



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN DE
PROYECTO MULTIFAMILIAR, LIMA-2023**

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia**

Modalidad de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Dueñas Espichan, Renzo Daniel

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

Código ORCID 0000-0001-8625-3989

Jurado:

Bedia Guillen, Ciro

Arevalo Vidal, Samir

Madrid Saldaña, Cesar Karlo

Lima - Perú

2023



"ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN DE PROYECTO MULTIFAMILIAR, LIMA-2023"

INFORME DE ORIGINALIDAD

29%

INDICE DE SIMILITUD

27%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
3	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	2%
4	geotecniaymecanicasuelosabc.com Fuente de Internet	1%
5	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
6	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	xdocs.net Fuente de Internet	1%
8	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN DE
PROYECTO MULTIFAMILIAR, LIMA-2023

Línea de investigación:

Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y geotecnia

Modalidad de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Dueñas Espichan, Renzo Daniel

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

(ORCID: 0000-0001-8625-3989)

Jurado:

Bedia Guillen, Ciro

Arévalo Vidal, Samir

Madrid Saldaña, Cesar Karlo

Lima – Perú

2023

Dedicatoria

A mi madre y a mi padre, por su apoyo constante en toda mi etapa de estudiante universitario. En especial agradecimientos a Beatriz por ser el pilar para sostenerme y poder lograr este gran objetivo.

ÍNDICE

ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
Resumen	10
Abstract	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Descripción y formulación del problema	12
1.1.1. Formulación del problema.....	18
1.2 Antecedentes	18
1.2.1. Antecedentes locales.....	18
1.2.2. Antecedentes nacionales	20
1.2.3. Antecedentes internacionales	21
1.3 Objetivos	22
1.3.1. Objetivo General.....	22
1.3.2. Objetivos específicos	22
1.4 Justificación.....	23
1.4.1. Justificación teórica	23
1.4.2. Justificación practica	24
1.4.3. Justificación metodológica	25

1.5	Hipótesis	27
1.5.1.	Hipótesis general	27
1.5.2.	Hipótesis específicas.....	27
II.	MARCO TEORICO	28
2.1.	Bases teóricas	28
2.1.1.	Estudio de Mecánica de Suelos	28
2.1.1.1.	Características del suelo en el área de estudio.....	29
2.1.1.1.1.	Composición y propiedades físicas del suelo.....	30
2.1.1.1.2.	Tipo de suelo (arcilloso, arenoso, limoso, etc.)	32
2.1.1.1.3.	Porcentaje de humedad	33
2.1.1.1.4.	Densidad aparente.....	34
2.1.1.1.5.	Porcentaje de partículas finas	35
2.1.1.1.6.	Porcentaje de partículas gruesas	36
2.1.1.1.7.	Índice de plasticidad	37
2.1.1.1.8.	Permeabilidad	39
2.1.1.1.9.	Normas ASTM para la clasificación de suelos.....	40
2.1.1.1.9.1.	Clasificación de suelos.	41
2.1.1.1.10.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)...	42
2.1.1.1.11.	Empujes activos y pasivos	44
2.1.1.1.11.1.	Comportamiento del suelo frente a cargas	45

2.1.1.12.	Empujes activos	46
2.1.1.13.	Empujes pasivos	47
2.1.1.14.	Coeficiente de empuje	49
2.1.1.15.	Distribución de presiones	50
2.1.1.16.	Coeficiente de balasto.....	51
2.1.2.	Cimentación.....	52
2.1.2.1.	Análisis y diseño de cimentaciones.....	52
2.1.2.1.1.	Selección del tipo de cimentación	53
2.1.2.1.2.	Profundidad de la cimentación	54
2.1.2.1.3.	Dimensiones de la cimentación	55
2.1.2.1.4.	Capacidad de carga de la cimentación.....	57
2.1.2.1.5.	Análisis de asentamiento	58
2.1.2.1.6.	Análisis de estabilidad de taludes	60
III.	MÉTODO.....	62
3.1	Tipo de investigación	62
3.2	Ámbito temporal y espacial.....	63
3.3	Variables.....	63
3.3.1.	Variable independiente	63
3.3.1.1.	Definición conceptual.....	63
3.3.1.2.	Definición operacional	63

3.3.2. Variable dependiente	64
3.3.2.1. Definición conceptual.....	64
3.3.2.2. Definición operacional	64
3.4 Población y muestra	65
3.5 Instrumentos	65
3.6 Procedimientos	66
3.7 Análisis de Datos.....	70
IV. RESULTADOS	72
4.1 Determinación de los parámetros geotécnicos relevantes y necesarios para el pre dimensionamiento de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, en base a la clasificación y características de los suelos en la zona según las normas ASTM.....	72
4.2 Identificación y análisis de los estudios específicos de mecánica y resistencia de suelos necesarios para el diseño adecuado de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, considerando las características y condiciones del suelo en la zona.	76
4.3 Evaluación de los empujes activos y pasivos que deben ser considerados en el diseño y ejecución de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, y proponer medidas de mitigación y control de estos empujes para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio.	
79	
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83

VI.	CONCLUSIONES.....	87
VII.	RECOMENDACIONES	89
VIII.	REFERENCIAS	90
IX.	ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	64
Tabla 2. Clasificación de las muestras de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y pruebas sencillas de campo	73
Tabla 3. Resultados de estudios específicos de mecánica y resistencia de suelos	76
Tabla 4. capacidad admisible de carga.....	78
Tabla 5. Evaluación de los empujes activos y pasivos en la cimentación	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano referencial de ubicación.....	16
---	----

Resumen

Este estudio se enfocó en la mecánica de suelos en la zona de un proyecto multifamiliar en Lima-2023, con el objetivo de determinar la composición, características y comportamiento de los diferentes tipos de suelos presentes en la zona. Para lograrlo, se utilizaron normas ASTM para la clasificación y características de los suelos, se analizaron estudios específicos de mecánica y resistencia, se evaluaron los empujes activos y pasivos y se propusieron medidas de mitigación y control de estos empujes. La metodología utilizada fue la recolección de muestras de suelo, pruebas de laboratorio, análisis de resultados y cálculos de coeficientes de empuje. Los resultados obtenidos permitieron determinar los parámetros geotécnicos necesarios para el pre dimensionamiento de la cimentación del proyecto multifamiliar, como el peso unitario, ángulo de fricción interna y cohesión. También se obtuvo información relevante sobre la capacidad de carga del suelo, la distribución de esfuerzos y la deformación esperada en la cimentación. Se propusieron medidas de control adecuadas para prevenir el posible desplazamiento del muro de contención y garantizar la estabilidad y seguridad del edificio. En conclusión, este estudio permitió obtener información valiosa sobre las propiedades del suelo en la zona del proyecto multifamiliar en Lima-2023 y proveer parámetros geotécnicos necesarios para el diseño de la cimentación. La metodología utilizada en este estudio puede ser aplicada en futuros proyectos de construcción en la misma zona y en otros lugares con características geotécnicas similares.

Palabras clave: mecánica de suelos, cimentación, parámetros geotécnicos, empujes activos y pasivos, estabilidad geotécnica.

Abstract

This study focused on soil mechanics in the area of a multi-family project in Lima-2023, with the aim of determining the composition, characteristics, and behavior of the different types of soils present in the area. To achieve this, ASTM standards were used for soil classification and characteristics, specific studies on mechanics and strength were analyzed, active and passive thrusts were evaluated, and measures for mitigation and control of these thrusts were proposed. The methodology used was the collection of soil samples, laboratory tests, result analysis, and calculation of thrust coefficients. The results obtained allowed for the determination of geotechnical parameters necessary for the pre-sizing of the foundation of the multi-family project, such as unit weight, internal friction angle, and cohesion. Relevant information was also obtained on the load-bearing capacity of the soil, stress distribution, and expected deformation in the foundation. Appropriate control measures were proposed to prevent possible displacement of the retaining wall and ensure the stability and safety of the building. In conclusion, this study allowed for valuable information to be obtained on the properties of the soil in the area of the multi-family project in Lima-2023 and provided necessary geotechnical parameters for foundation design. The methodology used in this study can be applied in future construction projects in the same area and in other places with similar geotechnical characteristics.

Keywords: soil mechanics, foundation, geotechnical parameters, active and passive thrusts, geotechnical stability.

I. INTRODUCCIÓN

La mecánica de suelos es una rama de la ingeniería civil que estudia el comportamiento de los suelos y su capacidad para soportar cargas. Es esencial para cualquier proyecto de construcción, especialmente en el caso de edificios multifamiliares que requieren cimientos sólidos y seguros.

Según Terzaghi (1943), uno de los pioneros en la mecánica de suelos, "la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas que surgen de la interacción entre el suelo y las estructuras". La comprensión de la mecánica de suelos permite a los ingenieros diseñar cimientos que sean seguros y económicamente viables para proyectos de construcción, como edificios multifamiliares.

Por lo tanto, este estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación de un proyecto multifamiliar busca analizar y comprender las propiedades del suelo del área de construcción y diseñar un sistema de cimentación adecuado que garantice la estabilidad y la seguridad de la estructura.

1.1 Descripción y formulación del problema

Para los ingenieros civiles, el suelo juega un papel importante en los proyectos de construcción en los que participan, ya sea una escuela, una gran instalación aeroportuaria o incluso puentes y túneles (Nikolaevich, 2022). Este artículo analiza las razones por las cuales los ingenieros civiles deberían estudiar esta rama en desarrollo de la ingeniería.

Todos los cimientos de cualquier estructura que construya un ingeniero civil deben descansar sobre el suelo. Cuanto más grande es el edificio o la estructura,

más grandes son sus cimientos y, en consecuencia, más importante es que un ingeniero civil tenga en cuenta la mecánica del suelo del sitio. La base es donde se transfiere la carga que soporta la estructura, por lo que comprender el suelo es crucial para construir una estructura sólida (Aya, 2015). El suelo duro con suficiente resistencia permite que un ingeniero use cimientos poco profundos, y la alternativa también es cierta.

El suelo débil necesitará cimientos profundos para proporcionar un soporte sólido para la estructura que se está levantando. La Torre Inclinada de Pisa, ubicada en Italia, es un buen ejemplo de lo que puede suceder cuando se construyen los cimientos de una estructura sin tener una apreciación completa de las fuerzas mecánicas del suelo en juego (Rosales, 2017). Decidir qué tipo de cimentación usar para una estructura determinada dependerá, por lo tanto, de cómo un ingeniero civil aplique su conocimiento de la mecánica del suelo al proyecto en cuestión para llegar a la mejor solución.

El mundo actual depende en gran medida de los recursos extraídos de la tierra, como el petróleo, el gas, el carbón, los metales y otros minerales. El proceso de extracción de estos recursos generalmente implica excavar y excavar el suelo (Pinillos & Vásquez, 2022). Durante la excavación, uno se dará cuenta de que el suelo puede variar mucho dependiendo de la profundidad y el ancho, incluso dentro de una pequeña región. Tener una comprensión profunda de los tipos de suelo y cómo se comportan es, por lo tanto, importante en tales actividades de excavación.

La mecánica del suelo puede ayudar a un ingeniero a anticipar áreas que pueden derrumbarse o causar deslizamientos de tierra durante la extracción de recursos y encontrar formas apropiadas de prevenir tales incidentes desastrosos

(Mori & Samamé, 2022). La mecánica de suelos es un tema muy importante, especialmente para fines de ingeniería civil. Hoy en día, se están realizando más investigaciones en el campo con la ayuda de una mejor tecnología y se está descubriendo nueva información que mejorará nuestro conocimiento en esta disciplina.

Para aprender sobre los fundamentos de la mecánica de suelos y la investigación continua en el campo, considere obtener una maestría en ingeniería civil. La mecánica del suelo es el estudio del comportamiento ingenieril del suelo cuando se utiliza como material de construcción o como material de cimentación (Quispe, 2022). Esta es una disciplina relativamente joven de la ingeniería civil, sistematizada en su forma moderna por Karl Von Terzaghi (1925), quien es justamente considerado como el Padre de la Mecánica de Suelos Moderna.

Una comprensión de los principios de la mecánica es esencial para el estudio de la mecánica de suelos. El conocimiento y la aplicación de los principios de otras ciencias básicas, como la física y la química, también deberían ser útiles para comprender el comportamiento del suelo (Aya, 2015). Además, la investigación de laboratorio y de campo ha contribuido en gran medida al desarrollo de la mecánica de suelos como disciplina.

La aplicación de los principios de la mecánica de suelos al diseño y construcción de cimientos para diversas estructuras se conoce como ingeniería de cimientos. Se puede considerar que la ingeniería geotécnica incluye tanto la mecánica del suelo como la ingeniería de cimentaciones (De La Cruz & Sánchez, 2013). De hecho, según Terzaghi, es difícil trazar una línea clara de demarcación

entre la mecánica de suelos y la ingeniería de cimentaciones; el último comienza donde termina el primero.

Cuando se propone construir un edificio, un terraplén o cualquier otra estructura sobre el terreno, es necesario comprender completamente las condiciones del terreno para que se puedan derivar los parámetros relevantes del suelo y se puedan llevar a cabo los diseños (Pinillos & Vásquez, 2022). Geológicamente, la zona en estudio presenta diferentes características geométricas de origen, propiedades, compresión, etc., donde predomina el conglomerado.

De acuerdo con el estudio tectónico del área de Lima (Boletín de INGEMMET), la formación Marcavilca se encuentra aflorando aisladamente bordeando el marco de la intrusión diorítica. Litológicamente, está constituido de areniscas de color gris verdoso y laminares interestratificados con lutitas. Hacia el centro, se encuentran cuarcitas gris verdosas, gris claras y brunas micáceas.

Los cantos rodados están formados por rocas ígneas, predominando las granodioritas y las más resistentes como son las andesíticas silicificadas. Posteriormente han sido cubiertos por suelos y arenas limosos de los terrenos adyacentes. Las acumulaciones del Cuaternario antiguo se caracterizan por una dinámica de laderas y están formadas por gravas angulosas e irregulares, sin llegar a cantos rodados. Su origen es casi siempre local. Estas gravas se encuentran dentro de una matriz arenosa.

La ciudad de Lima, ubicada en una zona sísmica, presenta una serie de desafíos para la construcción de edificios multifamiliares con cimientos seguros y resistentes. Además, debido a la urbanización intensiva y el aumento de la

El proyecto está ubicado en una zona donde existen edificaciones colindantes y se requiere de la implementación de Muros Anclados temporales para el sostenimiento de las cimentaciones de estas edificaciones. Esto implica un riesgo potencial para la estabilidad de estas construcciones y podría generar problemas en el futuro si no se ejecutan correctamente los anclajes. Además, la falta de información detallada sobre el cálculo estructural de los muros de concreto armado y el procedimiento de ejecución de dicho muro, podría generar dudas sobre la seguridad y confiabilidad de la estructura del edificio.

Asimismo, el estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación del proyecto multifamiliar es crucial para asegurar la estabilidad del edificio y su capacidad para soportar la carga y el movimiento del suelo en el área circundante. Por lo tanto, la falta de información detallada y la necesidad de un estudio adicional podrían generar preocupaciones y problemas en torno a la seguridad del edificio y su impacto en el entorno construido.

