estrato

Para arcilla normalmente consolidada

$$S_c = H \left(\frac{C_c}{1 + e_0} \right) \cdot \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right)$$

Ecuación 73 Asentamiento por Consolidación para Arcilla Normalmente Consolidada

C_c = índice de compresión

e_0 = Índice de vacíos inicial

Para arcilla pre o sobre consolidada

$$S_c = H \left(\frac{C_c}{1 + e_0} \right) \cdot \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \right) + H \left(\frac{C_c}{1 + e_0} \right) \cdot \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} \right)$$

Ecuación 74 Asentamiento por Consolidación para Arcilla Pre o Sobre Consolidada

2.3. Marco Conceptual

Análisis de Colapsabilidad. Se refiere a las pruebas de consolidación hechas en laboratorio en las cuales se simula una muestra saturada sometida a cargas de magnitudes prefijadas.

Asentamiento diferencial. Es la relación entre la diferencia de nivel de dos cimentaciones contiguas de una misma estructura.

Asentamiento admisible o tolerable. Es el máximo asentamiento diferencial, que no genera daños o problemas estructurales.

Capacidad de carga. Presión necesaria para suscitar la falla de la cimentación por corte, sin tomar en cuenta el factor de seguridad.

Capacidad de carga última neta ($q_{\text{net}(u)}$). “Se define como la presión última por unidad de área de la cimentación soportada por el suelo en exceso de la presión causada por el suelo alrededor al nivel de la cimentación. Si la diferencia entre el peso específico del concreto usando en la cimentación y el peso específico del suelo que rodea a ésta se supone despreciable” (Braja, 2001, p.398).

Capacidad de carga admisible por asentamiento. Es la fuerza que, al ser aplicada a la cimentación, produce un igual o menor asentamiento que el admisible.

Cimentación Corrida. Tipo de cimentación utilizada en la construcción para distribuir la carga de una estructura de manera uniforme sobre el suelo de soporte. Consisten en una losa de concreto continua que se extiende a lo largo de la base de los muros perimetrales de un edificio.

Cimentación Cuadrada. Tipo de cimentación que se caracteriza por su forma cuadrada y se utiliza para distribuir cargas de manera uniforme en una estructura sobre el suelo subyacente. El diseño y las dimensiones de la cimentación cuadrada se determinan en función de varios factores y deben ser calculados y planificados por un ingeniero estructural profesional.

Colapso. Cambio brusco en el volumen de un suelo ante el aumento de cargas o contenido de humedad.

Consolidación. Reducción gradual en el volumen del suelo por compresión bajo cargas estáticas expulsando así agua y aire fuera de los vacíos.

Deformación estructural. Cambio en el estado físico e integridad de un elemento estructural que puede ser causado por variaciones de temperatura, fuerzas externas, asentamiento de cimentaciones, entre otros.

Estudio de Mecánica de Suelos (EMS). Conjunto de investigaciones in situ, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete; que tienen como propósito estudiar el comportamiento de los suelos y sus reacciones ante sollicitaciones estáticas y dinámicas de una edificación.

Grado de saturación de un suelo. Proporción que indica el contenido de agua en un suelo respecto a sus vacíos, se expresa como un porcentaje

relacionando la cantidad de agua con la del volumen total de la muestra de suelo.

Mejoramiento de suelo. Conjunto de procedimientos que tienen como objetivo enmendar las carencias de un suelo con características poco favorables para así volverlos aptos y seguros.

Mecánica de suelos. Es el área de la ingeniería que se dedica al estudio de cargas y fuerzas impuestas en la superficie terrestre.

Potencial de colapso. Relación obtenida de la diferencia de propiedades índice del suelo (altura saturada/cargada vs altura inicial) que puede ser obtenida con los ensayos NTP 339.163 o ASTM D 5333.

Propiedades del suelo. Características propias del suelo, que pueden ser físicas, químicas y mecánicas; incluyendo y no limitándose a clasificación del suelo, contenido de humedad natural, densidad, límites de Atterberg, densidad relativa y sales.

Problemas especiales de cimentación. Condiciones bajo las cuales no se puede cimentar directamente sobre el suelo, incluyen: suelos colapsables, ataque químico por suelos y aguas subterráneas, suelos expansivos, licuación de suelos.

Suelo colapsable. Suelos que, por su composición, cambian rápidamente su volumen por acción de incremento de carga y/o incremento del contenido de humedad, debido a la disolución del agente cementante.

2.4. Sistema de hipótesis

Tabla

8

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Instrumentos
Potencial de colapso	Es el valor del colapso determinado; en suelos que cambian violentamente de volumen por la acción combinada o individual de las siguientes acciones: al ser sometidos a un incremento de carga o al humedecerse o saturarse. (NTP E.050 Suelos y Cimentaciones, Capítulo VI).	Estos parámetros y fenómenos cuantitativos sirven como referencia para el diseño de la cimentación o cualquier otra estructura en contacto directo con el suelo. Mide la forma procedimental que se da a la variable.	Propiedades Físicas Propiedades Químicas Propiedades Hidráulicas Propiedades Mecánicas.	Granulometría Contenido de Humedad Densidad Límites de Atterberg Sales solubles Coeficiente de permeabilidad. Parámetros de resistencia	Fichas de recolección de datos en campo y laboratorio Fichas técnicas de resultados Formato de programa en excel Manual De Ensayo De Materiales

Nota. El cuadro detalla la operacionalización de la variable y el método de medición de la investigación.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. De acuerdo a la orientación o finalidad: Investigación Aplicativa

3.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación: Investigación Cuantitativa

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

Los suelos del distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de la Libertad.

3.2.2. Muestra

Los suelos del sector La Cobranza del distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de la Libertad que fueron caracterizados con 16 puntos de exploración divididos en 12 calicatas y 4 auscultaciones mediante DPL.

3.3. Diseño de investigación

Investigación no experimental de alcance descriptivo para la cual se emplearon 16 puntos de exploración.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

- Observación directa en campo.
- Observación directa en laboratorio.
- Fichas técnicas de recolección de datos.
- Fichas técnicas de recolección de resultados de laboratorio.
- Software de procesamiento (Excel).

Tabla 9*Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnicas	Instrumentos	Usos
Toma de Muestras	Palas, Pico, Bolsas Herméticas.	Se excavaron calicatas para obtener muestras representativas del tipo de suelo de la zona.
Registro de Muestras	Ficha Técnica de Registro.	Registro de Muestras según calicatas.
Caracterización de Suelo	Tamiz, Copa de Casagrande, Horno, Balanza, Cono de Arena, Fiola, Dispositivo de Carga.	Se determinaron las propiedades del suelo de las muestras tomadas.
Consolidación Edométrica	Edómetro, anillos de acero, Horno, Agua.	Se determinara el potencial de colapso del suelo.

Nota. Se muestran las técnicas, instrumentos y usos para llevar a cabo la investigación.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Para realizar esta investigación se hará uso del siguiente proceso durante el desarrollo:

- Se llegó a la zona de estudio donde se procedió a aplicar la técnica de reconocimiento en campo para la posterior selección y extracción de muestras de suelo in situ, para las extracciones necesarias se excavaron calicatas.
- Las calicatas fueron excavadas con una profundidad de 2.00m en puntos esparcidos homogéneamente en la totalidad del área de estudio para así obtener evidencia representativa.

