



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DEL ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO PARA LA
CONSTRUCCIÓN SOBRE EXCAVACIONES EN SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO EL
MÉTODO SKEMPTON- BJERRUM DE ACUERDO CON LA NORMA E050 SUELOS Y
CIMENTACIONES

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

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Maldonado Barrientos, Oscar Luis

Asesor

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

ORCID: 0000-0001-8625-3989

Jurado

Pumaricra Padilla, Raul Valentín

Pomachagua Basualdo, Yuri Arturo

Jaramillo Tarazona, Francisco

Lima - Perú

2025



EVALUACIÓN DEL ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO PARA LA CONSTRUCCIÓN SOBRE EXCAVACIONES EN SUELOS ARCILLOSO UTILIZANDO EL MÉTODO SKEMPTON-BJERRUM DE ACUERDO CON LA NORMA E050 SUELOS Y CIMEN

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

2

revistas.unica.cu

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal

Trabajo del estudiante

2%

4

www.coursehero.com

Fuente de Internet

2%

5

pdfcoffee.com

Fuente de Internet

1%

6

dspace.uclv.edu.cu

Fuente de Internet

1%

7

qdoc.tips

Fuente de Internet

1%

8

dspace.ucuenca.edu.ec

Fuente de Internet

1%

9

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

10

vsip.info

Fuente de Internet

<1%

11

1library.co

Fuente de Internet



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO
PARA LA CONSTRUCCIÓN SOBRE EXCAVACIONES EN SUELOS ARCILLOSOS
UTILIZANDO EL MÉTODO SKEMPTON- BJERRUM DE ACUERDO CON LA
NORMA E050 SUELOS Y CIMENTACIONES**

Línea de Investigación:

Desarrollo Urbano Rural y Prevención de Riesgos Hidráulicos y Geotécnicos

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Maldonado Barrientos, Oscar Luis

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

(ORCID: 0000-0001-8625-3989)

Jurado:

Pumaricra Padilla, Raul Valentín

Pomachagua Basualdo, Yuri Arturo

Jaramillo Tarazona, Francisco

Lima – Perú
2025

Dedicatoria

A mis padres, que se merecen lo mejor de este mundo.

Agradecimiento

Gracias a mis padres por su apoyo constante y a mis sobrinos Gonzalo y Sebastián por motivarme a seguir adelante por ellos. A mi alma mater, FIC-UNFV.

INDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Descripción y formulación del problema	12
<i>1.1.1 Problema general</i>	14
<i>1.1.2 Problemas específicos</i>	14
1.2 Antecedentes	15
<i>1.2.1 En el ámbito internacional</i>	15
<i>1.2.2 En el ámbito nacional</i>	18
1.3 Objetivos	20
<i>1.3.1 Objetivo general</i>	20
<i>1.3.2 Objetivos específicos</i>	20
1.4 Justificación	21
1.5 Hipótesis	23
<i>1.5.1 Hipótesis general</i>	23
<i>1.5.2 Hipótesis específicas</i>	23
II. MARCO TEÓRICO	25
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación	25
III. MÉTODO	29