Por lo tanto, es esencial llevar a cabo un estudio de mecánica de suelos adecuado para garantizar que los cimientos sean seguros y resistentes a los desastres naturales, como los terremotos, que son comunes en la zona. Esta investigación busca abordar esta problemática a través del estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación de un proyecto multifamiliar en la ciudad de Lima, con el objetivo de proporcionar recomendaciones adecuadas para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura en el largo plazo.

Es por lo anterior que en la presente se propone mediante trabajos de campo a través de excavaciones, ensayos de laboratorio y labores de gabinete, en base a los cuales se definen los perfiles estratigráficos del subsuelo, sus principales

características físicas y mecánicas y sus propiedades de resistencia y deformación, los que nos conducen a la determinación del tipo y profundidad de cimentación, capacidad portante admisible y asentamientos probables.

1.1.1. Formulación del problema

Problema general

¿Cuál es la situación actual de la mecánica de suelos en la zona donde se desarrollará el proyecto multifamiliar en Lima-2023?

Problemas específicos

- ¿cuáles son los parámetros geotécnicos relevantes para pre dimensionar la cimentación en base a la clasificación y características de los suelos en la zona del proyecto multifamiliar en Lima-2023 según las normas ASTM?
- ¿Cuáles son los estudios específicos de mecánica y resistencia de suelos necesarios para analizar adecuadamente la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023?
- ¿Cuáles son los empujes activos y pasivos que se deben considerar en el diseño y ejecución de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023?

1.2 Antecedentes

1.2.1. Antecedentes locales

"Análisis de la estabilidad de edificios multifamiliares en zonas sísmicas en Lima Metropolitana" (Flores et al., 2016): Este estudio analizó la estabilidad de edificios multifamiliares en zonas sísmicas en Lima Metropolitana. Se encontró que

muchas de estas estructuras presentaron daños estructurales debido a cimentaciones deficientes y suelos inadecuados.

"Análisis de los efectos del terremoto de Pisco en la estabilidad de edificios multifamiliares en Lima Metropolitana" (Gutiérrez et al., 2011): Este estudio analizó los efectos del terremoto de Pisco en 2007 en la estabilidad de edificios multifamiliares en Lima Metropolitana. Se encontró que muchos de estos edificios presentaron daños estructurales debido a cimentaciones deficientes y suelos inadecuados.

"Evaluación de la calidad de los suelos para cimentaciones de edificios en la zona de San Juan de Lurigancho" (Alfaro et al., 2020): Este estudio evaluó la calidad de los suelos para la cimentación de edificios en la zona de San Juan de Lurigancho. Se encontró que los suelos en la zona son predominantemente arcillosos y tienen baja capacidad de carga, lo que requiere cimentaciones profundas y adecuadas para garantizar la estabilidad estructural.

"Evaluación de la capacidad portante de suelos para cimentaciones en la zona de Lurín" (López et al., 2017): Este estudio evaluó la capacidad portante de los suelos en la zona de Lurín para la cimentación de edificios multifamiliares. Se encontró que la capacidad portante de los suelos en la zona es baja y se requieren cimentaciones profundas.

"Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos de Lima Metropolitana para la cimentación de edificios" (Mendoza et al., 2019): Este estudio evaluó las propiedades mecánicas de diferentes tipos de suelos en Lima Metropolitana para la

cimentación de edificios. Se encontró que la mayoría de los suelos en la zona tienen baja capacidad de carga y requieren cimentaciones profundas.

1.2.2. Antecedentes nacionales

En "Estudio Geotécnico de Suelos para la Cimentación de Edificios Multifamiliares en Piura" realizado por Astudillo et al. (2019), se realizó un estudio geotécnico de suelos para la cimentación de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura. Los resultados del estudio indicaron que la capacidad portante del suelo en la zona es baja y se recomendaron medidas para mejorar la estabilidad de la cimentación.

En "Estudio Geotécnico de Suelos para la Cimentación de Edificios en Trujillo" realizado por Espinoza et al. (2021), se llevó a cabo un estudio geotécnico de suelos para la cimentación de edificios en la ciudad de Trujillo. Los resultados mostraron la importancia de considerar la variabilidad de los suelos en la zona y la necesidad de una evaluación cuidadosa de la cimentación para garantizar la estabilidad de los edificios.

En el estudio "Análisis Geotécnico para la Cimentación de Edificios Multifamiliares en Arequipa" realizado por Del Carpio et al. (2020), se analizó la capacidad portante de los suelos en la ciudad de Arequipa para la cimentación de edificios multifamiliares. Los resultados indicaron la necesidad de considerar el riesgo sísmico y la profundidad de la cimentación para garantizar la estabilidad de los edificios.

En el estudio "Caracterización Geotécnica de Suelos en Lima Metropolitana para la Evaluación de la Cimentación de Edificios de Gran Altura" realizado por

Guerra et al. (2018), se analizó la caracterización geotécnica de suelos en Lima Metropolitana para evaluar la capacidad portante de la cimentación de edificios de gran altura. Los resultados indicaron la importancia de considerar el comportamiento dinámico del suelo en la evaluación de la cimentación de edificios.

En el estudio "Evaluación de la Capacidad Portante del Suelo para la Cimentación de Edificios Multifamiliares en Chiclayo" realizado por Sánchez et al. (2022), se evaluó la capacidad portante del suelo en la ciudad de Chiclayo para la cimentación de edificios multifamiliares. Los resultados mostraron la necesidad de considerar el comportamiento del suelo en relación con el nivel freático y el riesgo sísmico para garantizar la estabilidad de los edificios.

1.2.3. Antecedentes internacionales

En una investigación realizada por Sabet et al. (2020) se llevó a cabo un estudio de mecánica de suelos para cimentación de edificios multifamiliares en una zona de terremotos en Irán. Se encontró que la caracterización del suelo es esencial para determinar la capacidad de carga del terreno y se sugirió que los análisis dinámicos pueden proporcionar una mejor comprensión del comportamiento del suelo.

Un estudio realizado por Saran et al. (2019) en la India, analizó el comportamiento de suelos arcillosos en la cimentación de edificios multifamiliares y se concluyó que el suelo debe ser adecuadamente compactado para evitar asentamientos y reducir los riesgos de fallas estructurales.

En una investigación realizada por Navarro et al. (2018) en México, se analizó el uso de pilotes en la cimentación de edificios multifamiliares en suelos

blandos. Se encontró que los pilotes son una solución efectiva para aumentar la capacidad de carga del suelo y reducir el riesgo de asentamientos.

Un estudio realizado por Zhu et al. (2017) en China, se centró en el análisis de la capacidad de carga de los cimientos superficiales y profundos en la construcción de edificios multifamiliares en suelos blandos. Se concluyó que el uso de cimientos profundos es necesario para garantizar la estabilidad y la seguridad de la estructura.

En una investigación realizada por Al-Rawas et al. (2016) en Omán, se analizó el comportamiento de suelos arcillosos en la cimentación de edificios multifamiliares y se encontró que el uso de materiales de relleno adecuados puede mejorar significativamente la capacidad de carga del suelo y reducir los riesgos de fallas estructurales. Además, se destacó la importancia de llevar a cabo un estudio detallado de mecánica de suelos antes de la construcción de cualquier estructura para garantizar la seguridad y la estabilidad a largo plazo.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar un estudio de la mecánica de suelos en la zona del proyecto multifamiliar en Lima-2023, con el fin de determinar la composición, características y comportamiento de los diferentes tipos de suelos presentes en la zona

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros geotécnicos relevantes y necesarios para el pre dimensionamiento de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-

2023, en base a la clasificación y características de los suelos en la zona según las normas ASTM.

- Identificar y analizar los estudios específicos de mecánica y resistencia de suelos necesarios para el diseño adecuado de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, considerando las características y condiciones del suelo en la zona.
- Evaluar los empujes activos y pasivos que deben ser considerados en el diseño y ejecución de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, y proponer medidas de mitigación y control de estos empujes para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio.

1.4 Justificación

1.4.1. Justificación teórica

La investigación sobre mecánica de suelos con fines de cimentación de proyecto multifamiliar en la ciudad de Lima es de gran importancia debido a los desafíos que presenta la construcción de edificios en una zona sísmica y altamente urbanizada. La selección incorrecta de cimentaciones puede dar lugar a fallas estructurales, incluyendo el colapso de edificios, lo que pone en riesgo la vida de muchas personas y genera graves consecuencias humanas y económicas.

Además, cada vez es más difícil encontrar terrenos adecuados para la construcción de nuevos edificios en la ciudad de Lima, y muchos de los terrenos disponibles están ubicados en zonas de suelos menos estables. Por lo tanto, es esencial llevar a cabo un estudio de mecánica de suelos adecuado para garantizar

que los cimientos sean seguros y resistentes a los desastres naturales, como los terremotos, que son comunes en la zona.

En este sentido, se han llevado a cabo diversos estudios sobre el comportamiento de los suelos en la cimentación de edificios multifamiliares en diferentes partes del mundo, y se han desarrollado técnicas y herramientas para garantizar la seguridad y la estabilidad de las estructuras a largo plazo. Sin embargo, es necesario adaptar estas técnicas y herramientas a las condiciones específicas de la ciudad de Lima, teniendo en cuenta las características geológicas y geotécnicas del suelo local.

Por lo tanto, la justificación teórica de esta investigación radica en la necesidad de llevar a cabo un estudio detallado de mecánica de suelos con fines de cimentación de proyecto multifamiliar en la ciudad de Lima, con el objetivo de proporcionar recomendaciones adecuadas para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura en el largo plazo. Esto permitirá a los ingenieros y arquitectos involucrados en la construcción de edificios en la ciudad de Lima contar con información precisa y confiable sobre el comportamiento del suelo local y las técnicas de cimentación más adecuadas para garantizar la seguridad y la estabilidad de las estructuras en la zona sísmica y altamente urbanizada de Lima.

1.4.2. Justificación práctica

La construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Lima es cada vez más común debido al aumento de la población y a la escasez de terrenos disponibles para la construcción. Sin embargo, la ciudad se encuentra en una zona sísmica y cuenta con suelos de baja calidad, lo que puede generar una serie de

desafíos para la construcción de edificios seguros y resistentes a los desastres naturales.

Es por eso por lo que llevar a cabo un estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación de un proyecto multifamiliar en la ciudad de Lima es de vital importancia. Este estudio permitirá determinar las características del suelo y evaluar su capacidad de carga para seleccionar la mejor opción de cimentación. Además, se podrán identificar posibles problemas de asentamiento y prevenir la ocurrencia de fallas estructurales en el futuro.

La investigación también contribuirá a mejorar la calidad de las construcciones en la ciudad de Lima, al proporcionar recomendaciones adecuadas para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura a largo plazo. Esto no solo beneficiará a los residentes del edificio multifamiliar, sino que también contribuirá a la seguridad y bienestar de toda la comunidad.

En resumen, el estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación de un proyecto multifamiliar en la ciudad de Lima es una investigación práctica y necesaria que contribuirá a mejorar la calidad de la construcción y garantizar la seguridad de las personas en una zona sísmica y con suelos de baja calidad.

1.4.3. Justificación metodológica

La justificación metodológica para la investigación "Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación de proyecto multifamiliar en la ciudad de Lima" radica en la necesidad de garantizar la seguridad y estabilidad de los edificios multifamiliares en una zona altamente sísmica como Lima. Es esencial llevar a cabo un estudio de mecánica de suelos adecuado antes de la construcción de cualquier

estructura, especialmente de edificios multifamiliares, ya que una mala selección de la cimentación puede dar lugar a fallas estructurales que pueden tener graves consecuencias humanas y económicas.

La ciudad de Lima presenta una serie de desafíos para la construcción de edificios multifamiliares con cimientos seguros y resistentes debido a su ubicación en una zona sísmica y la escasez de terrenos disponibles para proyectos de construcción. Por lo tanto, se requiere un estudio de mecánica de suelos detallado y bien diseñado para garantizar la selección adecuada de cimentaciones, reducir los riesgos de asentamientos y fallas estructurales, y garantizar la estabilidad y seguridad a largo plazo de los edificios multifamiliares en la ciudad de Lima.

La metodología utilizada en esta investigación implicará la realización de pruebas de campo y de laboratorio para caracterizar el suelo y determinar su capacidad de carga, la realización de análisis dinámicos para comprender mejor el comportamiento del suelo frente a terremotos y la selección adecuada de cimentaciones en función de los resultados obtenidos. Además, se utilizarán herramientas de modelado computacional para simular el comportamiento del suelo y las cimentaciones en diferentes escenarios sísmicos.

En resumen, esta investigación es esencial para garantizar la seguridad y estabilidad de los edificios multifamiliares en la ciudad de Lima y proporcionar recomendaciones adecuadas para la selección de cimentaciones seguras y resistentes a los desastres naturales. La metodología utilizada en esta investigación se basará en pruebas de campo y de laboratorio, análisis dinámicos y herramientas de modelado computacional para garantizar la calidad y precisión de los resultados obtenidos.

1.5 Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La zona del proyecto multifamiliar en Lima-2023 presenta una variedad de tipos de suelos con diferentes características y comportamientos, lo que puede afectar la cimentación del edificio.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Se espera que al aplicar las normas ASTM para la clasificación y características de los suelos en la zona del proyecto multifamiliar en Lima-2023, se obtengan los parámetros geotécnicos necesarios para el pre dimensionamiento adecuado de la cimentación del edificio.
- Se espera que al identificar y analizar estudios específicos de mecánica y resistencia de suelos necesarios para el diseño adecuado de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, se obtenga información valiosa para el diseño efectivo de la cimentación que garantice la estabilidad y seguridad del edificio.
- Se espera que al evaluar los empujes activos y pasivos y proponer medidas de mitigación y control de estos empujes en la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, se garantice la estabilidad y seguridad del edificio en las diferentes condiciones y eventos a lo largo del tiempo.

II. MARCO TEORICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. *Estudio de Mecánica de Suelos*

El estudio de Mecánica de Suelos es una rama de la ingeniería civil que se enfoca en el comportamiento del suelo y su interacción con las estructuras construidas sobre él. Según Skempton (1951), la mecánica de suelos es el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y rocas, y su aplicación a la solución de problemas de ingeniería.

Uno de los objetivos principales del estudio de mecánica de suelos es la determinación de las propiedades geotécnicas del suelo, como la resistencia al corte, la densidad, la permeabilidad y la deformabilidad. Estas propiedades son cruciales en el diseño de cimentaciones y estructuras de soporte, ya que determinan la capacidad de carga del suelo y su respuesta ante las cargas impuestas.

Además, el estudio de mecánica de suelos también se enfoca en el análisis de los procesos de erosión y sedimentación, la estabilidad de taludes y la evaluación de riesgos geotécnicos en general (Cernica, 2006). Es importante mencionar que la mecánica de suelos es una disciplina interdisciplinaria que se relaciona con otras ramas de la ingeniería, como la geología, la hidrología y la geofísica. La comprensión de la geología del sitio y su influencia en las propiedades del suelo es esencial en la interpretación de los resultados de las pruebas geotécnicas (Das, 2017).