- Tras cada excavación se procedió a realizar el ensayo del cono de arena para determinar in situ el valor de la densidad natural de cada calicata utilizando muestras inalteradas.
- Se tomaron muestras de cada estrato en todas las excavaciones.
- Se procedió a llevar estas muestras al laboratorio, donde se aplicó la técnica de observación directa en laboratorio mediante estudios para así lograr caracterizar el suelo.
- Con los datos obtenidos de los ensayos se procedió a clasificar el suelo y proponer un óptimo dimensionamiento de cimentaciones para la zona de estudio.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

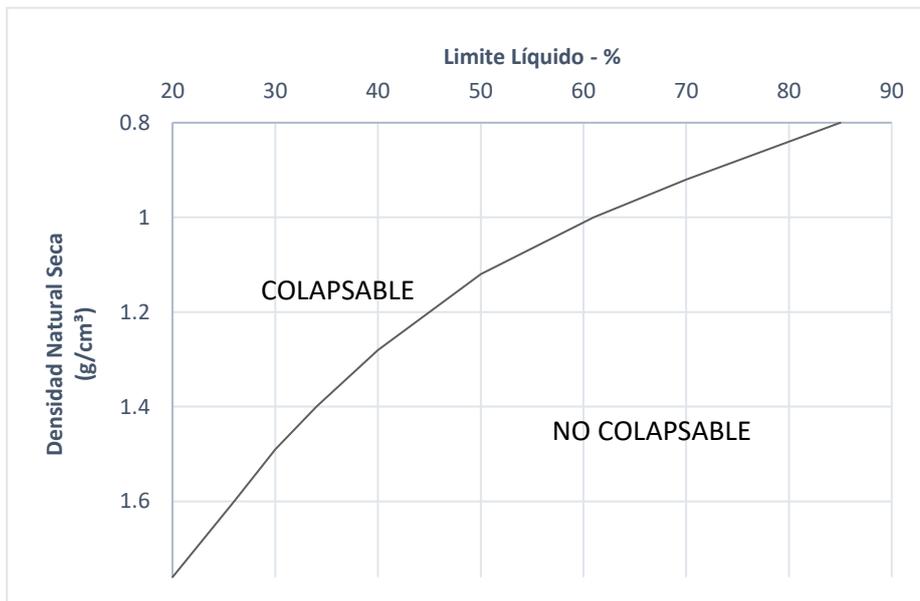
4.1. Análisis e interpretación de resultados

Tabla 10

Cuadro resumen de propiedades físicas, químicas e hidráulicas.

Calicata	N.A.F.	Prof Muestreo _(m)	Propiedades Físicas					P. Químicas	P. Hidráulicas	
			Humedad Natural (%)	LL	LP	IP	SUCS	Densidad Natural g/cm ³	Sales Solubles _{ppm}	Coficiente de Permeabilidad _{cm/h}
C-1	-1.40 m.	-1.30	19.45	26.25	23.56	2.69	SM	1.941	3390	
C-2	-1.40 m.	-1.30	21.51	25.45	22.01	3.44	SM			
C-3	-1.32 m.	-1.20	25.29	22.07	20.1	1.97	SM	1.938	2190	576.55
C-4	-1.34 m.	-1.20	24.61	27.33	24.69	2.64	SM			
C-5	-1.36 m.	-1.20	21.22	24.12	21.6	2.52	SM	1.945	3540	
C-6	-1.42 m.	-1.30	23.72	27.02	23.9	3.12	SM			659.75
C-7	-1.51 m.	-1.40	19.19	24.02	20.75	3.27	SM	1.978	4080	
C-8	-1.36 m.	-1.30	22.49	21.98	19.94	2.04	SM			
C-9	-1.48 m.	-1.40	20.35	26.63	24.86	1.77	SM	1.956	3870	602.67
C-10	-1.38 m.	-1.30	25.15	23.47	21.59	1.88	SM			
C-11	-1.29 m.	-1.20	23.27	22.79	20.45	2.34	SM	1.985	4620	
C-12	-1.28 m.	-1.20	25.91	25.08	21.5	3.58	SM			541.19

Nota. Relación de los resultados de la caracterización física, química e hidráulica de las muestras.

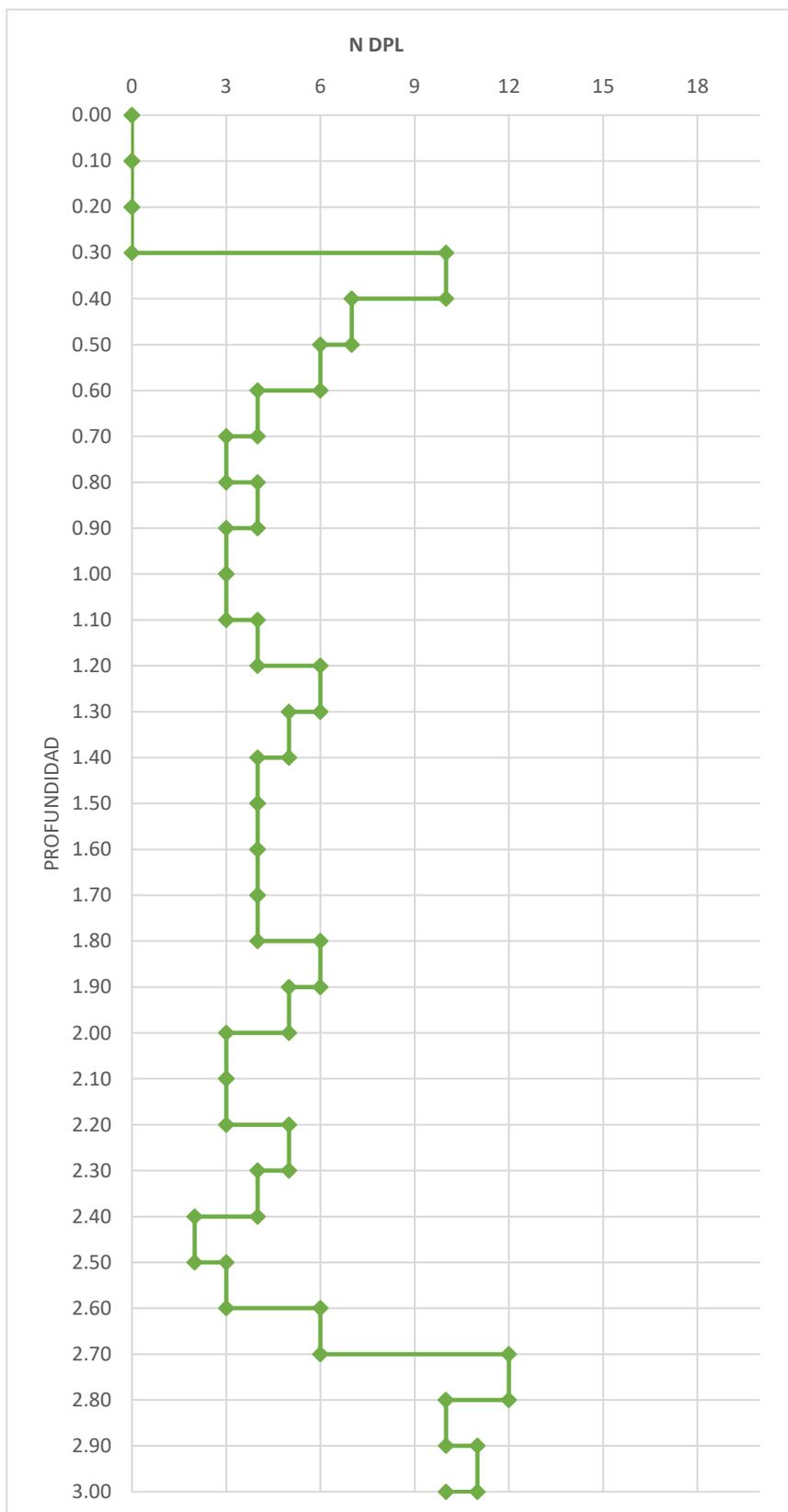
Gráfico 1*Criterios de potencial de colapso*

Nota. Según el gráfico establecido en la norma E0.50, inferimos que, de acuerdo a nuestros valores obtenidos en las propiedades físicas, el suelo en estudio no presenta colapso.