3.1 Tipo de investigación.....	29
3.1.1 <i>Enfoque de la investigación</i>	29
3.1.2 <i>Diseño de investigación</i>	30
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	30
3.3 Variables.....	30
3.3.1 <i>Variable independiente</i>	30
3.3.2 <i>Variable dependiente</i>	30
3.4 Población y Muestra.....	31
3.4.1 <i>Población</i>	31
3.4.2 <i>Muestra</i>	31
3.5 Instrumentos	32
3.6 Procedimientos.....	32
3.7 Análisis de datos	33
3.8 Consideraciones éticas	33
IV. RESULTADOS.....	35
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	75
VI. CONCLUSIONES.....	79
VII. RECOMENDACIONES	81
VIII. REFERENCIAS.....	82
IX. ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva granulométrica	36
Figura 2: Carta de plasticidad	37
Figura 3: Clasificación según SUCS.....	38
Figura 4: Clasificación según AASHTO	39
Figura 5: Diagrama de fluidez	40
Figura 6: Resultados del ensayo 1 de consolidación	41
Figura 7: Curva de compresibilidad.....	43
Figura 8: Circulos de Mohr – parámetros totales M1	46
Figura 9: Diagrama P vs Q – parámetros efectivos M1	46
Figura 10: Circulos de Mohr – parámetros totales M2	47
Figura 11: Diagrama P vs Q – parámetros efectivos M2.....	47
Figura 12: Circulos de Mohr – parámetros totales M3	48
Figura 13 Diagrama P vs Q – parámetros efectivos M3	48
Figura 14: Vista en planta de la estructura.....	49
Figura 15: Elevación de la estructura.....	50
Figura 16: Fuerza axial de las columnas.....	52
Figura 17: Aporte de cargas en la estructura	53
Figura 18: Esquema de zapata	54
Figura 19: Valores de A2 para el calculo de asentamiento elástico	55
Figura 20: Valores de A1 para el calculo de asentamiento elástico	56
Figura 21: Variación de If	58
Figura 22: Indice de vacíos	60
Figura 23: Determinación de la potencia activa	65
Figura 24: Determinación de la presión neta	66
Figura 25: Linea de puntos de influencia del estrato	67
Figura 26: Factor de influencia Jz para el punto característico	68
Figura 27: Valores de tensiones netas de los puntos de cimentación 1	69
Figura 28: Valores de tensiones netas de los puntos de cimentación 2	69
Figura 29: Distribución de distribuciones netas en cimentación 1.....	70

Figura 30: Distribución de distribuciones netas en cimentación 2	70
Figura 31: Asentamiento absoluto de las deformaciones unitarias 1	71
Figura 32: Asentamiento absoluto de las deformaciones unitarias 2	71
Figura 33: Distorsión angular	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operaciones con variables.....	31
Tabla 2: Análisis granulométrico.....	35
Tabla 3: Resumen del análisis granulométrico	36
Tabla 4: Limite liquido	40
Tabla 5: Contenido de humedad	41
Tabla 6: Resultados de parámetros del suelo.....	42
Tabla 7: Resumen de parámetros de consolidación	43
Tabla 8: Parametros de esfuerzos del ensayo 1	44
Tabla 9: Parametros de esfuerzos del ensayo 2.	45
Tabla 10: Parametros de esfuerzos del ensayo 3	45
Tabla 11: Parametros resistentes al esfuerzo cortante	49
Tabla 12: Resumen de datos de la cimentación	54
Tabla 13: Comparación de asentamiento instantáneos	59
Tabla 14: Tipos de arcilla	62
Tabla 15: Valores de α	62
Tabla 16: Asentamiento Skempton Bierrum.....	<u>64</u>
Tabla 17: Asentamientos totales	73
Tabla 18: Asentamientos totales de capas	73
Tabla 19: Asentamientos por consolidación	73

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis es evaluar los asentamientos por consolidación en la construcción de edificaciones sobre suelos arcillosos utilizando el método de Skempton-Bjerrum, asumiendo el comportamiento de flujos bidimensionales. El método utilizado en esta investigación es descriptivo y aplicado. Los instrumentos empleados para el desarrollo de esta investigación fueron esencialmente el uso de resultados de ensayos de laboratorio y la estimación de las cargas que transmite la cimentación al suelo mediante el uso del programa ETABS, considerando una edificación y cumpliendo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). La población son todos los asentamientos que conforman el distrito de Comas. Se obtuvo el asentamiento por consolidación mediante el método de Skempton-Bjerrum en las dos cimentaciones se obtuvo un valor de 6.28 mm y 5.37 mm, respectivamente. Además, se llevó a cabo el cálculo del asentamiento total utilizando el método de Sumatoria de Capas en las mismas cimentaciones, arrojando valores de 8.12 mm y 5.70 mm. Es importante resaltar que la discrepancia entre los resultados de ambos métodos sugiere variaciones en la compresibilidad y el comportamiento del suelo bajo carga, lo cual debe ser considerado en el diseño y evaluación de la estabilidad de las cimentaciones. En conclusión, se evaluó el asentamiento por consolidación en suelos arcilloso utilizando el método de Skempton-Bjerrum. La discrepancia entre los resultados obtenidos de ambos métodos indica variaciones en la compresibilidad y el comportamiento del suelo bajo carga, lo cual es crucial para el diseño y evaluación de la estabilidad de las cimentaciones.