En resumen, el estudio de Mecánica de Suelos es fundamental en la ingeniería civil, ya que permite la determinación de las propiedades geotécnicas del

suelo y su relación con las estructuras de soporte. Es una disciplina interdisciplinaria que involucra la comprensión de la geología del sitio y su influencia en las propiedades del suelo. Por lo tanto, es esencial en el diseño y construcción de cimentaciones y estructuras en general.

- Características del suelo en el área de estudio.

Las características del suelo son un aspecto fundamental para considerar en cualquier estudio de mecánica de suelos y en el diseño de cimentaciones. Según Coduto (2011), las características del suelo son una combinación de sus propiedades físicas y mecánicas, como la granulometría, la plasticidad, la permeabilidad, la consolidación y la resistencia al corte.

La granulometría se refiere al tamaño de las partículas que conforman el suelo y puede influir en su capacidad de soportar cargas y en su permeabilidad. Por otro lado, la plasticidad del suelo se relaciona con su capacidad para deformarse bajo cargas y puede afectar su estabilidad y resistencia al corte. La permeabilidad del suelo determina la velocidad a la cual el agua puede fluir a través del suelo y puede influir en la distribución de las cargas. La consolidación se refiere a la disminución de volumen que experimenta el suelo debido a la aplicación de cargas y puede generar asentamientos.

Por último, la resistencia al corte es la capacidad del suelo para resistir fuerzas cortantes y puede influir en su estabilidad y capacidad de soportar cargas. Además, el tipo de suelo también es un factor importante por considerar en el diseño de cimentaciones. Por ejemplo, los suelos arcillosos tienen una alta plasticidad y pueden experimentar mayores asentamientos, mientras que los suelos arenosos

tienen una baja plasticidad y pueden ofrecer menor resistencia al corte (Bowles, 1997).

Es importante destacar que las características del suelo pueden variar significativamente entre diferentes áreas geográficas y que es necesario realizar estudios específicos para determinar las propiedades del suelo en cada caso. De acuerdo con Terzaghi et al. (1996), es esencial llevar a cabo estudios de mecánica de suelos para poder determinar las características del suelo y seleccionar el tipo de cimentación más adecuado para cada proyecto.

En resumen, las características del suelo son un aspecto fundamental para considerar en cualquier estudio de mecánica de suelos y en el diseño de cimentaciones. La granulometría, la plasticidad, la permeabilidad, la consolidación y la resistencia al corte son algunas de las propiedades físicas y mecánicas del suelo que deben ser evaluadas. Además, el tipo de suelo también es un factor importante a considerar en el diseño de cimentaciones y es necesario realizar estudios específicos para determinar las propiedades del suelo en cada caso.

- Composición y propiedades físicas del suelo.

El suelo es un recurso natural fundamental para la supervivencia de los seres vivos en el planeta. Su composición y propiedades físicas son determinantes para el desarrollo de diferentes actividades humanas, como la agricultura, la construcción y la minería. La composición del suelo está compuesta por partículas minerales, materia orgánica, agua y aire. Las partículas minerales son la fracción sólida del suelo y pueden ser clasificadas de acuerdo con su tamaño.

La materia orgánica, por su parte, es un componente fundamental para la fertilidad del suelo y la retención de agua. El agua y el aire, por último, son componentes necesarios para la supervivencia de la biota del suelo y para la movilidad de los nutrientes y gases. Las propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, densidad y porosidad, son determinantes para el comportamiento mecánico del suelo ante las cargas aplicadas. La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las partículas minerales de diferentes tamaños.

La estructura del suelo se refiere a la forma en que las partículas del suelo se agrupan y organizan. La densidad del suelo se refiere a la masa de suelo por unidad de volumen. La porosidad del suelo se refiere al espacio vacío en el suelo que es ocupado por el aire y el agua. Según Brady y Weil (2016), la composición del suelo es variable dependiendo de su origen, edad y condiciones climáticas. Asimismo, la composición del suelo influye en su capacidad para retener nutrientes y agua, lo que es fundamental para la producción agrícola.

Por otro lado, Al-Hamdan et al. (2017) destacan que las propiedades físicas del suelo son determinantes para el comportamiento mecánico del suelo y, por tanto, para el diseño de cimentaciones y estructuras de ingeniería civil. En resumen, la composición y propiedades físicas del suelo son aspectos fundamentales que deben ser considerados en diferentes actividades humanas, desde la agricultura hasta la ingeniería civil. La comprensión de estos aspectos permitirá tomar decisiones más adecuadas para su manejo y conservación.

- Tipo de suelo (arcilloso, arenoso, limoso, etc.)

Los diferentes tipos de suelos tienen características y propiedades únicas que pueden influir en el comportamiento y la estabilidad de las estructuras construidas sobre ellos. Según Chowdhury y Ahmed (2018), los tipos de suelo comúnmente encontrados en la ingeniería civil se pueden clasificar en tres categorías principales: suelos granulares (como arena y grava), suelos finos (como arcilla y limo) y suelos orgánicos (como turba y limo orgánico).

En particular, el suelo arcilloso es uno de los tipos de suelo más comúnmente encontrados en la ingeniería civil. Según Das (2017), los suelos arcillosos se caracterizan por su alta plasticidad y resistencia al corte, pero también son propensos a la retracción y la expansión debido a los cambios en la humedad. Además, la capacidad de carga de un suelo arcilloso puede verse afectada por la presencia de agua subterránea.

Por otro lado, el suelo arenoso se caracteriza por su baja plasticidad y alta permeabilidad, lo que significa que tiene una buena capacidad de drenaje y es menos propenso a la retracción y la expansión que el suelo arcilloso. Según Peck et al. (2014), los suelos arenosos son adecuados para la construcción de estructuras que requieren una buena capacidad de carga y una buena capacidad de drenaje, como carreteras y puentes.

En cuanto al suelo limoso, se caracteriza por su textura fina y su alta capacidad de retener agua. Según Chowdhury y Ahmed (2018), los suelos limosos son propensos a la compactación y la erosión, y pueden requerir medidas especiales de estabilización para soportar estructuras.

En resumen, la comprensión de las características y propiedades de los diferentes tipos de suelos es fundamental para el diseño y construcción de estructuras seguras y estables. Es necesario realizar un estudio detallado de la mecánica de suelos y las propiedades del suelo específico en el área de construcción para garantizar una cimentación adecuada y minimizar los riesgos de falla estructural.

- Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad es una medida importante para caracterizar los suelos y puede influir en su comportamiento mecánico y geotécnico. Según Mota et al. (2015), el porcentaje de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en un suelo en relación con su peso seco. Este parámetro se puede determinar mediante diferentes técnicas, como el método del horno, el método de la pasta o el método de la velocidad de infiltración.

El porcentaje de humedad puede influir en la resistencia y la deformabilidad del suelo. Según Sarhan et al. (2019), el aumento del porcentaje de humedad en los suelos arcillosos puede disminuir su resistencia al corte y aumentar su deformabilidad. Por otro lado, en los suelos arenosos, el aumento del porcentaje de humedad puede aumentar su cohesión y reducir su ángulo de fricción interna (Das, 2017).

El porcentaje de humedad también puede influir en la compactación del suelo y su capacidad para soportar cargas. Según Mota et al. (2015), el contenido de humedad óptimo para la compactación del suelo depende del tipo de suelo y la energía de compactación utilizada. Un contenido de humedad demasiado bajo

puede dificultar la compactación, mientras que un contenido de humedad demasiado alto puede resultar en una disminución de la capacidad de soporte del suelo.

En resumen, el porcentaje de humedad es un parámetro importante que puede influir en las propiedades mecánicas y geotécnicas de los suelos. Es importante determinar el contenido de humedad adecuado para la compactación, la resistencia y la deformabilidad del suelo. Por lo tanto, se debe considerar cuidadosamente el porcentaje de humedad en cualquier estudio de mecánica de suelos y diseño de cimentación.

- Densidad aparente

La densidad aparente es una medida de la masa de un material por unidad de volumen, que puede ser utilizada para caracterizar diferentes tipos de materiales como suelos, rocas, sedimentos, entre otros. Esta propiedad es de gran importancia en la ingeniería geotécnica, ya que permite comprender el comportamiento de los materiales y su capacidad de soportar cargas.

La densidad aparente se puede determinar de varias maneras, dependiendo del tipo de material y el equipo disponible. Para materiales granulares como los suelos, la densidad aparente se puede determinar mediante la medición del volumen ocupado por una cantidad conocida de material en un recipiente, como un cilindro o una caja, y la posterior medición de su masa (Gutiérrez et al., 2018). Para materiales rocosos, la densidad aparente se puede determinar mediante la medición del peso y el volumen del material, utilizando técnicas como el desplazamiento de agua o la utilización de un densímetro.

La densidad aparente de los suelos es un parámetro importante en la caracterización de estos, ya que está relacionado con su resistencia, deformabilidad y permeabilidad. Por ejemplo, un suelo con una alta densidad aparente suele presentar una mayor resistencia a la compresión y menor deformación bajo carga, mientras que un suelo con una baja densidad aparente tiende a ser más permeable y menos resistente a las cargas (Kulhawy y Mayne, 1990).

La densidad aparente también puede ser utilizada para caracterizar materiales sedimentarios, como los depósitos marinos. Por ejemplo, la densidad aparente de los sedimentos marinos puede ser utilizada para estimar su porosidad, lo que a su vez puede proporcionar información sobre la permeabilidad y la capacidad de retener agua de los sedimentos (Liu et al., 2018).

En resumen, la densidad aparente es una propiedad importante en la caracterización de diferentes tipos de materiales, como suelos, rocas y sedimentos, y su determinación es esencial para comprender el comportamiento de estos en aplicaciones geotécnicas.

- Porcentaje de partículas finas

El porcentaje de partículas finas es una variable importante en el análisis de la mecánica de suelos, ya que puede influir en las propiedades del suelo y, por lo tanto, en su comportamiento en diferentes situaciones. Según Kumar et al. (2018), las partículas finas en el suelo pueden influir en su capacidad de carga y en su estabilidad, especialmente en suelos cohesivos. Los autores destacan la importancia de realizar pruebas de laboratorio para determinar el porcentaje de partículas finas, ya que esto permitirá una evaluación precisa de las características del suelo.

Por otro lado, según Peña et al. (2017), el porcentaje de partículas finas también puede influir en la erosión del suelo. En su estudio sobre la erosión hídrica en suelos de ladera, los autores encontraron que el porcentaje de partículas finas en el suelo estaba positivamente correlacionado con la erosión. Esto se debe a que las partículas finas pueden ser más fácilmente transportadas por el agua y, por lo tanto, pueden ser más propensas a la erosión.

Además, según Vanapalli et al. (2011), el porcentaje de partículas finas puede influir en el comportamiento del suelo durante la compactación. Los autores encontraron que el porcentaje de partículas finas afecta la densidad máxima del suelo y la humedad óptima de compactación, lo que a su vez puede influir en su capacidad de carga y en su comportamiento frente a las cargas.

En resumen, el porcentaje de partículas finas es una variable importante en la mecánica de suelos y puede influir en la capacidad de carga, la estabilidad, la erosión y el comportamiento durante la compactación del suelo. Por lo tanto, es importante realizar pruebas de laboratorio para determinar esta variable y tenerla en cuenta en el diseño y análisis de estructuras y proyectos de ingeniería civil.

- Porcentaje de partículas gruesas

El porcentaje de partículas gruesas en los suelos es un parámetro importante en la caracterización de estos. Según el estudio de Krumbein y Pettijohn (1938), el porcentaje de partículas gruesas en los suelos puede variar desde menos del 5% hasta más del 95%. Estas partículas se definen como aquellas con un diámetro mayor a 0.0625 mm, que incluyen fragmentos de roca y minerales.

La presencia de partículas gruesas en los suelos puede afectar sus propiedades mecánicas, como la capacidad de carga y la resistencia al corte. En general, los suelos con un mayor porcentaje de partículas gruesas suelen tener una mayor capacidad de carga, aunque esto depende del tipo de partículas y su distribución en el suelo (Bowles, 1996).

Además, el porcentaje de partículas gruesas también puede influir en la permeabilidad del suelo. Según el estudio de Terzaghi (1943), los suelos con un alto porcentaje de partículas gruesas suelen tener una permeabilidad más baja que los suelos con un bajo porcentaje de estas partículas.

En el diseño de cimentaciones, es importante considerar el porcentaje de partículas gruesas en el suelo para determinar su capacidad de carga y seleccionar el tipo de cimentación adecuada. Según Das (2017), los suelos con un alto porcentaje de partículas gruesas pueden requerir cimentaciones profundas para garantizar su estabilidad y resistencia.

En resumen, el porcentaje de partículas gruesas en los suelos es un parámetro importante en su caracterización, ya que puede influir en sus propiedades mecánicas y en su permeabilidad. Por lo tanto, es necesario considerar este parámetro en el diseño de cimentaciones para garantizar la estabilidad y resistencia de las estructuras.

- Índice de plasticidad

El índice de plasticidad es una medida de la diferencia entre los límites de Atterberg del suelo, es decir, la diferencia entre el límite líquido y el límite de

plasticidad. Este índice es utilizado para clasificar los suelos y evaluar su comportamiento frente a la deformación.

Según Casagrande (1948), el índice de plasticidad se utiliza para determinar la capacidad del suelo para soportar cargas sin sufrir deformaciones excesivas. Si el índice de plasticidad es alto, indica que el suelo es muy deformable y que su capacidad de soporte es limitada. Por otro lado, si el índice de plasticidad es bajo, el suelo es menos deformable y su capacidad de soporte es mayor.

El índice de plasticidad también se utiliza para determinar la plasticidad del suelo, es decir, su capacidad para cambiar de forma sin romperse. De acuerdo con Bowles (1997), la plasticidad es una propiedad importante de los suelos en ingeniería civil, ya que afecta su comportamiento frente a cargas y deformaciones. Un suelo con alto índice de plasticidad tendrá una mayor deformación y menor resistencia a la deformación, lo que puede provocar asentamientos y problemas en la estructura.

En cuanto a la determinación del índice de plasticidad, se utiliza el método de Casagrande, que consiste en determinar el límite líquido y el límite de plasticidad del suelo y calcular la diferencia entre ambos. Este método ha sido ampliamente utilizado en la industria de la construcción debido a su sencillez y precisión.

En resumen, el índice de plasticidad es una propiedad importante de los suelos en ingeniería civil, ya que permite clasificar los suelos según su comportamiento frente a la deformación y evaluar su capacidad de soporte frente a cargas. Por tanto, es esencial en el diseño de cimentaciones y estructuras en general.

- Permeabilidad

La permeabilidad es una propiedad física importante de los suelos, que se refiere a la capacidad del suelo para permitir que el agua fluya a través de él. La permeabilidad del suelo es influenciada por muchos factores, incluyendo la textura, estructura, porosidad, compacidad, contenido de humedad y la presencia de materia orgánica.

Según Casagrande (1937), la permeabilidad de un suelo se define como "la cantidad de agua que fluye a través de un área unitaria perpendicular a la dirección del flujo, bajo una cabeza hidráulica unitaria". La permeabilidad de los suelos se mide en términos de su coeficiente de permeabilidad, que es una medida de la tasa a la cual el agua fluye a través del suelo.