Tabla 11*Resumen de propiedades mecánicas de la auscultación N°1*

Prof _(m)	n _{DPL}	N _{SPT}	N _{NAF}	Densidad Unitaria	Esfuerzo Total	Esfuerzo Efectiva $\sigma'v$	Corrección Esfuerzo Efectivo C _N			Menor C _N	N corregido	SUCS	Angulo Pico efectivo de Fricción ϕ		Menor ϕ
							Peck, Hanson y Thor.	Liao y Whitman	Seed				Peck, Hanson y Thor.	Hatanaka y Uchida	
0.00	0	0	0	0.00	0.000	0.00	-	-	-	-	-	-	-	0	0
0.50	23	4	4	1.58	0.079	0.079	1.00	1.00	1.00	1.00	4	SM	28.3	28.9	28.3
1.00	10	2	2	1.58	0.158	0.158	1.00	1.00	1.00	1.00	2	SM	27.7	26.3	26.3
1.50	13	3	3	1.58	0.237	0.237	1.00	1.00	1.00	1.00	3	SM	28.0	27.7	27.7
2.00	14	3	3	1.92	0.333	0.333	1.37	1.73	1.60	1.37	4	SM	28.3	28.9	28.3
2.50	9	2	2	1.92	0.429	0.379	1.33	1.62	1.53	1.33	3	SM	28.0	27.7	27.7
3.00	31	6	6	1.92	0.525	0.425	1.29	1.53	1.46	1.29	8	SM	29.5	32.6	29.5

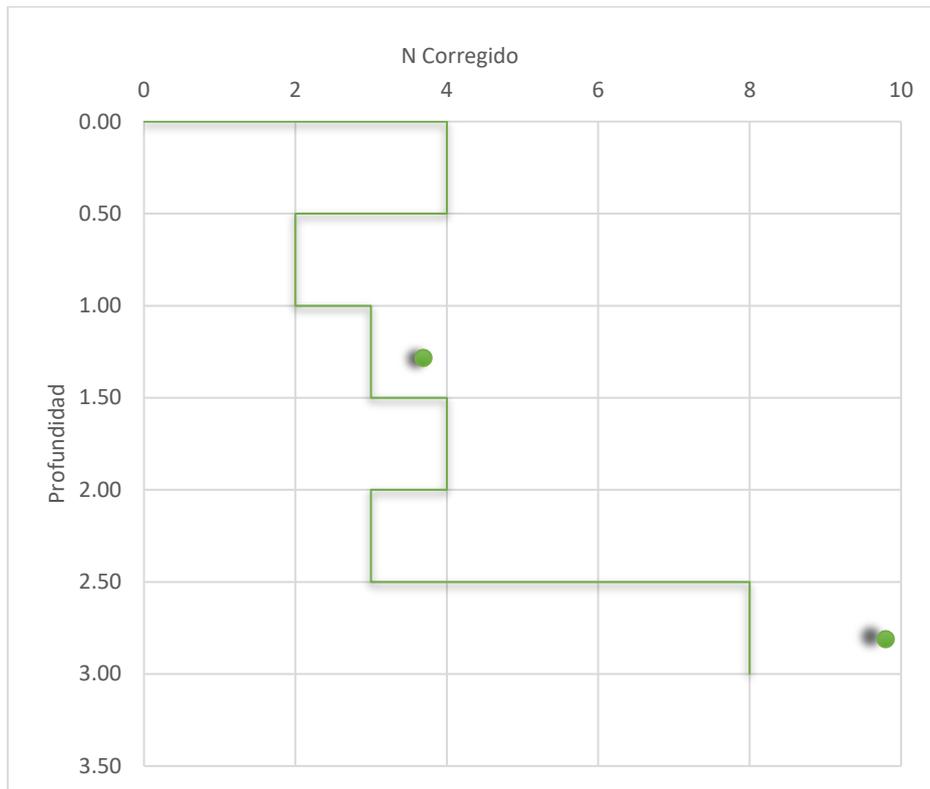
Nota. Relación de los resultados de la caracterización mecánica de las muestras.

Figura 6*Profundidad vs NDPL de la auscultación N°1*

Nota. Gráfica de perforación por capa de la primera auscultación.