Palabras clave: Asentamiento, excavaciones, terreno, construcción, estabilidad de las cimentaciones.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to evaluate consolidation settlements in building construction over clayey soils using the Skempton–Bjerrum method, assuming a bidimensional flow behavior. The research adopts a descriptive and applied methodology. The main instruments used include laboratory test results and the estimation of foundation loads transmitted to the soil through the ETABS software, considering a representative building and in compliance with the National Building Code (RNE). The study population comprises all settlements located in the district of Comas. As a result, the calculation of consolidation settlement using the Skempton–Bjerrum method for the two foundations yielded values of 6.28 mm and 5.37 mm, respectively. In addition, the total settlement calculated using the Layer Summation Method for the same foundations produced values of 8.12 mm and 5.70 mm. It is important to highlight that the discrepancy between the results obtained from both methods suggests variations in soil compressibility and behavior under load, which should be taken into account in the design and stability assessment of foundations. In conclusion, consolidation settlement in clayey soils was evaluated using the Skempton–Bjerrum method. The differences observed between the two calculation methods indicate variations in soil compressibility and load response, which are critical factors for the design and evaluation of foundation stability.

Keywords: Settlement, excavations, soil, construction, foundation stability.

I. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población trae consigo la necesidad en acceder a un inmueble o vivienda, por ello se realizan construcciones en diferentes lugares de Lima, muchas de las cuales se efectúan sin conocer el tipo de suelo sobre el cual se asientan las cimentaciones. Se define la consolidación del suelo al proceso de disminución del volumen de suelos cohesivos “arcillas” producido por las cargas sobre sus masas y que ocurre en el transcurso del tiempo usualmente largo. Se realizaron los estudios del asentamiento por consolidación empleando el ensayo de Consolidación Unidimensional que fue mencionado por primera vez por Terzaghi (1925). Este ensayo se lleva a cabo con un consolidómetro, mediante esfuerzos aplicados que determina el asentamiento en función al tiempo para al final obtener el peso seco de la muestra del ensayo (Braja.M.2017).

Es así que en la primera etapa de excavación de estas obras en suelos limeños se puede detectar la presencia de suelos arcillosos, los cuales pueden generar problemas a las viviendas adyacentes del terreno de construcción y provocar en ellas asentamientos por consolidación y generar daños a la estructura tales como fisuras en pisos, grietas en paredes, descuadre en puertas las cuales posteriormente no se podrán abrir o cerrar, cajoneo de piso, entre otros.

También se debe tener en cuenta que durante la etapa de excavación existe un factor importante a considerar que es el nivel freático, conforme avanza la profundidad de la excavación se produce afloramiento del nivel freático, el cual genera espacios vacíos en el suelo que provocara asentamientos de las partículas del suelo en los espacios vacíos y por consiguiente asentamiento del terreno adyacente debido a esfuerzos laterales o también denominado pérdida de confinamiento lateral. En este sentido, el propósito de la presente investigación es analizar el asentamiento que se genera a raíz de excavaciones adyacentes al terreno y detallar el comportamiento que tendrá el

suelo de fundación ante esta situación, el cual servirá como información dispensable para futuros diseños de cimentación como soporte de cargas laterales

1.1 Descripción y formulación del problema

A nivel mundial, el crecimiento acelerado de las ciudades y la necesidad de aprovechar al máximo los espacios disponibles para la construcción han incrementado los retos relacionados con el comportamiento del suelo. En muchos países, la expansión urbana se desarrolla sobre terrenos con características geotécnicas poco favorables, como los suelos arcillosos blandos, que presentan una baja capacidad portante y una alta compresibilidad. Esta condición genera asentamientos diferenciales y deformaciones estructurales a lo largo del tiempo, afectando la estabilidad y durabilidad de las edificaciones. Por ello, la ingeniería geotécnica moderna ha desarrollado diversos métodos de análisis y predicción del comportamiento del terreno, entre ellos el método de Skempton-Bjerrum, ampliamente utilizado para estimar asentamientos por consolidación en suelos cohesivos.