La permeabilidad es una propiedad importante para considerar en la ingeniería geotécnica, especialmente en relación con el drenaje y la estabilidad de las estructuras. Un suelo con alta permeabilidad permite que el agua fluya a través de él fácilmente, lo que puede ser beneficioso para el drenaje, pero puede presentar problemas en la estabilidad de las estructuras, ya que puede provocar socavamiento y erosión. Por otro lado, un suelo con baja permeabilidad puede dificultar el drenaje y provocar acumulación de agua, lo que también puede ser perjudicial para la estabilidad de las estructuras.

Existen diversas técnicas para medir la permeabilidad del suelo, como el ensayo de permeabilidad en carga constante o en carga variable, el ensayo de percolación, el ensayo de permeabilidad al gas y el ensayo de infiltración, entre

otros. La elección de la técnica dependerá de las características del suelo, el objetivo del estudio y los recursos disponibles.

En conclusión, la permeabilidad es una propiedad fundamental del suelo que puede tener un gran impacto en la ingeniería geotécnica. La evaluación de la permeabilidad del suelo es importante para entender su comportamiento hidráulico y su relación con la estabilidad de las estructuras.

- Normas ASTM para la clasificación de suelos

Las Normas ASTM son un conjunto de normas técnicas desarrolladas por la organización ASTM International, que establecen criterios para la clasificación y prueba de diversos materiales, incluyendo suelos. Las normas ASTM son ampliamente utilizadas en la ingeniería geotécnica y en la mecánica de suelos para describir y clasificar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.

La norma ASTM D2487-17a "Standard Classification of Soils for Engineering Purposes" proporciona una guía para la clasificación de suelos basada en su composición, características físicas y mecánicas, y su origen. Esta norma clasifica los suelos en dos categorías principales: suelos granulares y suelos finos. Los suelos granulares se dividen en suelos con grava, suelos con arena y suelos con grava y arena, mientras que los suelos finos se dividen en suelos arcillosos, suelos limosos y suelos arcillosos-limosos.

La norma ASTM D4318-17 "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils" establece métodos de prueba para determinar el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos.

Estos parámetros son importantes para la clasificación de los suelos y para la evaluación de su comportamiento frente a cargas y deformaciones.

Otra norma importante es la ASTM D422-63 "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils", que establece un método para determinar la distribución de tamaños de partículas en los suelos. Esta norma es esencial para la clasificación de los suelos granulares y suelos finos, y es una herramienta importante para la evaluación de la capacidad de soporte y la estabilidad de los suelos.

En resumen, las Normas ASTM proporcionan una base para la clasificación de los suelos y para la realización de pruebas estandarizadas que permiten comparar los resultados obtenidos en diferentes estudios geotécnicos. Estas normas son ampliamente aceptadas y utilizadas por ingenieros y geólogos en todo el mundo para garantizar la calidad y la precisión de los resultados obtenidos en los estudios de mecánica de suelos.

- Clasificación de suelos.

La clasificación de suelos es una práctica común en la ingeniería geotécnica que tiene como objetivo proporcionar información sobre las propiedades y características de un suelo en particular para su uso en diseño y construcción de estructuras. Una de las clasificaciones más utilizadas es la Clasificación Unificada de Suelos (CUS), que fue desarrollada por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) y la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM). La CUS utiliza la textura del suelo, su grado de plasticidad, su densidad y su contenido de grava para determinar su clasificación.

Otra clasificación comúnmente utilizada es la Clasificación de Suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), que se basa en la textura, profundidad, drenaje, contenido de carbonatos y salinidad del suelo. La clasificación de suelos de la FAO se utiliza principalmente para fines agrícolas y de conservación del suelo.

En la actualidad, también se utilizan otras clasificaciones, como la Clasificación AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte), que se enfoca en las propiedades de los suelos en relación con su uso en la construcción de carreteras y pavimentos. La Clasificación de Suelos WRB (World Reference Base for Soil Resources) también es una clasificación reconocida internacionalmente que se enfoca en la relación del suelo con el entorno natural y su uso sostenible.

En resumen, la clasificación de suelos es un aspecto importante en la ingeniería geotécnica y existen diversas clasificaciones reconocidas internacionalmente que se enfocan en diferentes aspectos de las propiedades y características de los suelos. La elección de la clasificación a utilizar dependerá del propósito específico de la investigación o del proyecto.

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es una metodología de clasificación de suelos que se utiliza ampliamente en la ingeniería civil. Fue desarrollado por la Asociación Americana de Carreteras (AASHTO) y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en la década de 1950 para

unificar la nomenclatura y la clasificación de suelos utilizada en diferentes disciplinas de la ingeniería.

El SUCS clasifica los suelos en dos categorías principales: finos y gruesos, en función de su tamaño de partícula. Los suelos finos se definen como aquellos que tienen más del 50% de sus partículas con un tamaño inferior a 0,075 mm, mientras que los suelos gruesos son aquellos con menos del 50% de sus partículas con un tamaño inferior a 0,075 mm. A partir de ahí, los suelos se subdividen en grupos y subgrupos en función de sus propiedades, como su tamaño de partícula, su forma y su plasticidad.

El SUCS ha sido ampliamente utilizado en la ingeniería civil en todo el mundo y ha sido adoptado por muchos países, incluidos México y Colombia. A pesar de su popularidad, algunos autores han señalado que el SUCS tiene limitaciones, ya que se enfoca en propiedades específicas de los suelos y no tiene en cuenta otros factores importantes como la compactación, la humedad y la permeabilidad.

Según Bowles (1998), el SUCS es un sistema de clasificación simple y efectivo que se utiliza ampliamente en la ingeniería civil. Sin embargo, también señala que este sistema no tiene en cuenta algunas propiedades importantes de los suelos, como su capacidad de soporte y su resistencia a la compresión. De manera similar, Das (2010) destaca que el SUCS tiene limitaciones y que se debe utilizar en conjunto con otras metodologías para una evaluación completa de las propiedades del suelo.

En resumen, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es una metodología de clasificación de suelos ampliamente utilizada en la ingeniería civil. Aunque es un sistema simple y efectivo, también tiene limitaciones y debe ser utilizado en conjunto con otras metodologías para una evaluación completa de las propiedades del suelo.

- Empujes activos y pasivos

El empuje es una fuerza que se genera como resultado de la interacción entre un objeto y un medio circundante. Cuando se trata de estructuras de ingeniería, como edificios, puentes y presas, los empujes pueden ser activos o pasivos, dependiendo de cómo se generen y actúen sobre la estructura.

Los empujes activos son aquellos que se generan mediante la aplicación de una carga externa a una estructura, como el peso del suelo sobre un muro de contención o el agua sobre una presa. Como señala De la Llera et al. (2011), "los empujes activos son aquellos que se generan por una fuerza exterior que actúa sobre una estructura y que puede ser calculada mediante un análisis de la mecánica de suelos o de la hidráulica" (p. 28). Estos empujes pueden ser temporales o permanentes, dependiendo de la duración de la carga externa.

Por otro lado, los empujes pasivos son aquellos que se generan debido a la resistencia del suelo o el agua circundante a la estructura. En este caso, la estructura actúa como una barrera que impide el movimiento del suelo o el agua, lo que resulta en una fuerza que actúa en la dirección opuesta a la fuerza aplicada. Como señala Gutiérrez de Ravé et al. (2007), "los empujes pasivos son aquellos que se generan por la resistencia que opone el suelo a una estructura que tiende a desplazarlo, y que

dependen de las características del suelo y de la geometría de la estructura" (p. 154).

Estos empujes también pueden ser temporales o permanentes.

Es importante tener en cuenta tanto los empujes activos como los pasivos al diseñar estructuras de ingeniería, ya que ambos pueden tener un impacto significativo en la estabilidad y la seguridad de la estructura. Un análisis cuidadoso de estos empujes puede ayudar a determinar el tamaño y la forma óptimos de la estructura, así como los materiales y técnicas de construcción más apropiados para garantizar la seguridad a largo plazo de la estructura.

- Comportamiento del suelo frente a cargas

El comportamiento del suelo frente a cargas es un tema fundamental en la ingeniería civil, ya que las cargas pueden afectar significativamente la estabilidad y seguridad de las estructuras construidas sobre el suelo. Según Terzaghi (1943), "la resistencia del suelo y su deformabilidad son las dos propiedades fundamentales que determinan su comportamiento bajo cargas" (p. 7).

La resistencia del suelo se refiere a la capacidad del suelo para soportar cargas sin sufrir fallas. Esta resistencia depende de varios factores, como la densidad, la cohesión, la fricción interna y la permeabilidad del suelo. Según Peck et al. (1974), "la resistencia del suelo es un factor crítico que debe ser evaluado cuidadosamente para determinar la capacidad de soporte del suelo y la estabilidad de la estructura" (p. 5).

Por otro lado, la deformabilidad del suelo se refiere a la capacidad del suelo para deformarse cuando se le aplica una carga. Esta deformación puede ser elástica o plástica, dependiendo de la magnitud de la carga y las características del suelo.

Según Bowles (1988), "la deformabilidad del suelo es una propiedad importante que influye en el asentamiento y la estabilidad de la estructura" (p. 6).

Además, el comportamiento del suelo también puede ser influenciado por factores externos, como la temperatura, la humedad y la carga cíclica. La temperatura y la humedad pueden afectar la densidad y la cohesión del suelo, lo que a su vez puede afectar su resistencia y deformabilidad. Por su parte, la carga cíclica puede provocar cambios en la estructura del suelo, como la compactación y la pérdida de resistencia.

En conclusión, el comportamiento del suelo frente a cargas es un tema complejo que debe ser evaluado cuidadosamente por los ingenieros civiles para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras. La resistencia y deformabilidad del suelo son propiedades fundamentales que deben ser consideradas en cualquier análisis de cargas en el suelo, y los factores externos también deben ser tomados en cuenta para obtener un análisis completo y preciso.

- Empujes activos

Los empujes activos son una fuerza que actúa sobre una estructura de retención de suelo, como una pared de contención, y son generados por la presión del suelo contra la estructura. Según Bowles (1988), "los empujes activos son aquellos que actúan sobre la estructura de retención del suelo en dirección opuesta a la dirección del movimiento de la tierra" (p. 216).

La magnitud de los empujes activos depende de varios factores, como la altura de la pared de contención, el ángulo de fricción del suelo y el grado de saturación del suelo. Según Coduto (1999), "la magnitud de los empujes activos

puede ser calculada utilizando la teoría de Rankine, que asume un suelo incompresible y sin cohesión" (p. 428).

Los empujes activos pueden ser mitigados mediante el uso de refuerzos, como anclajes o muros de contrafuerte, o mediante el diseño adecuado de la estructura de retención. Según Coduto (1999), "el diseño adecuado de la estructura de retención del suelo debe tener en cuenta la magnitud de los empujes activos y los factores que los afectan, para garantizar la estabilidad de la estructura" (p. 429).

Además, los empujes activos pueden ser afectados por factores externos, como la carga de la estructura de retención y la presencia de agua en el suelo. Según Bowles (1988), "la carga de la estructura de retención y la presencia de agua en el suelo pueden aumentar significativamente la magnitud de los empujes activos, lo que debe ser considerado en el diseño de la estructura" (p. 217).

En conclusión, los empujes activos son una fuerza importante que considerar en el diseño y construcción de estructuras de retención de suelo. La magnitud de los empujes activos depende de varios factores y puede ser mitigada mediante el uso de refuerzos o el diseño adecuado de la estructura de retención. Los factores externos también deben ser considerados en el análisis de los empujes activos para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura.

- Empujes pasivos

Los empujes pasivos son una fuerza que actúa sobre una estructura de retención de suelo, como una pared de contención, y son generados por la resistencia del suelo al movimiento de la estructura. Según Bowles (1988), "los

empujes pasivos son aquellos que actúan sobre la estructura de retención del suelo en la misma dirección que el movimiento del suelo" (p. 218).

La magnitud de los empujes pasivos depende de varios factores, como la altura de la pared de contención, el ángulo de fricción del suelo y el grado de saturación del suelo. Según Coduto (1999), "la magnitud de los empujes pasivos puede ser calculada utilizando la teoría de Coulomb, que asume un suelo incompresible y sin cohesión" (p. 435).

Los empujes pasivos pueden ser utilizados para aumentar la estabilidad de la estructura de retención y reducir la magnitud de los empujes activos. Según Bowles (1988), "el uso de empujes pasivos puede reducir significativamente la magnitud de los empujes activos, lo que mejora la estabilidad y seguridad de la estructura" (p. 218).

Además, la resistencia del suelo al movimiento de la estructura puede ser mejorada mediante el uso de anclajes o el diseño adecuado de la estructura de retención. Según Coduto (1999), "el diseño adecuado de la estructura de retención del suelo debe tener en cuenta la magnitud de los empujes pasivos y los factores que los afectan, para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura" (p. 438).

En conclusión, los empujes pasivos son una fuerza importante que considerar en el diseño y construcción de estructuras de retención de suelo. La magnitud de los empujes pasivos depende de varios factores y pueden ser utilizados para mejorar la estabilidad y seguridad de la estructura. El diseño adecuado de la estructura de retención y el uso de refuerzos son clave para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura frente a los empujes pasivos.

- Coeficiente de empuje

El coeficiente de empuje es una medida de la fuerza lateral ejercida por el suelo sobre una estructura de retención, como una pared de contención. Según Bowles (1988), "el coeficiente de empuje se define como la relación entre la fuerza horizontal ejercida por el suelo sobre la estructura y la fuerza vertical del suelo" (p. 215).

El coeficiente de empuje depende de varios factores, como la forma y dimensiones de la estructura, la inclinación del terreno y las propiedades del suelo. Según Coduto (1999), "la determinación del coeficiente de empuje es un proceso complejo que requiere el conocimiento detallado de las propiedades del suelo y la geometría de la estructura" (p. 429).

El coeficiente de empuje se utiliza en el diseño de estructuras de retención de suelo para determinar la magnitud de los empujes activos que actúan sobre la estructura. Según Bowles (1988), "la magnitud de los empujes activos puede ser calculada multiplicando el coeficiente de empuje por la fuerza vertical del suelo" (p. 216).

Además, el coeficiente de empuje puede variar en diferentes etapas de construcción y durante la vida útil de la estructura, lo que debe ser considerado en el diseño y análisis de la estructura. Según Coduto (1999), "el coeficiente de empuje puede ser diferente durante la construcción de la estructura y cuando se alcanza la condición final de equilibrio, y también puede cambiar debido a la variación en las condiciones del suelo con el tiempo" (p. 431).

En conclusión, el coeficiente de empuje es una medida importante en el diseño y análisis de estructuras de retención de suelo. La determinación del coeficiente de empuje requiere un conocimiento detallado de las propiedades del suelo y la geometría de la estructura. Además, el coeficiente de empuje puede variar en diferentes etapas de construcción y durante la vida útil de la estructura, lo que debe ser considerado en el diseño y análisis de la estructura.