Figura 7

Profundidad vs N Corregido de la Auscultación N°1

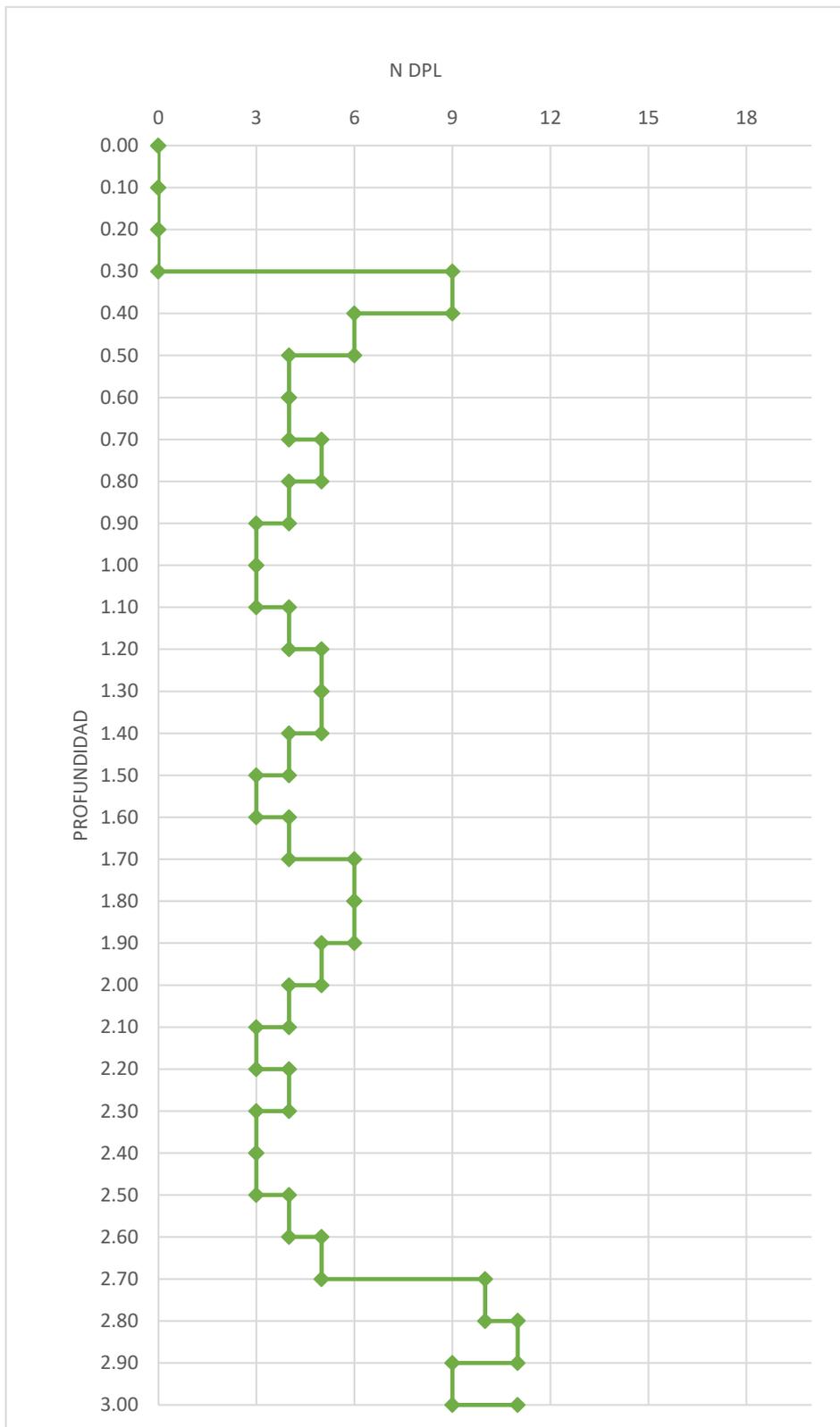


Nota. La figura representa los valores corregidos como resultado entre la correlación del ensayo del DPL al SPT.

Tabla 12*Resumen de propiedades mecánicas de la auscultación N°2*

Prof _(m)	n _{DPI}	N _{SPT}	N _{NAF}	Densidad Unitaria	Esfuerzo Total	Esfuerzo Efectiva σ'_v	Corrección Esfuerzo Efectivo CN			Menor CN	N corregido	SUCS	Angulo Pico efectivo de Fricción ϕ		Menor ϕ
							Peck, Hanson y Thor.	Liao y Whitman	Seed				Peck, Hanson y Thor.	Hatanaka y Uchida	
0.00	0	0	0	0.00	0.000	0.00	-	-	-	-	-	-	0.00	0	0
0.50	19	4	4	1.58	0.079	0.079	1.00	1.00	1.00	1.00	4	SM	28.3	28.9	28.3
1.00	10	2	2	1.58	0.158	0.158	1.00	1.00	1.00	1.00	2	SM	27.7	26.3	26.3
1.50	12	2	2	1.58	0.237	0.237	1.00	1.00	1.00	1.00	2	SM	27.7	26.3	26.3
2.00	15	3	3	1.92	0.333	0.333	1.37	1.73	1.60	1.37	4	SM	28.3	28.9	28.3
2.50	10	2	2	1.92	0.429	0.379	1.33	1.62	1.53	1.33	3	SM	28.0	27.7	27.7
3.00	31	6	6	1.92	0.525	0.425	1.29	1.53	1.46	1.29	8	SM	29.5	32.6	29.5

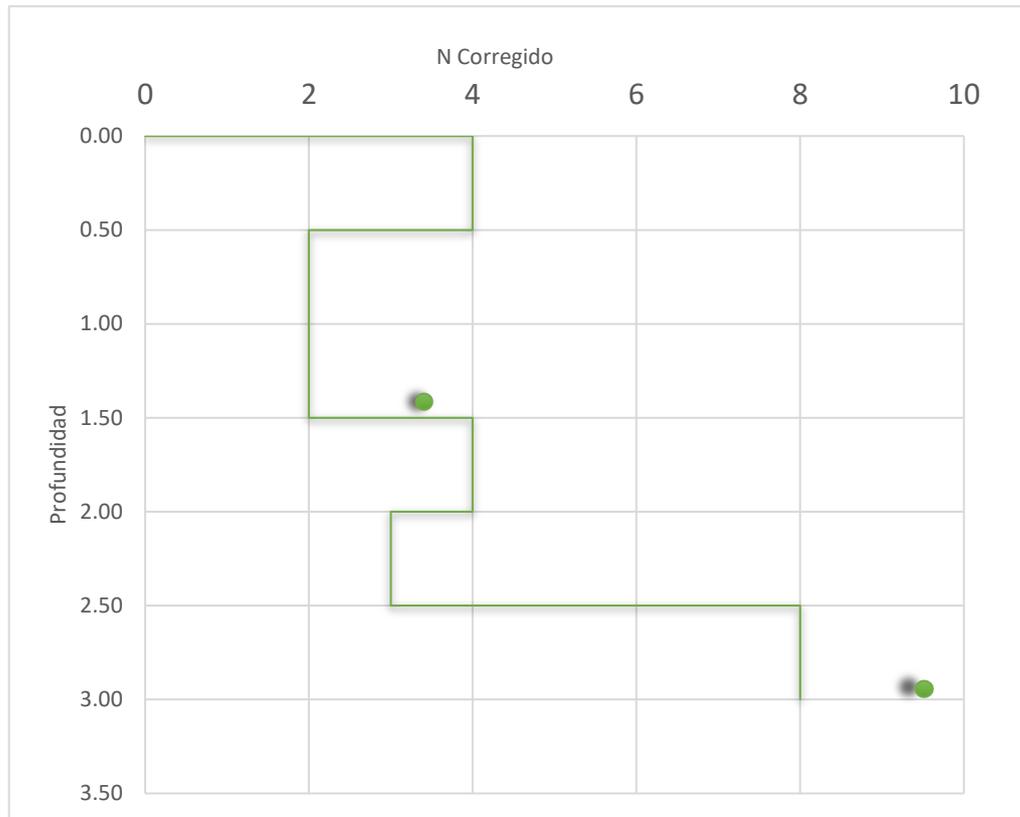
Nota. Gráfica de perforación por capa de la segunda auscultación

Figura 8*Profundidad vs NDPL de la auscultación N°2*

Nota. Gráfica de perforación por capa de la segunda auscultación.

Figura 9

Profundidad vs N Corregido de la Auscultación N°2



Nota. La figura representa los valores corregidos como resultado entre la correlación del ensayo del DPL al SPT.

Tabla 13*Resumen de propiedades mecánicas de la auscultación N°3*

Prof _(m)	n _{DPL}	N _{SP}	N _{Nf}	Densidad Unitaria	Esfuerzo Total	Esfuerzo Efectiva σ_v	Corrección Esfuerzo Efectivo C _N			Menor C _N	N corregido	SUCS	Angulo Pico efectivo de Fricción ϕ		Menor ϕ
							Peck, Hanson y Thor.	Liao y Whitman	Seed				Peck, Hanson y Thor.	Hatanaka y Uchida	
0.00	0	0	0	0.00	0.000	0.00	-	-	-	-	-	-	0.00	0	0
0.50	18	3	3	1.58	0.079	0.079	1.00	1.00	1.00	1.00	3	SM	28.0	27.7	27.7
1.00	11	2	2	1.58	0.158	0.158	1.00	1.00	1.00	1.00	2	SM	27.7	26.3	26.3
1.50	12	2	2	1.58	0.237	0.237	1.00	1.00	1.00	1.00	2	SM	27.7	26.3	26.3
2.00	15	3	3	1.92	0.333	0.333	1.37	1.73	1.60	1.37	4	SM	28.3	28.9	28.3
2.50	12	2	2	1.92	0.429	0.379	1.33	1.62	1.53	1.33	3	SM	28.0	27.7	27.7
3.00	32	6	6	1.92	0.525	0.425	1.29	1.53	1.46	1.29	8	SM	29.5	32.6	29.5

Nota. Gráfica de perforación por capa de la tercera auscultación

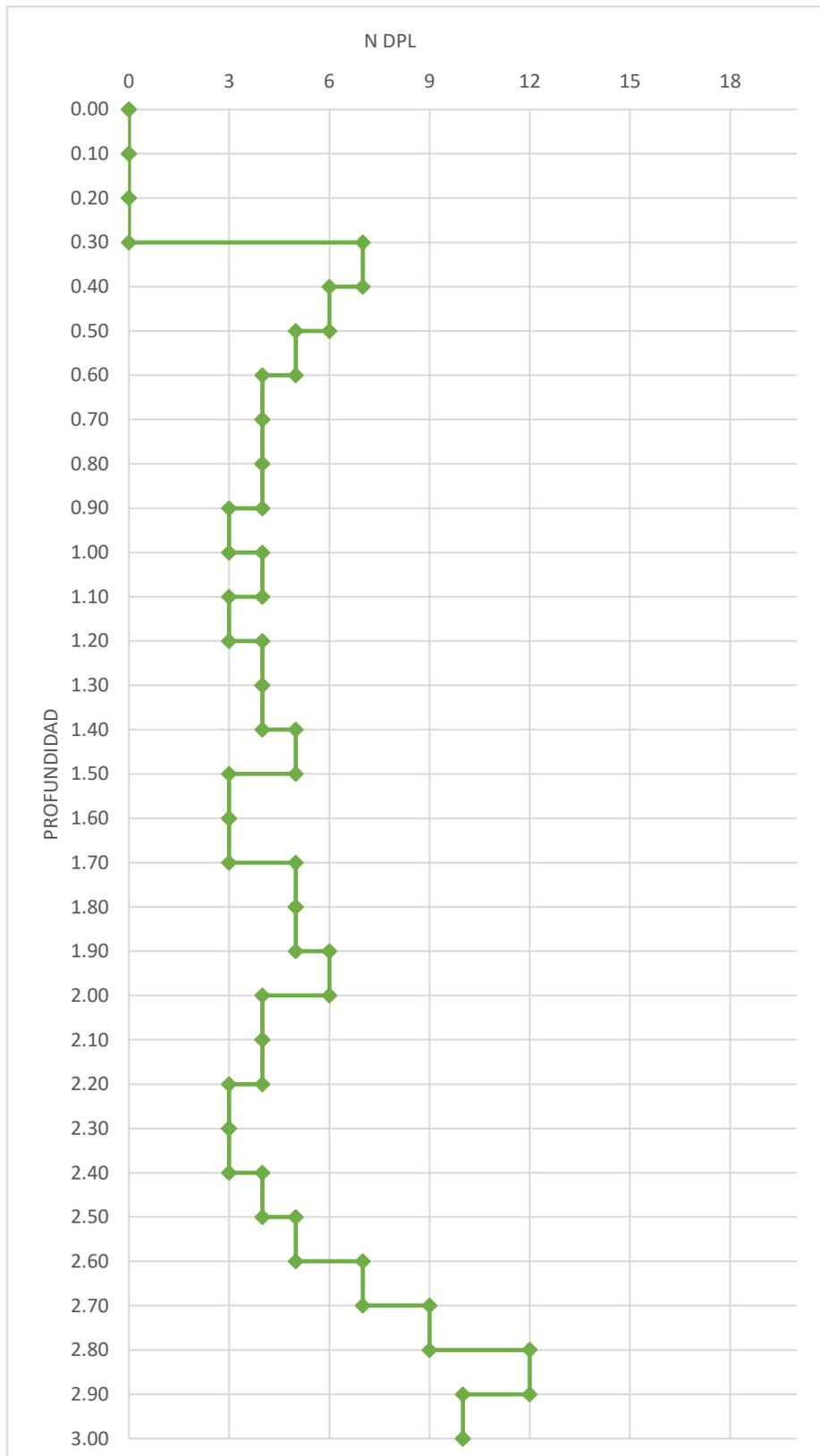
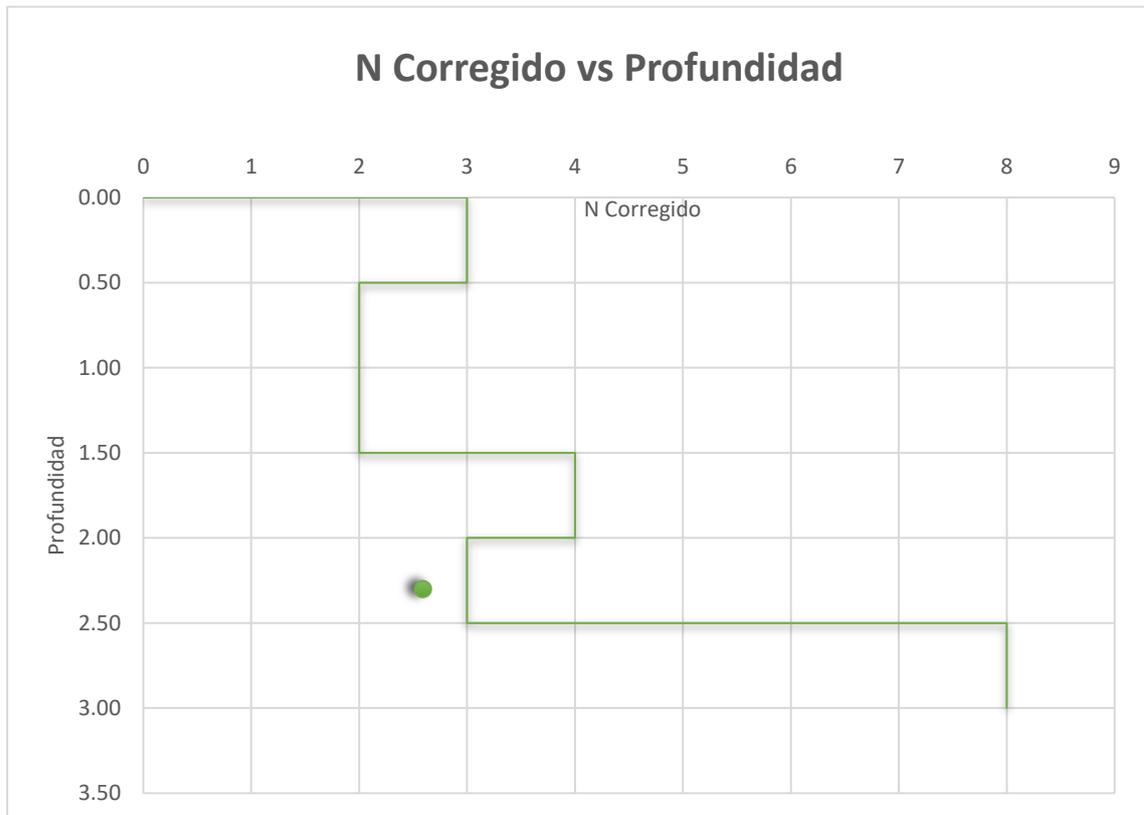
Figura 10*Profundidad vs NDPL de la auscultación N°3**Nota.* Gráfica de perforación por capa de la tercera auscultación.