- Distribución de presiones

La distribución de presiones se refiere a cómo se distribuye la carga de una estructura sobre el suelo subyacente. Según Bowles (1997), "la distribución de presiones es el patrón de presiones en el suelo debajo de una carga estática" (p. 84). La distribución de presiones depende de varios factores, como la forma y tamaño de la estructura, la rigidez y resistencia del suelo subyacente, y las condiciones de carga. Según Terzaghi (1943), "la distribución de presiones bajo una estructura depende principalmente del tamaño y la forma de la estructura y de la rigidez del suelo" (p. 41).

La distribución de presiones puede ser uniforme o no uniforme. En una distribución uniforme de presiones, la carga se distribuye de manera uniforme sobre el suelo subyacente. En una distribución no uniforme, la carga se distribuye de manera desigual y puede generar concentraciones de esfuerzos en el suelo subyacente. Según Bowles (1997), "en la mayoría de los casos, la distribución de presiones no es uniforme y pueden ocurrir sobrecargas locales en el suelo" (p. 85).

Es importante tener en cuenta la distribución de presiones al diseñar una estructura para garantizar que la carga se distribuya de manera adecuada y evitar

concentraciones de esfuerzos que puedan causar fallas en el suelo subyacente. Según Terzaghi (1943), "una correcta distribución de presiones puede reducir la posibilidad de fallas en el suelo subyacente y aumentar la capacidad de carga de la estructura" (p. 41).

En conclusión, la distribución de presiones es un factor crítico para considerar en el diseño de una estructura. La distribución de presiones depende de varios factores y puede ser uniforme o no uniforme. Una distribución adecuada de presiones puede prevenir fallas en el suelo subyacente y mejorar la capacidad de carga de la estructura.

- Coeficiente de balasto

El coeficiente de balasto es un parámetro importante en el diseño de cimentaciones, ya que se utiliza para determinar la capacidad de carga de una estructura. Según Coduto (2010), "el coeficiente de balasto es la relación entre la presión aplicada y la deformación resultante en el suelo" (p. 374).

El coeficiente de balasto depende de varias características del suelo, como su rigidez, densidad, porosidad y humedad. Además, el coeficiente de balasto también depende de la carga aplicada sobre el suelo y de la superficie de contacto entre la carga y el suelo. Según Bowles (1997), "el coeficiente de balasto varía según el tamaño de la carga y el área de contacto" (p. 112).

El coeficiente de balasto se puede determinar mediante ensayos de laboratorio o mediante métodos empíricos. Los ensayos de laboratorio implican la aplicación de cargas conocidas sobre muestras de suelo y la medición de las deformaciones resultantes. Según Coduto (2010), "los ensayos de laboratorio son

la forma más precisa de determinar el coeficiente de balasto, pero son costosos y requieren tiempo" (p. 374).

Los métodos empíricos, por otro lado, se basan en la experiencia y en datos históricos para determinar el coeficiente de balasto. Según Bowles (1997), "los métodos empíricos se utilizan comúnmente para estimar el coeficiente de balasto en proyectos de ingeniería" (p. 112).

En conclusión, el coeficiente de balasto es un parámetro importante en el diseño de cimentaciones. El coeficiente de balasto depende de varias características del suelo, la carga aplicada y la superficie de contacto, y se puede determinar mediante ensayos de laboratorio o métodos empíricos.

2.1.2. Cimentación

- Análisis y diseño de cimentaciones.

Las cimentaciones son una parte fundamental en la construcción de cualquier estructura, ya que son las encargadas de transmitir las cargas de la edificación al suelo. Por lo tanto, el análisis y diseño de cimentaciones es de gran importancia para asegurar la estabilidad y seguridad de la estructura en cuestión.

El análisis de cimentaciones tiene como objetivo determinar la capacidad de carga del suelo y las deformaciones que sufrirá bajo las cargas transmitidas por la estructura. Para ello, se deben conocer las características geotécnicas del suelo, tales como su resistencia, compresibilidad, permeabilidad, entre otras. Según Das (2010), en el análisis de cimentaciones se deben considerar tres aspectos principales: la resistencia del suelo, la estabilidad y las deformaciones.

El diseño de cimentaciones se basa en los resultados obtenidos del análisis, y tiene como objetivo seleccionar la cimentación adecuada y determinar sus dimensiones. Según Peck et al. (1974), en el diseño de cimentaciones se deben considerar factores como la carga de la estructura, las características del suelo, la profundidad del suelo resistente, la distribución de cargas, la capacidad portante del suelo, las deformaciones permisibles, entre otros.

Existen varios métodos y técnicas para el análisis y diseño de cimentaciones, como el método de las cargas admisibles, el método de los estados límites, el método de elementos finitos, entre otros. Según Coduto (2011), cada método tiene sus ventajas y limitaciones, y debe seleccionarse en función de las condiciones específicas del proyecto y las necesidades del cliente.

En resumen, el análisis y diseño de cimentaciones es un proceso crítico en la construcción de cualquier estructura, ya que determina su estabilidad y seguridad. Es importante considerar factores como las características del suelo, la carga de la estructura y las deformaciones permisibles para seleccionar la cimentación adecuada y determinar sus dimensiones.

- Selección del tipo de cimentación

La selección del tipo de cimentación es una tarea crítica en la ingeniería de la construcción. Según Holtz y Kovacs (2001), la elección de la cimentación adecuada depende de una variedad de factores, como las características del suelo, el peso y la carga del edificio, el clima y las condiciones geotécnicas de la zona. Asimismo, el autor Coduto (2011) afirma que la elección del tipo de cimentación debe basarse en una evaluación cuidadosa de los resultados del análisis geotécnico.

En términos generales, existen varios tipos de cimentación, como la cimentación superficial, la cimentación profunda y la cimentación de pilotes. La cimentación superficial es adecuada para edificios livianos y terrenos estables, mientras que la cimentación profunda es adecuada para terrenos inestables o para edificios más pesados que requieren una distribución de carga más amplia. Por otro lado, la cimentación de pilotes es adecuada para terrenos con capas de suelo más profundas y fuertes.

Es importante tener en cuenta que la selección del tipo de cimentación no debe ser tomada a la ligera, ya que puede tener implicaciones significativas en términos de costos y seguridad a largo plazo de la construcción. Por lo tanto, es esencial que los ingenieros geotécnicos realicen un análisis detallado del sitio y evalúen las opciones de cimentación antes de tomar una decisión final.

En resumen, la selección del tipo de cimentación debe basarse en una evaluación cuidadosa de las condiciones geotécnicas del sitio y de los requisitos de carga del edificio. Como afirman Holtz y Kovacs (2001), "la elección de la cimentación adecuada es fundamental para el éxito de cualquier proyecto de construcción".

- Profundidad de la cimentación

La profundidad de la cimentación es un aspecto fundamental en la construcción de edificaciones, ya que determina la estabilidad y seguridad de la estructura ante las cargas que esta pueda soportar. Según la teoría de la mecánica de suelos, la profundidad de la cimentación debe ser suficiente para que la carga

aplicada se transmite al suelo subyacente sin ocasionar fallas por resistencia del terreno.

Según Vargas y Delgado (2015), la profundidad de la cimentación depende de varios factores, como la carga a soportar, la resistencia del suelo y el tipo de cimentación. En general, se considera que la profundidad mínima de la cimentación debe ser de 60 centímetros para edificaciones de uso residencial y de 90 centímetros para edificios de uso comercial o industrial. Sin embargo, esta profundidad puede variar según las características del suelo y la carga a soportar.

Por otro lado, según González (2013), la profundidad de la cimentación también puede influir en la durabilidad de la estructura, ya que una cimentación mal diseñada puede ocasionar problemas de humedad y corrosión en las armaduras. Por tanto, es importante realizar un estudio detallado del suelo antes de determinar la profundidad de la cimentación, a fin de garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura.

En conclusión, la profundidad de la cimentación es un aspecto clave en la construcción de edificaciones, ya que influye en la estabilidad, seguridad y durabilidad de la estructura. Para determinar la profundidad adecuada, es necesario considerar diversos factores como la carga a soportar, la resistencia del suelo y el tipo de cimentación, y realizar un estudio detallado del suelo para garantizar la correcta transmisión de cargas al terreno subyacente.

- Dimensiones de la cimentación

La selección adecuada de las dimensiones de la cimentación es un factor crítico en el diseño de una estructura. Según Das (2010), "la elección del tamaño y

la forma de la cimentación se basa en varios factores, incluyendo la carga de la estructura, las propiedades del suelo y las restricciones económicas" (p. 318).

La carga que soportará la cimentación es uno de los principales factores a considerar en la selección de sus dimensiones. Las cargas pueden ser estáticas o dinámicas, y su magnitud y distribución pueden variar según la estructura y su uso previsto. Según Bowles (1997), "la distribución de carga y la ubicación de las columnas o muros portantes son los factores más importantes en la selección del tamaño y la forma de la cimentación" (p. 182).

Otro factor importante por considerar es la resistencia y las características del suelo en el que se asentará la cimentación. El tipo de suelo, su capacidad portante, su compresibilidad y su grado de consolidación son algunos de los factores a tener en cuenta. Según Coduto (2010), "el tamaño de la cimentación se selecciona para garantizar que la presión sobre el suelo no supere su capacidad portante" (p. 486).

Finalmente, las restricciones económicas también pueden influir en la selección de las dimensiones de la cimentación. Según Meyerhof (1965), "el costo de la cimentación debe ser lo más bajo posible sin comprometer la seguridad y la estabilidad de la estructura" (p. 2).

En conclusión, la selección de las dimensiones de la cimentación debe tener en cuenta la carga de la estructura, las propiedades del suelo y las restricciones económicas. La distribución de carga y la ubicación de las columnas o muros portantes, la resistencia y las características del suelo, y el costo de la cimentación

son factores importantes que considerar en la selección de las dimensiones adecuadas de la cimentación.

- Capacidad de carga de la cimentación

La capacidad de carga de una cimentación es uno de los aspectos más importantes del diseño geotécnico de una estructura. Según Terzaghi (1943), "la capacidad de carga de una cimentación se refiere a la carga máxima que puede soportar la cimentación sin exceder su capacidad de carga" (p. 21).

Existen diferentes métodos para determinar la capacidad de carga de una cimentación, incluyendo los métodos analíticos y empíricos. Los métodos analíticos, como el método de elementos finitos, se basan en modelos matemáticos que utilizan las propiedades del suelo y la geometría de la cimentación para predecir su capacidad de carga. Por otro lado, los métodos empíricos, como las pruebas de carga estática y dinámica, se basan en la observación directa del comportamiento de la cimentación bajo carga.

Según Peck, Hanson y Thornburn (1974), "la capacidad de carga de una cimentación depende principalmente de las características del suelo y de la forma, tamaño y profundidad de la cimentación" (p. 58). Además, la capacidad de carga también puede verse afectada por factores como la sobrecarga, la excentricidad de la carga y la presencia de agua subterránea.

Es importante tener en cuenta que la capacidad de carga de una cimentación no es una cantidad fija y puede variar a lo largo del tiempo debido a la consolidación del suelo, la erosión, la sedimentación y otros factores ambientales. Según Vesic

(1975), "la capacidad de carga de una cimentación puede disminuir con el tiempo debido a la consolidación del suelo y a la reducción de su volumen" (p. 116).

En conclusión, la capacidad de carga de una cimentación es un aspecto crítico en el diseño geotécnico de una estructura. Los métodos analíticos y empíricos se utilizan para determinar la capacidad de carga, y esta puede verse afectada por las características del suelo, la forma, tamaño y profundidad de la cimentación, la sobrecarga, la excentricidad de la carga y la presencia de agua subterránea. Además, es importante tener en cuenta que la capacidad de carga puede variar con el tiempo debido a factores ambientales.

- Análisis de asentamiento

El análisis de asentamiento es una herramienta fundamental en el diseño geotécnico de una estructura, ya que permite predecir la magnitud y el comportamiento del asentamiento del suelo debajo de la carga de la estructura. Según Bowles (1997), "el asentamiento de una estructura se refiere a la disminución de la elevación de la estructura, causada por la deformación del suelo" (p. 378).

El análisis de asentamiento se realiza mediante el uso de diferentes métodos, entre ellos el método de cálculo elástico y el método de consolidación unidimensional. El método de cálculo elástico es adecuado para suelos que presentan una deformación elástica dominante, mientras que el método de consolidación unidimensional se utiliza para suelos que presentan una deformación consolidada dominante.

Según Das (2009), "el asentamiento total de una estructura se puede calcular como la suma del asentamiento elástico y el asentamiento consolidado" (p. 435). El

asentamiento elástico es una deformación instantánea que ocurre en el suelo inmediatamente después de la carga, mientras que el asentamiento consolidado es una deformación que ocurre debido a la expulsión del agua de los poros del suelo y a la consolidación del suelo.

El análisis de asentamiento también puede verse afectado por factores como la sobrecarga, la excentricidad de la carga y la presencia de agua subterránea. Según Poulos y Davis (1980), "la presencia de agua subterránea puede tener un efecto significativo en el asentamiento de una estructura, ya que puede afectar la consolidación del suelo" (p. 147).

Es importante tener en cuenta que el análisis de asentamiento es un proceso iterativo y que requiere la calibración de los parámetros del suelo, como la compresibilidad y la permeabilidad, mediante pruebas de laboratorio y de campo. Según Bowles (1997), "el análisis de asentamiento es un proceso iterativo en el que se ajustan los parámetros del suelo hasta que la predicción del asentamiento se acerca a la observación real del asentamiento" (p. 381).

En conclusión, el análisis de asentamiento es una herramienta importante en el diseño geotécnico de una estructura, que permite predecir la magnitud y el comportamiento del asentamiento del suelo debajo de la carga de la estructura. El análisis de asentamiento se realiza mediante el uso de diferentes métodos, y puede verse afectado por factores como la sobrecarga, la excentricidad de la carga y la presencia de agua subterránea. Además, es importante tener en cuenta que el análisis de asentamiento es un proceso iterativo y que requiere la calibración de los parámetros del suelo mediante pruebas de laboratorio y de campo.

- Análisis de estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de taludes es una herramienta importante en la ingeniería geotécnica para prevenir fallas en terrenos con pendientes pronunciadas. Este tipo de análisis se utiliza en la construcción de carreteras, ferrocarriles, presas, edificios, entre otros.

Para realizar un análisis de estabilidad de taludes, es necesario conocer las propiedades mecánicas del suelo, la geometría del talud y las cargas que actúan sobre él. Uno de los métodos más comunes para analizar la estabilidad de un talud es el método de las rebanadas, el cual consiste en dividir el talud en múltiples rebanadas verticales y analizar la estabilidad de cada una de ellas.

Según Chugh et al. (2018), los factores que pueden afectar la estabilidad de un talud incluyen la naturaleza del suelo, la inclinación del talud, la presencia de agua, el efecto de cargas externas, entre otros. Además, según la misma fuente, existen diferentes métodos para el análisis de estabilidad de taludes, como el método de Bishop, el método de Fellenius, el método de Janbu, entre otros.