Figura 11

Profundidad vs N Corregido de la Auscultación N°3



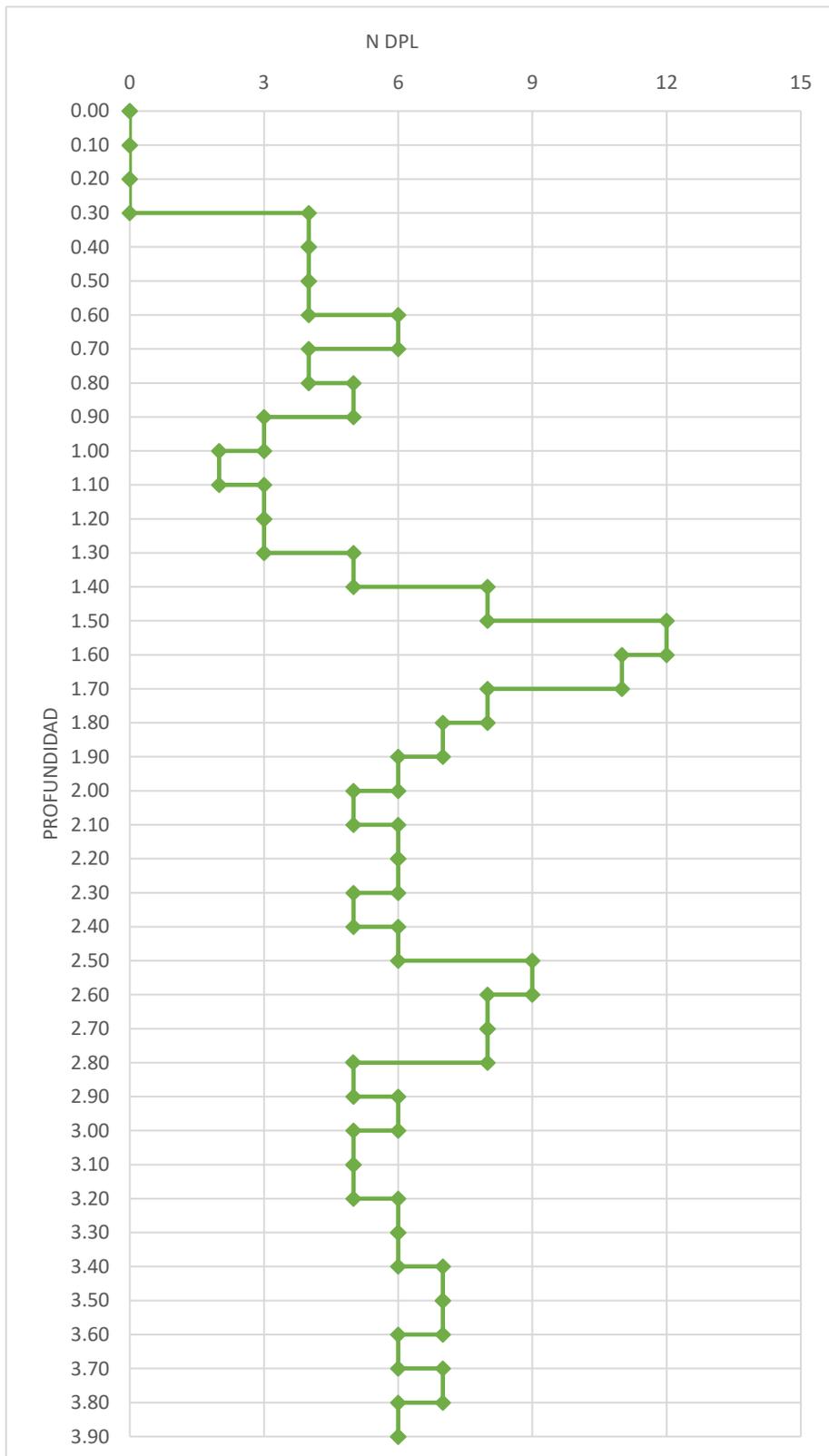
Nota. La figura representa los valores corregidos como resultado entre la correlación del ensayo del DPL al SPT.

Tabla 14

Resumen de propiedades mecánicas de la auscultación N°4

Prof _(m)	n _{DPL}	N _{SPT}	N _{NAF}	Densidad Unitaria	Esfuerzo Total	Esfuerzo Efectiva $\sigma'v$	Corrección Esfuerzo Efectivo C_N			Menor C_N	N corregido	SUCS	Angulo Pico efectivo de Fricción ϕ		Menor ϕ
							Peck, Hanson y Thor.	Liao y Whitman	Seed				Peck, Hanson y Thor.	Hatanaka y Uchida	
0.00	0	0	0	0.00	0.000	0.00	-	-	-	-	-	-	0.00	0	0
0.50	12	2	2	1.58	0.079	0.079	1.00	1.00	1.00	1.00	2	SM	27.7	26.3	26.3
1.00	10	2	2	1.58	0.158	0.158	1.00	1.00	1.00	1.00	2	SM	27.7	26.3	26.3
1.50	25	5	5	1.58	0.237	0.237	1.00	1.00	1.00	1.00	5	SM	28.6	30.0	28.6
2.00	18	3	3	1.92	0.333	0.333	1.37	1.73	1.60	1.37	4	SM	28.3	28.9	28.3
2.50	20	4	4	1.92	0.429	0.379	1.33	1.62	1.53	1.33	5	SM	28.6	30.0	28.6
3.00	16	3	3	1.92	0.525	0.425	1.29	1.53	1.46	1.29	4	SM	28.3	28.9	28.3

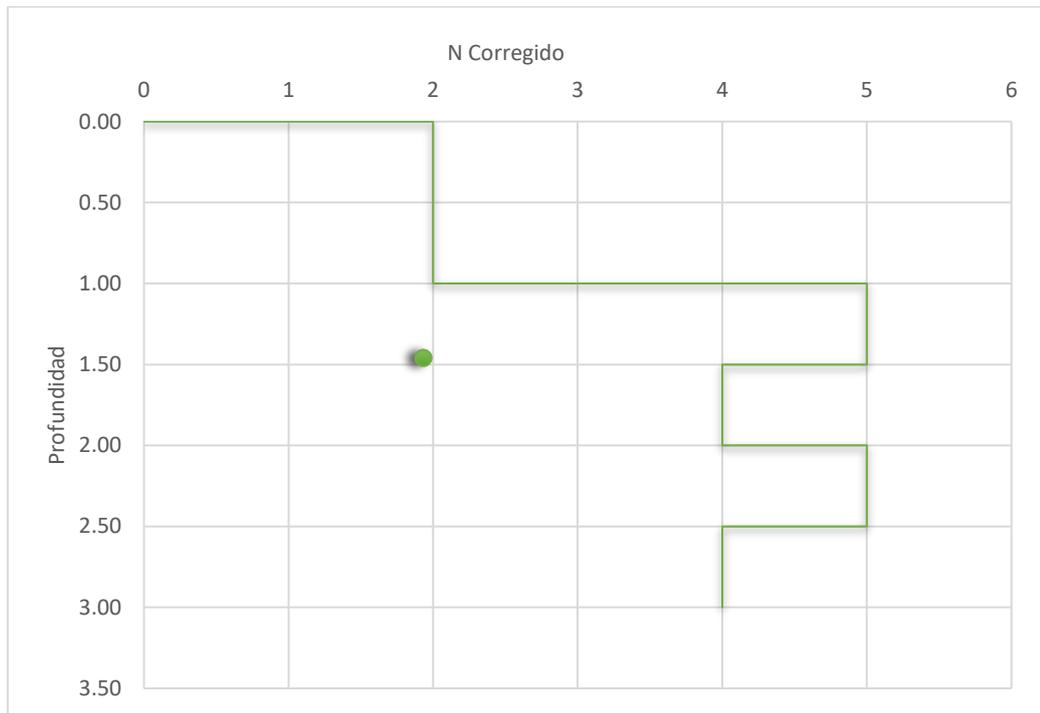
Nota. Gráfica de perforación por capa de la cuarta auscultación.

Figura 12*Profundidad vs NDPL de la auscultación N°4*

Nota. Gráfica de perforación por capa de la cuarta auscultación.

Figura 13

Profundidad vs N Corregido de la Auscultación N° 4



Nota. La figura representa los valores corregidos como resultado entre la correlación del ensayo del DPL al SPT.

Tabla 15

Resumen de Diferentes Métodos de Capacidad de Carga – Cimientos Cuadrados.

$Df_{(m)}$	$B_{(m)}$	$q_{adm}(\frac{kg}{cm^2})$		
		Terzaghi	Meyerhof	Vesic
1.00	1.50	0.61	0.57	0.66
	2.00	0.66	0.59	0.65
	2.50	0.72	0.60	0.65
1.20	1.50	0.67	0.67	0.80
	2.00	0.73	0.68	0.77
	2.50	0.75	0.62	0.65
1.50	1.50	0.77	0.82	1.02
	2.00	0.82	0.82	0.97
	2.50	0.88	0.83	0.96

Nota. Se tomaron los factores de forma para falla local según norma E.050, contemplando un factor de seguridad de 3.

Tabla 16

Resumen de diferentes métodos de capacidad de carga – cimientos corridos.

$Df_{(m)}$	$B_{(m)}$	$q_{adm}(\frac{kg}{cm^2})$		
		Terzaghi	Meyerhof	Vesic
0.80	0.80	0.50	0.39	0.45
	1.00	0.53	0.39	0.44
	1.20	0.55	0.39	0.44
1.00	0.80	0.56	0.48	0.52
	1.00	0.59	0.47	0.55
	1.20	0.61	0.47	0.54
1.20	0.80	0.62	0.57	0.62
	1.00	0.65	0.56	0.62
	1.20	0.67	0.56	0.64

Nota. Se tomaron los factores de forma para falla local según norma E.050, contemplando un factor de seguridad de 3.

Tabla 17

Cuadro resumen asentamiento flexible y rígido en cimentaciones cuadrada.

$Df_{(m)}$	$q_{adm}(\frac{kg}{cm^2})$	$B_{(m)}$	Asentamiento Flexible _(cm)			Asentamiento Rígido _(cm)
			Centro	Esquina	Promedio	
1.00	0.61	1.50	0.464	0.137	0.301	0.280
	0.63	2.00	0.826	0.183	0.504	0.469
	0.66	2.50	1.165	0.295	0.730	0.679
1.20	0.71	1.50	0.511	0.151	0.331	0.308
	0.73	2.00	0.908	0.201	0.554	0.515
	0.67	2.50	1.137	0.288	0.713	0.663
1.50	0.87	1.50	0.584	0.172	0.378	0.352
	0.87	2.00	1.036	0.229	0.632	0.588
	0.89	2.50	1.454	0.369	0.911	0.847

Nota. Asentamientos calculados para diferentes profundidades de desplantes y dimensiones.

Tabla 18

Cuadro resumen asentamiento flexible y rígido en cimentaciones corridas.

$Df_{(m)}$	$q_{adm}(\frac{kg}{cm^2})$	$B_{(m)}$	Asentamiento Flexible _(cm)			Asentamiento Rígido _(cm)
			Centro	Esquina	Promedio	
0.80	0.45	0.80	0.323	0.065	0.194	0.180
	0.46	1.00	0.302	0.084	0.193	0.179
	0.47	1.20	0.312	0.100	0.206	0.192
1.00	0.52	0.80	0.355	0.068	0.211	0.197
	0.54	1.00	0.343	0.093	0.218	0.203
	0.55	1.20	0.357	0.114	0.235	0.219
1.20	0.60	0.80	0.399	0.075	0.237	0.221
	0.61	1.00	0.372	0.102	0.237	0.220
	0.62	1.20	0.392	0.125	0.258	0.240

Nota. Asentamientos calculados para diferentes profundidades de desplantes y dimensiones.

Tabla 19

Cuadro resumen de asentamientos diferenciales en cimentaciones cuadradas.

$Df_{(m)}$	$B_{(m)}$	Asentamiento Flexible _(cm)		$\delta_{(cm)}$	$\alpha_{(cm)}$	$\alpha E. 050_{(cm)}$	CONDICIÓN
		Centro	Esquina				
1.00	1.50	0.464	0.137	0.327	0.0008	0.0067	CUMPLE
	2.00	0.826	0.183	0.643	0.0016	0.0067	CUMPLE
	2.50	1.165	0.295	0.869	0.0022	0.0067	CUMPLE
1.20	1.50	0.511	0.151	0.360	0.0009	0.0067	CUMPLE
	2.00	0.908	0.201	0.707	0.0018	0.0067	CUMPLE
	2.50	1.137	0.288	0.849	0.0021	0.0067	CUMPLE
1.50	1.50	0.584	0.172	0.411	0.0010	0.0067	CUMPLE
	2.00	1.036	0.229	0.806	0.0020	0.0067	CUMPLE
	2.50	1.454	0.369	1.085	0.0027	0.0067	CUMPLE

Nota. Para determinar si los asentamientos diferenciales cumplen con la condición de la norma e050, se consideró 1/150 como distorsión angular y una luz de 4m.

Tabla 20

Cuadro resumen de asentamientos diferenciales en cimentaciones corridas.

$Df_{(m)}$	$B_{(m)}$	Asentamiento Flexible _(cm)		$\delta_{(cm)}$	$\alpha_{(cm)}$	$\alpha E. 050_{(cm)}$	CONDICIÓN
		Centro	Esquina				
0.80	0.80	0.323	0.065	0.258	0.0006	0.0067	CUMPLE
	1.00	0.302	0.084	0.218	0.0005	0.0067	CUMPLE
	1.20	0.312	0.100	0.212	0.0005	0.0067	CUMPLE
1.00	0.80	0.355	0.068	0.288	0.0007	0.0067	CUMPLE
	1.00	0.343	0.093	0.250	0.0006	0.0067	CUMPLE
	1.20	0.357	0.114	0.243	0.0006	0.0067	CUMPLE
1.20	0.80	0.399	0.075	0.324	0.0008	0.0067	CUMPLE
	1.00	0.372	0.102	0.270	0.0007	0.0067	CUMPLE
	1.20	0.392	0.125	0.267	0.0007	0.0067	CUMPLE

Nota. Para determinar si los asentamientos diferenciales cumplen con la condición de la norma e0.50, se consideró 1/150 como distorsión angular y una luz de 4m.