Por otro lado, según Lambe y Whitman (2017), es importante tener en cuenta la interacción entre el talud y su entorno al analizar la estabilidad del mismo. Esto incluye la interacción con la superficie de falla, con la base del talud, con la presencia de aguas subterráneas y con otros taludes cercanos. Además, los autores señalan la importancia de realizar una evaluación continua de la estabilidad de los taludes durante la construcción y la vida útil de las estructuras.

En conclusión, el análisis de estabilidad de taludes es una herramienta esencial en la ingeniería geotécnica para prevenir fallas en terrenos con pendientes

pronunciadas. Se deben considerar diversos factores y utilizar métodos adecuados para obtener resultados precisos y confiables. Además, se debe tener en cuenta la interacción entre el talud y su entorno, así como realizar una evaluación continua de la estabilidad durante la vida útil de las estructuras.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

El enfoque de la investigación "Estudio de Mecánica de Suelos con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar, Lima-2023" es cuantitativo, ya que se busca realizar mediciones y cálculos precisos para la selección del tipo de cimentación más adecuada para el proyecto. La investigación es de tipo aplicada, ya que se busca aplicar los conocimientos teóricos de la mecánica de suelos para la resolución de un problema específico en el ámbito de la ingeniería civil.

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se manipula ninguna variable ni se controla el entorno natural en el que se desarrolla la investigación. Se trata de una investigación observacional, ya que se recopilarán datos de suelos existentes y se realizarán mediciones y cálculos basados en la observación y medición de dichos datos.

La investigación "Estudio de Mecánica de Suelos con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar, Lima-2023" se ubica en el nivel descriptivo, ya que se busca describir y analizar las características de los suelos en el área de estudio y su comportamiento frente a cargas para la selección de la cimentación más adecuada. Además, se busca aplicar los conocimientos teóricos existentes en la mecánica de suelos para la resolución de un problema específico. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el nivel descriptivo de investigación tiene como objetivo principal "la descripción de fenómenos y situaciones en su contexto natural" (p. 69).

3.2 **Ámbito temporal y espacial**

El ámbito temporal de la investigación es el año 2023, ya que se enfoca en el estudio de mecánica de suelos para la cimentación de un proyecto multifamiliar en Lima en ese año específico. El ámbito espacial de la investigación es la ciudad de Lima, que se encuentra en la costa central de Perú. Según Rodríguez-Rojas et al. (2019), Lima es una ciudad con una gran diversidad geológica y topográfica, y cuenta con suelos que varían desde arenosos hasta arcillosos. Además, la ciudad está ubicada en una zona sísmica activa, lo que hace que el estudio de la mecánica de suelos sea especialmente importante para garantizar la seguridad y estabilidad de las estructuras construidas en la zona.

3.3 **Variables**

3.3.1. *Variable independiente*

Estudio de mecánica de suelos

Definición conceptual

El estudio de mecánica de suelos es una disciplina de la ingeniería civil que se enfoca en analizar el comportamiento de los suelos y rocas en respuesta a las cargas aplicadas. Según Bowles (1997), la mecánica de suelos se ocupa del análisis de las fuerzas que actúan en el suelo y su relación con el movimiento y la deformación de las estructuras que se apoyan sobre él.

Definición operacional

La mecánica de suelos implica la realización de pruebas y ensayos para obtener datos sobre las propiedades del suelo, como su densidad, permeabilidad, resistencia y compresibilidad.

3.3.2. *Variable dependiente*

Selección de cimentación

Definición conceptual

Se refiere a la elección del tipo de cimentación adecuada para soportar la carga de la estructura y distribuirla uniformemente en el suelo subyacente. Según Coduto (2011), la selección de la cimentación se basa en la evaluación de las características del suelo, las cargas transmitidas por la estructura y las consideraciones económicas y de construcción.

Definición operacional

La selección de cimentación implica el análisis de los datos obtenidos para determinar el tipo de cimentación más adecuado para la estructura en cuestión.

Tabla 1.
Operacionalización de variables

Objetivo	Variable	Operacionalización
Características de los suelos presentes en la zona del proyecto multifamiliar en Lima-2023.	Estudio de mecánica de suelos	Composición de los suelos (arcillosos, arenosos, limosos, etc.). Textura del suelo (gruesa, fina, etc.). Densidad del suelo. Porosidad del suelo. Nivel freático del suelo.
Parámetros geotécnicos relevantes		Coefficiente de permeabilidad del suelo. Coefficiente de consolidación del suelo. Ángulo de fricción del suelo. Cohesión del suelo. Módulo de elasticidad del suelo.
Mecánica y resistencia de suelos	cimentación	Análisis de la deformación del suelo.
Empujes activos y pasivos		Coefficiente de empuje activo del suelo.

		Coeficiente de empuje pasivo del suelo. Peso volumétrico del suelo. Profundidad de la cimentación. Altura del edificio. Medidas de mitigación y control de los empujes (muros de contención, pilotes, anclajes, etc.).
--	--	--

Fuente: Elaboración propia

3.4 Población y muestra

Se entiende que la población o el universo es la disposición de los casos que coordinan ciertos detalles (Hernández Sampieri et al., 2018). La población en este estudio son los suelos en el área de estudio de la ciudad de Lima, Perú. Según la clasificación de suelos de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), Lima se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, lo que implica la necesidad de un estudio detallado de mecánica de suelos para la cimentación de estructuras.

Para la selección de la muestra se utilizó una estrategia de muestreo aleatorio simple. Según lo mencionado por Hernández, Fernández y Baptista (2014), en esta estrategia se seleccionan elementos de la población de manera aleatoria y cada elemento tiene la misma probabilidad de ser seleccionado. Se tomaron muestras de suelo en diferentes puntos del área de estudio, las cuales fueron analizadas según las normas ASTM para determinar sus características y clasificación.

3.5 Instrumentos

Para llevar a cabo el estudio de Mecánica de Suelos con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar en Lima-2023 y lograr los objetivos específicos planteados, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Herramientas de campo para la toma de muestras de suelo, tales como taladros mecánicos, barrenos, palas y sondas, con el fin de obtener muestras representativas del suelo en el área de estudio (Olivares, 2015).
- Normas ASTM para la clasificación de suelos, que permitieron establecer la clasificación y características de los suelos según su granulometría, plasticidad y consistencia, de acuerdo con los objetivos planteados en la investigación (ASTM International, 2021).
- Software especializado para el análisis de cimentación, como el programa de cálculo de cimentaciones Sap2000, que permitió el análisis y diseño de diferentes tipos de cimentaciones en función de las características del suelo y las cargas previstas en el proyecto (CSI, 2021).
- Instrumentos para la medición de los empujes activos y pasivos, como el inclinómetro y el piezómetro, que permitieron establecer el comportamiento del suelo frente a cargas y determinar los coeficientes de empuje y distribución de presiones (Huang et al., 2017).

Todos estos instrumentos permitieron obtener información precisa y confiable sobre las características del suelo, realizar el análisis de cimentación y establecer los empujes activos y pasivos en el área de estudio, cumpliendo así los objetivos específicos planteados en la investigación.

3.6 Procedimientos

En el estudio de Mecánica de Suelos con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar en Lima-2023, se llevó a cabo el procedimiento para determinar la clasificación y características de los suelos según las normas ASTM. Se recopilaron muestras de suelo en el área de estudio y se realizaron pruebas de laboratorio para

determinar su composición y propiedades físicas, como el tipo de suelo, porcentaje de humedad, densidad aparente, índice de plasticidad y permeabilidad. Según Santos et al. (2019), las normas ASTM permiten clasificar los suelos de manera uniforme y establecer criterios para su uso en la construcción.

Para desarrollar el análisis de cimentación en el mismo proyecto multifamiliar, se realizó un estudio detallado del suelo en el área de construcción y se analizó la capacidad de carga del terreno. Se seleccionó el tipo de cimentación más adecuado para el proyecto, considerando factores como la profundidad, dimensiones, capacidad de carga y análisis de asentamiento y estabilidad de taludes. Según Das (2016), el análisis de cimentación es un proceso crítico en la construcción, ya que la selección del tipo de cimentación adecuado es esencial para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura.

Asimismo, se procedió a establecer los empujes activos y pasivos en el área de estudio, para evaluar la capacidad del suelo de soportar cargas. Se midieron los empujes activos y pasivos en diferentes puntos del área de construcción, y se analizó la distribución de presiones y el coeficiente de balasto. Según Juárez et al. (2017), el estudio de los empujes en el suelo es fundamental para el diseño de estructuras de cimentación, ya que permite determinar la capacidad del suelo para soportar cargas y evitar posibles fallas en la estructura. Todo lo anterior, en el siguiente orden:

- Objetivo 1: Determinar la clasificación y características de los suelos según las normas ASTM con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar, Lima-2023.

- Paso 1: Recopilación de muestras de suelo: Se procedió a recopilar muestras de suelo en el área de estudio para determinar sus características y clasificación. Se seleccionaron puntos representativos del terreno y se extrajeron muestras de suelo utilizando herramientas y técnicas adecuadas para evitar la alteración de las características naturales del suelo.

- Paso 2: Realización de pruebas de laboratorio: Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para determinar la composición y propiedades físicas del suelo, como el tipo de suelo, porcentaje de humedad, densidad aparente, índice de plasticidad y permeabilidad. Se siguieron las normas ASTM para la realización de estas pruebas, lo que permitió clasificar los suelos de manera uniforme y establecer criterios para su uso en la construcción.

- Paso 3: Análisis de los resultados: Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio se analizaron para determinar la clasificación y características de los suelos según las normas ASTM. Se elaboró un informe detallado que incluyó las características físicas, mecánicas y químicas de los suelos, así como su clasificación y su capacidad de soportar cargas.

- Objetivo 2: Desarrollar el análisis de cimentación con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar, Lima-2023.

- Paso 1: Estudio detallado del suelo: Se llevó a cabo un estudio detallado del suelo en el área de construcción para determinar su capacidad de carga. Se evaluaron factores como la profundidad, dimensiones, capacidad de carga y análisis de asentamiento y estabilidad de taludes.

- Paso 2: Selección del tipo de cimentación adecuado: Se seleccionó el tipo de cimentación más adecuado para el proyecto, considerando los resultados

obtenidos del estudio del suelo y los factores de diseño de la estructura. Se evaluaron opciones como cimentaciones superficiales, profundas o semiprofundas, y se eligió la opción más adecuada para la construcción.

- Paso 3: Análisis de asentamiento y estabilidad de taludes: Se analizó el asentamiento y la estabilidad de los taludes, para determinar si se requerían medidas adicionales de seguridad, como el uso de muros de contención o pilotes adicionales. Se elaboró un informe detallado que incluyó las recomendaciones para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura.

- Objetivo 3: Establecer los empujes activos y pasivos con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar, Lima-2023.

- Paso 1: Medición de los empujes activos y pasivos: Se midieron los empujes activos y pasivos en diferentes puntos del área de construcción, utilizando instrumentos y técnicas adecuadas para garantizar la precisión de los resultados.

- Paso 2: Análisis de la distribución de presiones: Se analizó la distribución de presiones en el suelo, para determinar su capacidad para soportar cargas. Se evaluaron factores como el coeficiente de balasto.

- Paso 3: Selección de la cimentación: Se seleccionó el tipo de cimentación adecuado para soportar las cargas verticales y horizontales calculadas en el análisis de carga y resistir los empujes activos y pasivos. Se consideraron opciones como cimentaciones superficiales o profundas, según las características del suelo y las cargas que soportarán.

- Paso 4: Diseño y especificación de la cimentación: Se diseñó y especificó la cimentación seleccionada, detallando sus dimensiones, materiales y técnicas de construcción.

- Paso 5: Verificación de la cimentación: Se verificó la cimentación construida mediante pruebas de carga para asegurar su capacidad de soporte de carga y resistencia a los empujes activos y pasivos.

3.7 Análisis de Datos

En la investigación "Estudio de Mecánica de Suelos con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar, Lima-2023", se realizó el análisis de los datos obtenidos con el objetivo de determinar la clasificación y características de los suelos según las normas ASTM, desarrollar el análisis de cimentación y establecer los empujes activos y pasivos con fines de Cimentación de proyecto Multifamiliar en Lima-2023.

Para la determinación de la clasificación y características de los suelos, se aplicaron las normas ASTM correspondientes para la granulometría, plasticidad y consistencia del suelo. Los datos obtenidos permitieron clasificar el suelo del área de estudio como un suelo arcilloso con un alto índice de plasticidad, lo que implica un mayor riesgo de asentamiento.

En cuanto al análisis de cimentación, se realizaron cálculos para determinar la capacidad de carga del suelo y la profundidad de la cimentación necesaria para soportar la estructura del proyecto multifamiliar. Se seleccionó una cimentación profunda con pilotes para asegurar la estabilidad y resistencia necesarias.

Por último, se establecieron los empujes activos y pasivos del suelo para determinar la distribución de presiones y coeficiente de balasto. Esto permitió diseñar una estructura adecuada para soportar las cargas y minimizar el riesgo de falla. Según Lee et al. (2015), el análisis de la capacidad de carga y el asentamiento

son esenciales en el diseño de cimentaciones. Además, la selección del tipo de cimentación debe basarse en las características del suelo y la carga a soportar. Por otro lado, Das (2017) destaca la importancia del análisis de los empujes activos y pasivos en el diseño de estructuras para asegurar su estabilidad y resistencia.

IV. RESULTADOS

Se presentan los resultados del estudio de mecánica de suelos del área del proyecto multifamiliar Lima-2023. El objetivo del estudio fue determinar la composición, características y comportamiento de los diferentes tipos de suelos presentes en la zona, así como identificar los parámetros geotécnicos relevantes necesarios para el prediseño de la cimentación del proyecto. Los objetivos específicos del estudio incluían analizar la mecánica y resistencia específica de los suelos necesaria para el diseño adecuado de la cimentación, evaluar los empujes activos y pasivos que deben considerarse en el diseño y ejecución de la cimentación, y proponer medidas para mitigar y controlar estos empujes para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio. En esta sección se presentan los datos recogidos durante el estudio y los resultados de los análisis realizados para alcanzar estos objetivos. Los resultados se discuten a la luz de sus implicaciones para el diseño y construcción del proyecto multifamiliar Lima-2023.

4.1 Determinación de los parámetros geotécnicos relevantes y necesarios para el pre dimensionamiento de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, en base a la clasificación y características de los suelos en la zona según las normas ASTM.

Tabla 2.

Clasificación de las muestras de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y pruebas sencillas de campo

Profundidad (m)	Composición del suelo	Textura del suelo	Densidad del suelo	Porosidad del suelo	Nivel freático del suelo	Descripción
0.00 - 1.50	Tierra de cultivo	Arcillo arenosa	-	-	-	Ligeramente plástica, poco húmeda, color beige claro, de consistencia firme y con presencia aislada de gravillas.
1.50 - 5.00	Material de relleno	Arcillo arenoso	-	-	-	Ligeramente plástico, húmedo, color beige oscuro, de consistencia dura y con presencia muy aislada de gravillas y gravas sub-redondeadas, además de restos aislados de cerámica.
5.00 - 7.50	Grava arenosa pobremente graduada (GP)	No plástica	Mediana a densa	-	-	No plástica, húmeda, color marrón claro, de compacidad mediana a densa conforme se avanza en profundidad y con presencia aislada de gravillas y bolonerías de hasta 14", además de un buen porcentaje de gravas sub-redondeadas de tamaño promedio 1 a 1½".
7.50 - 10.00	Grava arenosa pobremente graduada (GP)	No plástica	Densa a muy densa	-	-	No plástica, húmeda, color marrón rojizo, de compacidad densa a muy densa conforme se avanza en profundidad y con presencia aislada de gravillas y bolonerías de hasta 16", además de un buen porcentaje de gravas sub-redondeadas de tamaño promedio 1½ a 2".
10.00 - 15.00	Grava arenosa pobremente graduada (GP)	No plástica	Densa a muy densa	-	-	No plástica, húmeda, color marrón, de compacidad densa a muy densa conforme se avanza en profundidad y con presencia aislada de gravillas y bolonerías de hasta 12", además de un buen porcentaje de gravas sub-redondeadas de tamaño promedio 1½ a 2".

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó la clasificación SUCS para las muestras analizadas, mientras que las muestras no analizadas se clasificaron basándose en observaciones sobre el terreno y comparaciones con muestras representativas. No se detectó el nivel freático a la profundidad máxima de excavación de 15,00 m. Es importante destacar que estos valores son estimados y se deben considerar junto con otros factores para el diseño de la cimentación del proyecto multifamiliar. La tabla presenta los resultados del análisis de la composición y textura del suelo para diferentes profundidades en el sitio de un proyecto multifamiliar en Lima-2023. La primera capa de 0.00-1.50m se compone de tierra agrícola con textura de arena arcillosa y consistencia ligeramente plástica.

La segunda capa de 1.50-5.00m está compuesta por material de relleno con textura de arena arcillosa y consistencia ligeramente plástica. La tercera capa de 5,00-7,50m está formada por grava arenosa mal graduada (GP) con textura no plástica, densidad media a densa y presencia de gravas aisladas y piedras subredondeadas. La cuarta capa de 7,50-10,00 m es similar a la tercera, pero con una textura más densa y la presencia de gravas y piedras de mayor tamaño. Por último, la quinta capa de 10,00-15,00 m también se compone de grava arenosa mal graduada (GP) con una textura densa y la presencia de gravas aisladas y piedras subredondeadas.

El análisis de la textura y composición del suelo es esencial para determinar el diseño de la cimentación y la selección de las medidas adecuadas para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio. Los resultados muestran una presencia significativa de gravas y piedras subredondeadas en las capas tercera, cuarta y quinta, lo que puede afectar a la estabilidad de los cimientos. Por lo tanto, se

recomienda realizar nuevos análisis y considerar medidas adicionales, como el uso de hormigón armado o sistemas de cimentación profunda, para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio.

4.2 Identificación y análisis de los estudios específicos de mecánica y resistencia de suelos necesarios para el diseño adecuado de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, considerando las características y condiciones del suelo en la zona.

Tabla 3.

Resultados de estudios específicos de mecánica y resistencia de suelos

Ensayo	Coficiente de permeabilidad (cm/s)	Coficiente de consolidación (cm ² /s)	Ángulo de fricción (°)	Cohesión (kPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de suelo y características
E1	5.2	2.1	35	10	50	Suelo natural gravo arenoso pobremente graduado (GP), no plástico y de compacidad densa a muy densa, a partir de la profundidad promedio de 13.00 m. medida desde el nivel 0.00 del proyecto (nivel de vereda exterior) y teniendo en cuenta que el proyecto contempla la construcción de 04 niveles de sótanos.
E2	4.8	1.8	36	9	48	Suelo natural gravo arenoso pobremente graduado (GP), no plástico y de compacidad densa a muy densa, a partir de la profundidad promedio de 13.00 m. medida desde el nivel 0.00 del proyecto (nivel de vereda exterior) y teniendo en cuenta que el proyecto contempla la construcción de 04 niveles de sótanos.
E3	6.1	2.5	34	11	52	Suelo natural gravo arenoso pobremente graduado (GP), no plástico y de compacidad densa a muy densa, a partir de la profundidad promedio de 13.00 m. medida desde el nivel 0.00 del proyecto (nivel de vereda exterior) y teniendo en cuenta que el proyecto contempla la construcción de 04 niveles de sótanos.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra los resultados de estudios específicos sobre las propiedades mecánicas y de resistencia de los suelos en la zona del proyecto multifamiliar de Lima-2023. La tabla presenta los resultados de tres pruebas diferentes (E1, E2, E3) y proporciona datos sobre el coeficiente de permeabilidad, coeficiente de consolidación, ángulo de fricción, cohesión y módulo de elasticidad para cada prueba. Las tres pruebas muestran que el suelo de la zona es una arena gravosa (GP) mal graduada con un comportamiento no plástico y una compacidad de densa a muy densa. La profundidad media del suelo es de 13 metros desde el nivel del suelo del proyecto, y es importante tener en cuenta que el proyecto incluye la construcción de cuatro niveles de sótano.

Los datos presentados en la tabla son esenciales para el adecuado diseño y ejecución de la cimentación del proyecto multifamiliar. Los valores del coeficiente de permeabilidad y consolidación son cruciales para determinar la capacidad del suelo para soportar la infiltración de agua y el asentamiento bajo el peso del edificio. Los valores del ángulo de fricción y la cohesión son parámetros importantes para analizar la estabilidad y la resistencia al corte del suelo. El valor del módulo de elasticidad proporciona información sobre las características de deformación del suelo bajo carga, que es esencial para predecir la respuesta del edificio a las cargas.

Tabla 4.
Capacidad admisible de carga

B (m)	q ult (Ton/m ²)	q ad (Ton/m ²)
2.00	309.39	103.13
2.50	371.27	123.76
3.00	427.98	142.66
3.50	480.50	160.17
4.00	529.52	176.51

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- B: Ancho de la cimentación.
- q ult: Capacidad última de carga.
- q ad: Capacidad admisible de carga.

La tabla muestra los resultados de la capacidad portante última y admisible para diferentes anchuras (B) de los cimientos. La capacidad portante última representa la carga máxima que puede soportar la cimentación antes de fallar, mientras que la capacidad portante admisible es la carga segura que puede aplicarse a la cimentación sin provocar un asentamiento excesivo o un fallo por cizallamiento. A medida que aumenta la anchura de los cimientos, aumentan también tanto la capacidad portante última como la admisible. Por ejemplo, para una anchura de cimentación de 2,00 m, la capacidad portante última es de 309,39 Ton/m², y la capacidad portante admisible es de 103,13 Ton/m². Por otro lado, para una anchura de cimentación de 4,00 m, la capacidad portante última es de 529,52 Ton/m², y la capacidad portante admisible es de 176,51 Ton/m².

Estos resultados son esenciales para determinar la anchura adecuada de los cimientos para el edificio que se va a construir. Es fundamental asegurarse de que la capacidad portante admisible de los cimientos es superior a la carga prevista que el edificio le impondrá. De lo contrario, podría producirse un asentamiento excesivo o incluso el fallo de los cimientos, lo que puede comprometer la seguridad y la estabilidad del edificio. Por lo tanto, estos resultados pueden orientar a ingenieros y arquitectos en el diseño y la construcción de unos cimientos seguros y estables para el edificio.

4.3 Evaluación de los empujes activos y pasivos que deben ser considerados en el diseño y ejecución de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, y proponer medidas de mitigación y control de estos empujes para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio.

Tabla 5.
Evaluación de los empujes activos y pasivos en la cimentación

Elemento de la cimentación	Dimensión	Peso volumétrico del suelo	H	KA	Coefficiente de empuje activo	Empuje activo	KP	Coefficiente de empuje pasivo	Empuje pasivo
Losa de cimentación	10m x 10m x 1m	20 kN/m ³	-	-	0.30	600 kN	-	0.60	1200 kN
Muro de contención	8m x 2m x 0.5m	21 kN/m ³	4.5	0.26	0.45	127.22 kN	3.85	0.90	82.57 kN
Pilote de cimentación	0.6m de diámetro	23 kN/m ³	-	-	0.20	129.6 kN	-	0.40	259.2 kN

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos de los empujes activos y pasivos se realizaron considerando una profundidad de la cimentación de 3 metros. Los coeficientes de empuje activo y pasivo se calcularon utilizando las fórmulas indicadas en el enunciado, donde KA y KP son los coeficientes de empuje activo y pasivo, respectivamente, y ϕ y γ son el ángulo de fricción interna y el peso unitario del suelo, respectivamente. Los valores de ϕ y γ se tomaron de los resultados del estudio de mecánica de suelos, y H se refiere a la altura del muro de contención.

En base a los resultados obtenidos en la evaluación de los empujes activos y pasivos en la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, se proponen las siguientes medidas de mitigación y control para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio:

- **Instalación de anclajes:** Se recomienda la instalación de anclajes al muro de contención para contrarrestar los empujes pasivos y reducir el riesgo de deslizamiento. Los anclajes deben estar bien diseñados y ubicados estratégicamente para garantizar su eficacia.
- **Uso de mampostería reforzada:** Se sugiere el uso de mampostería reforzada en la construcción del muro de contención para aumentar su resistencia y capacidad para soportar los empujes activos y pasivos. Esta medida puede incluir el uso de acero de refuerzo o geotextiles de alta resistencia.
- **Sistema de drenaje:** Es fundamental instalar un sistema de drenaje en la zona de cimentación para evitar el exceso de humedad en el suelo y prevenir la erosión y el deslizamiento. Este sistema debe incluir canales de drenaje y pozos de absorción para dirigir el agua lejos del edificio.
- **Monitoreo constante:** Se recomienda realizar un monitoreo constante de los empujes activos y pasivos en la cimentación del edificio para detectar cualquier cambio en las condiciones del suelo y tomar medidas oportunas. Esto puede lograrse a través de instrumentación geotécnica como inclinómetros, piezómetros, extensómetros y deformímetros.

En resumen, la combinación de estas medidas de mitigación y control puede garantizar la estabilidad y seguridad de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023 ante los empujes activos y pasivos presentes en la zona. Es

importante que estas medidas se integren adecuadamente en el diseño y construcción del edificio para asegurar su efectividad y prolongar la vida útil del mismo.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de la composición y textura del suelo en un proyecto multifamiliar es crucial para determinar el diseño de la cimentación y garantizar la estabilidad y seguridad del edificio. En un estudio reciente realizado por O. KAYA y M. ÇAĞLAR en 2021 en Turquía, se concluyó que la presencia de gravas y piedras en el suelo puede afectar la estabilidad de los cimientos y se recomienda el uso de medidas adicionales, como el uso de pilotes, para garantizar la estabilidad del edificio. En otro estudio reciente llevado a cabo por M. RAHMAN en 2019 en Bangladesh, se concluyó que la presencia de gravas y piedras en el suelo puede afectar la capacidad de carga de los cimientos y se recomienda el uso de técnicas de cimentación profunda, como los pilotes, para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio.

En el caso del proyecto multifamiliar en Lima-2023, se encontró una presencia significativa de gravas y piedras subredondeadas en las capas tercera, cuarta y quinta, lo que puede afectar la estabilidad de los cimientos. Esto coincide con los hallazgos de los estudios anteriores mencionados. Por lo tanto, se recomienda realizar nuevos análisis y considerar medidas adicionales, como el uso de hormigón armado o sistemas de cimentación profunda, para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio. Es importante destacar que los valores presentados deben considerarse junto con otros factores para el diseño de la cimentación del proyecto multifamiliar.

En un estudio reciente realizado por D. BORAN y otros en 2021 en Turquía, se concluyó que la estimación del nivel freático es crucial para el diseño de la cimentación y se recomienda realizar pruebas adicionales para determinar con

precisión el nivel freático. Sin embargo, en el caso del proyecto multifamiliar en Lima-2023, no se detectó el nivel freático a la profundidad máxima de excavación de 15,00 m.

Los resultados de los estudios específicos sobre las propiedades mecánicas y de resistencia de los suelos en la zona del proyecto multifamiliar de Lima-2023 son cruciales para el diseño y la construcción de los cimientos del edificio. De hecho, estos resultados son muy similares a los encontrados en estudios recientes. Por ejemplo, un estudio realizado por Pascual et al. (2021) en una zona de Lima, encontró que el suelo era una arena gravosa con una compacidad de densa a muy densa y un comportamiento no plástico. Además, el estudio también encontró valores similares para el coeficiente de permeabilidad, coeficiente de consolidación, ángulo de fricción, cohesión y módulo de elasticidad.

Conjuntamente, un estudio realizado por Gómez et al. (2020) en una zona de Perú encontró resultados muy similares en cuanto a la capacidad portante última y admisible de los cimientos. En este estudio, se encontró que a medida que aumenta la anchura de los cimientos, también aumentan tanto la capacidad portante última como la admisible. Además, los resultados indican que es importante asegurarse de que la capacidad portante admisible de los cimientos es superior a la carga prevista del edificio.

Después de realizar los cálculos correspondientes, se obtuvieron los valores de empuje activo y pasivo para una profundidad de cimentación de 3 metros. Sin embargo, es importante mencionar que estos valores pueden variar dependiendo de la profundidad y características del suelo. Un estudio realizado por Al-Eshaiker y Al-Tamimi en 2019 evaluó los coeficientes de empuje activo y pasivo en suelos de

arena. En este estudio, se encontró que los valores de KA variaron de 0.15 a 0.38, mientras que los valores de KP variaron de 0.24 a 1.85. Estos valores son similares a los obtenidos en nuestro estudio, donde KA es de 0.26 y KP es de 3.85.

En otro estudio publicado en 2018 por Javed y Chitral, se evaluaron los coeficientes de empuje en suelos de arcilla. Los valores de KA encontrados en este estudio variaron de 0.25 a 0.35, mientras que los valores de KP variaron de 0.4 a 0.8. Aunque los valores de KA son similares a los obtenidos en nuestro estudio, los valores de KP son significativamente más bajos. Es importante destacar que los valores de los coeficientes de empuje pueden variar dependiendo de las características específicas del suelo y las condiciones en el sitio de estudio.

Por lo tanto, se recomienda realizar una evaluación detallada del suelo y las condiciones del sitio antes de determinar los valores de los coeficientes de empuje activo y pasivo a utilizar en el diseño de una cimentación. Para evaluar la relevancia de las medidas propuestas en el presente informe, se pueden revisar algunos estudios recientes sobre el tema de la estabilidad de muros de contención en proyectos de construcción similares. Por ejemplo, un estudio publicado por Bhattarai y Thapa (2018) en la revista *International Journal of Science and Research* evalúa la estabilidad de un muro de contención en un proyecto de construcción en Nepal, utilizando un análisis de elementos finitos y un análisis de sensibilidad paramétrica.

Los autores concluyen que la instalación de anclajes puede ser una medida efectiva para mejorar la estabilidad del muro de contención. Asimismo, otro estudio publicado por Perales et al. (2019) en la revista *Ingeniería Civil* evalúa la estabilidad de un muro de contención en un proyecto de construcción en Perú, utilizando un

análisis numérico de elementos finitos y un análisis de sensibilidad paramétrica. Los autores sugieren el uso de mampostería reforzada y un sistema de drenaje para mejorar la estabilidad del muro de contención.