4.2. Docimasia de hipótesis

Para el desarrollo de la presente investigación, se empleó un diseño de tipo no experimental. Por lo tanto, se utilizaron técnicas de recolección y observación directa en campo y laboratorio, se procedió a extraer muestras de 12 puntos de exploración, en un terreno de 5 hectáreas suelo en el sector de La Cobranza, con el propósito de evaluar el potencial de colapso. El procedimiento se ejecutó bajo las especificaciones indicadas en la norma E0.50 de suelos y cimentaciones.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Referente a los resultados obtenidos de 12 calicatas, se realizó el ensayo para determinar la humedad natural del suelo según la norma NTP. 339.127, de los cuales encontramos humedades que fluctúan entre 19.19 % a 25.15 %.
2. Se determinaron los pesos específicos, siguiendo las especificaciones de la norma NTP. 339.127, se obtuvo como resultado que varían entre 1.93 g/cm³ a 1.98 g/cm³.
3. El ensayo granulométrico según la norma NTP. 339.128, arrojó como resultado un suelo areno limoso (SM), bajo la clasificación SUCS.
4. Según el ensayo de límites de Atterberg estipulado por la norma NTP. 339.129, se concluyó que el suelo presenta límites líquidos entre 21.98% a 27.33%, límite plástico de 19.94% a 24.86% e índice de plasticidad de 2.04% a 3.58%.
5. Con base a los resultados obtenidos en las propiedades físicas, se procedió a evaluar si el suelo presenta colapso, contrastando los resultados con el gráfico establecido en la norma E0.50; y encontramos que los valores se interceptan en la región no colapsable.
6. Considerando los coeficientes de permeabilidad obtenidos a partir de las indicaciones en la norma NTP. 339.147, oscilan en un rango de 0.152 cm/s a 0.187 cm/s, se puede afirmar que el suelo presenta buen drenaje.
7. Referente a las auscultaciones realizadas por el ensayo de DPL (prueba normalizada con un penetrómetro dinámico ligero de punta cónica), tal como se describe en la NTP 339.159 y respetando dichos protocolos; se obtuvo como parámetros de resistencia un ángulo de fricción promedio de 27.9.
8. Con base a los parámetros mecánicos obtenidos se procedió a determinar las capacidades portantes bajo los criterios de Terzaghi, Meyerhof y Vesic, y se

consideraron dos propuestas según la configuración geométrica de la cimentación.

9. En lo referente a los asentamientos, se empleó la teoría de la elasticidad y se consideró una distorsión angular de acuerdo a la condición establecida en la norma E0.50, la cual especifica el límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales, donde las distorsiones angulares obtenidas, están por debajo del parámetro $\alpha < 1/150$.

CONCLUSIONES

1. A partir del estudio de propiedades físicas del suelo, inferimos que nos encontramos con un suelo Areno Limoso (SM), de mediana humedad y bajo índice de plasticidad.
2. Referente a la permeabilidad del suelo, se obtuvo un suelo con una buena capacidad de drenaje, según el cuadro de A. Casagrande.
3. Tras el análisis detallado y evaluación geotécnica, el suelo no presenta un comportamiento colapsable en función de sus propiedades físicas.
4. Según la capacidad de carga admisible, se obtuvieron valores para los criterios de Terzaghi, Meyerof y Vesic, utilizando el enfoque de corte local; lo que cataloga como un suelo con baja capacidad de carga, a una profundidad de 1.50m, siendo este el mejor tipo de suelo para fundación.
5. En cuanto a los desplazamientos inmediatos evaluados según el enfoque de la teoría de la elasticidad y en comparación con los valores de distorsión angular especificados en la norma E0.50, los valores obtenidos de las distorsiones angulares se encuentran por debajo de los límites permisibles previstos para daños estructurales en construcciones convencionales.

RECOMENDACIONES

1. Para la evaluación de los parámetros de resistencia del suelo, se sugiere ampliar la investigación mediante la realización de un análisis comparativo entre pruebas de campo y pruebas de laboratorio, como el ensayo SPT (Standard Penetration Test), ensayos triaxiales y ensayos de corte directo.
2. Según los resultados, se recomienda que las cimentaciones sean de tipo cuadradas, conectadas con vigas de cimentación, con una profundidad de desplante de 1.50m y con una base de 2.00m, para una estructura con sistema estructural de confinamiento.
3. Se recomienda que los resultados alcanzados en el marco de este estudio se incorporen como criterios orientadores en el proceso de desarrollo del Plan de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Distrital de Moche.
4. Se sugiere que, con el fin de obtener una evaluación más precisa del potencial de colapso, se empleen ensayos de deformación in situ, tales como el ensayo de placa de carga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva Figueroa, J. A. (2018). *Influencia en el comportamiento Volumétrico de suelos con elevado contenido de finos en la Urb. UPAO II Etapa, frente a altas precipitaciones en la ciudad de Trujillo - La Libertad* [Tesis para optar por el grado de Licenciatura, Universidad Privada de Trujillo]. Recuperado de: <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/184>
- Braja, M. D. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4.a ed.). Cengage Learning.
- Braja, M. D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (7ma Edición). Cengage Learning.
- Braja, M. D. (2014). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4.a ed.). Cengage Learning.
- Caceda Rodríguez, E. (2017). *Mejoramiento del suelo colapsable con fines de cimentación mezclando cemento diluido en agua en el Asentamiento Humano Magdalena Nueva – Chimbote 2017* [Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/10222>
- Clemence, S. P., & Finbarr, A. O. (1981). *Design Considerations for Collapsible Soils* (ed., Vol. 107). Journal of the Geotechnical Engineering Division.
- Flores Mello, A. (2017). *Determinación del Tipo de Suelo y Potencial de Colapso del Suelo del Puesto de Salud Intiorko, Distrito de Ciudad Nueva, Departamento de Tacna* [Tesis de Maestría, Universidad Privada de Tacna]. Recuperado de: <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/417>

Jailly Moreira, X. (2018). *Estudio Del Comportamiento Geotécnico De Un Suelo*

Colapsable Frente A Cimentaciones Superficiales [Tesis de Maestría,

Universidad Federal de Pernambuco]. Recuperado de:

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32583>

Peck, R.(2001). *Ingeniería de Cimentaciones* (2da Edición). Limusa.

Mamani Chana, J. B., & Apaza Coaquira, J. J. (2018). *Caracterización Del Tipo*

De Suelo Y Problemas Especiales De Cimentación De Edificaciones En

La Asociación Agropecuaria Apaza [Tesis de Licenciatura, Universidad

Privada de Tacna]. Recuperado de:

<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/1053>

Norma Técnica de Edificaciones (2014). *E.050 Suelos y Cimentaciones*. El

Peruano.

Rodríguez, J. A. D. (2014). *Mecánica de suelos* (1.a ed.). Trillas.

Villalaz, C. (2005). *Mecánica de suelos y cimentaciones / Mechanics of Grounds*

and Laying of Foundations. Limusa.

ANEXOS