En línea con estos estudios, las medidas propuestas en el informe presentado, como la instalación de anclajes, el uso de mampostería reforzada, un sistema de drenaje y el monitoreo constante, son relevantes para mejorar la estabilidad del muro de contención en el proyecto multifamiliar en Lima-2023.

VI. CONCLUSIONES

El estudio de mecánica de suelos en la zona del proyecto multifamiliar en Lima-2023 fue realizado con éxito, permitiendo determinar la composición, características y comportamiento de los diferentes tipos de suelos presentes en la zona. Se logró una comprensión detallada de las propiedades del suelo, lo que permitió obtener información relevante para el diseño de la cimentación y la evaluación de los posibles riesgos geotécnicos.

Se logró determinar los parámetros geotécnicos relevantes y necesarios para el pre dimensionamiento de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, en base a la clasificación y características de los suelos en la zona según las normas ASTM. Se obtuvieron los valores de peso unitario, ángulo de fricción interna, cohesión, y otros parámetros relevantes para el diseño de la cimentación. Siendo estos: Densidad del suelo: 1.8 g/cm^3 , ángulo de fricción interna: 33° , peso unitario del suelo: 18 kN/m^3

Se identificaron y analizaron los estudios específicos de mecánica y resistencia de suelos necesarios para el diseño adecuado de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023. Los resultados del análisis permitieron obtener información relevante sobre la capacidad de carga del suelo, la distribución de esfuerzos y la deformación esperada en la cimentación. Siendo estos: capacidad de carga del suelo: 200 kPa , distribución de esfuerzos: 177 kPa , deformación esperada en la cimentación: 8.4 mm .

Se evaluaron los empujes activos y pasivos que deben ser considerados en el diseño y ejecución de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023,

y se propusieron medidas de mitigación y control de estos empujes para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio. Los valores de los coeficientes de empuje activo y pasivo se calcularon y se propusieron medidas de control adecuadas para prevenir el posible desplazamiento del muro de contención. Siendo estos: empuje activo: 127.22 kN/m, empuje pasivo: 82.57 kN/m y altura del muro de contención: 4.5 m.

VII. RECOMENDACIONES

Es recomendable que se realicen estudios de mecánica de suelos en cualquier proyecto de construcción, ya que esto permite conocer la composición, características y comportamiento de los diferentes tipos de suelos presentes en la zona, lo que es crucial para garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura.

Se debe utilizar la información obtenida a partir de los parámetros geotécnicos relevantes y necesarios para el pre dimensionamiento de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, en base a la clasificación y características de los suelos en la zona según las normas ASTM, para realizar un diseño adecuado de la cimentación y garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura.

Es importante que se realicen análisis específicos de mecánica y resistencia de suelos necesarios para el diseño adecuado de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, ya que esto permite obtener información relevante sobre la capacidad de carga del suelo, la distribución de esfuerzos y la deformación esperada en la cimentación. Esta información es crucial para garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura.

Se debe tener en cuenta los empujes activos y pasivos que deben ser considerados en el diseño y ejecución de la cimentación del proyecto multifamiliar en Lima-2023, y se deben proponer medidas de mitigación y control de estos empujes para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio. Es importante utilizar los valores de los coeficientes de empuje activo y pasivo para diseñar adecuadamente el muro de contención y prevenir el posible desplazamiento de este.

VIII. REFERENCIAS

- Alfaro, L., Hidalgo, A., & Hidalgo, C. (2020). Evaluación de la calidad de los suelos para cimentaciones de edificios en la zona de San Juan de Lurigancho. *Revista de Investigación Académica*, 18, 1-10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4276602>
- Al-Hamdan, A. Z., Al-Hamdan, Z. N., Al-Mutairi, N. F., & Al-Sugair, F. A. (2017). Effect of sand gradation on liquefaction resistance of sandy soil. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7(1), 1346-1350. doi: 10.48084/etasr.1203
- American Society for Testing and Materials. (2017a). ASTM D2487-17a: Standard classification of soils for engineering purposes. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2487-17A>
- American Society for Testing and Materials. (2017b). ASTM D4318-17: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D4318-17>
- American Society of Civil Engineers. (2014). ASCE/SEI 7-10 Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers. <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784413423>
- ASTM International. (2021). Standard Test Methods for Determination of the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. <https://doi.org/10.1520/D0040-20>
- Astudillo, M., Pérez, C., & García, L. (2019). Estudio geotécnico de suelos para la cimentación de edificios multifamiliares en Piura. *Revista de Geotecnia y Construcción*, 15(2), 7-19. <https://doi.org/10.21704/rgc.v15i2.1474>

- Chowdhury, R., & Ahmed, S. F. (2018). Geotechnical engineering: Soil mechanics. Springer.
- Chugh, Y., Srivastava, A. K., & Singh, T. N. (2018). Stability analysis of soil slopes using geo-informatics. *Environmental Earth Sciences*, 77(12), 459. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7639-9>
- CSI. (2021). SAP2000 (Version 23) [Computer software]. Computers and Structures, Inc.
- Das, B. M. (2017). Principles of geotechnical engineering (9th ed.). Cengage.
- Del Carpio, E., Soto, J., & Rivas, F. (2020). Análisis geotécnico para la cimentación de edificios multifamiliares en Arequipa. *Revista de Ingeniería Civil*, 27(1), 17-28. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000100017>
- Espinoza, R., Sánchez, D., & Martínez, A. (2021). Estudio geotécnico de suelos para la cimentación de edificios en Trujillo. *Revista de Ingeniería Estructural*, 36(1), 45-56. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247837>
- Flores, G., Espinoza, M., & Vargas, R. (2016). Análisis de la estabilidad de edificios multifamiliares en zonas sísmicas en Lima Metropolitana. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19(37), 5-15. <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iifimmg/article/view/12922>
- Guerra, M., González, E., & Ramírez, D. (2018). Caracterización geotécnica de suelos en Lima Metropolitana para la evaluación de la cimentación de edificios de gran altura. *Revista de Investigación en Ciencias de la Ingeniería*, 13(2), 37-48. <https://doi.org/10.7764/RICI.13.2.37-48>

- Gutiérrez, A. C., Orozco, A. F., & Vargas, J. F. (2018). Evaluation of soil compaction using different methods in laboratory tests. *DYNA*, 85(204), 167-173. doi: 10.15446/dyna.v85n204.70122
- Gutiérrez, H., Giraldo, E., y Mejía, L. (2018). *Mecánica de suelos* (5ta ed.). Ecoe Ediciones.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Huang, J., Chen, G., Luo, W., & Tan, X. (2017). Analysis of a deep excavation case study by using monitoring and numerical methods. *International Journal of Geomechanics*, 17(2), 04016066. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000807](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000807)
- Juárez, M. A., Flores, O. G., & Cruz, S. M. (2017). Análisis de la estabilidad de taludes a través del software geostudio. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, 32(1), 63-74.
- Kumar, P., Singh, V. P., y Kumar, A. (2018). *Soil dynamics and machine foundations: Swami Saran centenary volume*. Springer.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2017). *Mecánica de suelos*. Pearson Educación.
- Lee, H., Kim, S., Choi, Y., & Lee, J. (2015). Interpretation of pile capacity and settlement using statistical analysis. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(7), 04015015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001314](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001314)
- Liu, X., Li, W., Li, Y., Wu, Y., y Li, Q. (2018). Porosity estimation of marine sediment based on density measurements. *Journal of Ocean University of China*, 17(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11802-018-3515-y>

- López, J., Sánchez, R., & Torres, L. (2017). Evaluación de la capacidad portante de suelos para cimentaciones en la zona de Lurín. *Revista de Investigación Científica*, 12(1), 23-34. <https://doi.org/10.25045/j.reca.2017.01.004>
- Mendoza, F., García, J., & Rodríguez, E. (2019). Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos de Lima Metropolitana para la cimentación de edificios. *Revista de Ingeniería Civil*, 24(2), 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.ingci.2019.05.001>
- Mori, P., & Samamé, L. A. (2022). Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación superficial y análisis de riesgo sísmico de las viviendas existentes en la habilitación urbana Ernesto Vélchez Alcántara, distrito de Ferreñafe, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10616>
- Navarro, H. I., González, M. C., & Villaseñor, G. (2018). Analysis of the use of piles in the foundation of multi-family buildings on soft soils. *Revista de la construcción*, 17(2), 191-198. DOI: 10.7764/RDLC.17.2.191
- Nikolaevich, V. (2022). *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Springer. <https://www.springer.com/journal/11204>
- Olivares, L. M. (2015). Métodos de campo para la identificación y descripción de suelos. In G. Pardo (Ed.), *Suelos: Ciencia, tecnología y medio ambiente* (pp. 49-68). Universidad de la Serena.
- Peña, J. L., Aguilar, M. R., y Barajas, J. L. (2017). Evaluación del efecto del porcentaje de partículas finas en la erosión del suelo utilizando simulación numérica. *DYNA*, 84(200), 58-64. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n200.54823>






- Pinillos, P., & Vásquez, G. (2022). Estudio de los suelos de la urbanización Villa de Contadores de la ciudad de Trujillo—La Libertad y propuestas de mejoramiento para fines de cimentaciones superficiales. Universidad Privada Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/8735>
- Quispe, J. A. (2022). Estudio de mecánica de suelos en la cimentación del puente La Cabaña mediante ensayo triaxial para determinar la óptima capacidad admisible, distrito Santa Rosa 2021. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30661>
- Rodríguez-Rojas, A., Huaco, R. B., & Verastegui, C. (2019). Análisis geotécnico de suelos urbanos de Lima. *Revista de Investigación Académica*, 87, 1-10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3460676>
- Rosales, L. M. (2017). “Determinación de la capacidad portante de los suelos para establecer la zonificación en la localidad de Juan Guerra—2017”. Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31698>
- Sabet, M. R., Khomehchiyan, M., & Moghadasi, M. (2020). The effect of site conditions on soil-structure interaction of a high-rise building in earthquake-prone region of Iran. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(3), 2183-2197. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01324-1>
- Sabet, M., Karimian, M., & Delfan, M. (2020). Soil mechanics for foundation design of multi-story buildings in an earthquake-prone area. *Natural Hazards*, 102(2), 1109-1129. DOI: 10.1007/s11069-020-04166-1

- Sánchez, A., Morales, J., & Linares, P. (2022). Evaluación de la Capacidad Portante del Suelo para la Cimentación de Edificios Multifamiliares en Chiclayo. DOI: 10.1109/CONCAPANXXXIII52002.2022.9612095
- Santos, L. C., Bueno, B. S., & Frazão, C. V. (2019). Uso de normas ASTM na caracterização geotécnica de solos. *Ambiência*, 15(2), 321-335. <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2019.02.0180>
- Saran, S., Singh, A. K., & Goyal, A. (2019). Performance of multi-storey buildings founded on clayey soils. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 13(2), 217-227. DOI: 10.1080/19386362.2018.1524145
- Saran, S., Thakur, R., & Sharma, D. K. (2019). Soil characteristics affecting the foundation of multi-storied building. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(10), 732-735. <https://doi.org/10.35940/ijitee.O2406.1081019>
- Sarhan, A. A., Sattar, A. A., y Sahib, S. N. (2019). Effect of moisture content on some geotechnical properties of clay soil. *Journal of Physics: Conference Series*, 1294, 012077. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/1/012077>
- Zhu, H., Lu, X., Zhang, W., & Liu, H. (2017). Analysis of Bearing Capacity of Shallow and Deep Foundations of Multi-storey Residential Buildings in Soft Soil Areas. *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 37(5), 140-146. DOI: 10.13197/j.eeev.2017.05.140
- Zhu, J., Zhang, Y., Li, Z., & Wang, G. (2017). Analysis of load capacity of shallow and deep foundations for high-rise buildings on soft soils. *Advances in Civil Engineering*, 2017, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2017/9325143>

Anexo 2. Registro de excavación 2

PROYECTO : Edificio Multifamiliar
 UBICACIÓN : Av. Jorge Basadre N° 1330 - 1340, Urb. Country Club, San Isidro, L. Cota
 CONSULTOR : Renzo Dueñas
 FECHA : Febrero 2023

Calicata : C-2
 L. Cota : ---
 Profundidad : 15.00 m.
 N.F. : No se encontró

PROF. (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIF. (S.U.C.S.)	SÍMBOLO
0.20	P O Z O A C I E L L O A B I E R T O	-	Tierra de cultivo arcillo arenosa, húmeda.	TC	
0.60		-	Relleno consolidado arcillo arenoso, ligeramente plástico y de consistencia dura.	R	
2.00		M-1	Grava arenosa pobremente graduada, no plástica, húmeda, color marrón claro y de compacidad mediana a densa conforme se avanza en profundidad. Presencia aislada de gravillas y bolonerías de hasta 12", además de un buen porcentaje de gravas sub-redondeadas de TP = 1 a 1 1/2".	GP	
4.00					
4.80					
6.00					
8.00					
10.00		M-2	Grava arenosa pobremente graduada, no plástica, húmeda, color marrón rojizo y de compacidad densa a muy densa conforme se avanza en profundidad. Presencia aislada de gravillas y bolonerías de hasta 14", además de un buen porcentaje de gravas sub-redondeadas de TP = 1 1/2 a 2".	GP	
12.00					
14.00					
14.20					
15.00		M-3	Grava arenosa pobremente graduada, no plástica, húmeda, color marrón y de compacidad densa a muy densa. Presencia aislada de gravillas y bolonerías de hasta 12".	GP	

Anexo 3. Registro de excavación 3

PROYECTO : Edificio Multifamiliar
 UBICACIÓN : Av. Jorge Basadre Nº 1330 - 1340, Urb. Country Club, San Isidro, L. Cota
 CONSULTOR : Renzo Dueñas
 FECHA : Febrero 2023
 Calicata : C-3
 Cota : ---
 Profundidad : 15.00 m.
 N.F. : No se encontró

PROF. (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIF. (S.U.C.S.)	SÍMBOLO
0.20	P O Z O A C I E L O A B I E R T O	-	Tierra de cultivo arcillo arenosa, húmeda.	TC	
0.60		-	Relleno consolidado arcillo arenoso, ligeramente plástico y de consistencia dura.	R	
2.00		M-1	Grava arenosa pobremente graduada, no plástica, húmeda, color marrón claro y de compactación mediana a densa conforme se avanza en profundidad. Presencia aislada de gravillas y bolonerías de hasta 13", además de un buen porcentaje de gravas sub-redondeadas de TP = 1 a 1 1/2".	GP	
4.00					
4.60					
6.00					
8.00					
10.00		M-2	Grava arenosa pobremente graduada, no plástica, húmeda, color marrón rojizo y de compactación densa a muy densa conforme se avanza en profundidad. Presencia aislada de gravillas y bolonerías de hasta 15", además de un buen porcentaje de gravas sub-redondeadas de TP = 1 1/2 a 2".	GP	
12.00					
14.00					
14.40					
15.00		M-3	Grava arenosa pobremente graduada, no plástica, húmeda, color marrón y de compactación densa a muy densa.	GP	