A nivel regional, en América Latina y particularmente en países con suelos de origen aluvial o costero, los problemas de asentamiento son frecuentes debido a la composición fina y saturada de los suelos. Muchas ciudades han sido edificadas sobre depósitos arcillosos, donde las obras civiles —especialmente las cimentaciones superficiales— presentan deformaciones con el paso de los años. La falta de un adecuado estudio del suelo o de un diseño de cimentación acorde a las condiciones del terreno genera fisuras, inclinaciones y daños estructurales, encareciendo el mantenimiento y reduciendo la vida útil de las construcciones.

A nivel local, en diversas zonas del Perú, las obras de infraestructura presentan dificultades derivadas de la escasa evaluación del comportamiento del terreno, particularmente en suelos arcillosos. En los proyectos de edificación sobre excavaciones, la falta de un control y análisis de

los asentamientos por consolidación puede ocasionar deterioros progresivos, tanto en la estructura como en las edificaciones vecinas. Uno de los principales inconvenientes identificados durante la ejecución de proyectos constructivos es la falta de un suelo adecuado para soportar las cargas transmitidas por la cimentación. Si estos problemas no se abordan oportunamente, las estructuras tienden a presentar agrietamientos, deformaciones o pérdida de estabilidad a lo largo del tiempo.

El problema radica en la consolidación del terreno, un fenómeno donde los suelos arcillosos, al ser sometidos a una carga en este caso, la construcción de una edificación, expulsan agua de sus poros, lo que provoca una reducción de volumen y, consecuentemente, un asentamiento de la estructura. Este asentamiento, si no es correctamente evaluado y controlado, puede generar daños significativos en la edificación, comprometiendo su estabilidad y funcionalidad. La situación se agrava cuando la construcción se realiza sobre excavaciones. Esto introduce complejidades adicionales, ya que la excavación altera el estado tensional inicial del suelo, y el posterior relleno o la construcción de cimentaciones sobre ella pueden inducir asentamientos diferenciales.

La investigación se enfoca en la aplicación del método Skempton-Bjerrum, un enfoque particular para calcular estos asentamientos por consolidación, Esto sugiere que existe una necesidad de aplicar un método específico y validado localmente para garantizar tanto la seguridad como la durabilidad de las construcciones, tal es el método aplicado en la presente investigación para determinar asentamientos en suelos finos como son los suelos arcillosos.

Basándose en la descripción anterior, la formulación del problema de esta tesis de investigación podría plantearse de la siguiente manera: Entre los problemas que en el proyecto en construcción y en su mayoría encontraron varios inconvenientes, básicamente la falta de suelo adecuado para soportar las obras construida sobre el suelo fino, limos y arcillas. Si los

contratamientos no se resuelven a tiempo, la obra se deteriorará con el paso de los años. En toda edificación es de suma importancia definir el tipo de cimentación que transmitirá las cargas de la estructura al suelo. Esta puede ser cimentación superficial o profunda. En particular, el Artículo 5.26 de la Norma Técnica Peruana E0.50 define como cimentación superficial: “aquella en la cual la relación Profundidad/Ancho es menor o igual a 5”. Por lo tanto, la investigación se centra en la evaluación del asentamiento por consolidación del terreno para la construcción sobre excavaciones en suelos arcilloso utilizando el método Skempton- Bjerrum de acuerdo con la norma E050 suelos y cimentaciones del reglamento nacional de edificaciones

1.1.1 Problema general

Como problema general se plantea para la investigación.

¿Cómo evaluar asentamientos por consolidación para la construcción en terrenos arcillosos en los que se hayan efectuado las excavaciones utilizando la metodología de Skempton -Bjerrum asumiendo flujos unidimensionales en suelos de acuerdo con la Norma E.050-Suelos y Cimentaciones?

Se deberá asumir según terzaghi que el asentamiento por consolidación en las direcciones “X” e “Y” tienen el mismo valor.

1.1.2 Problemas específicos

¿Cómo reconocemos terrenos arcillosos que soporten asentamientos por consolidación primaria de acuerdo con su índice de actividad?

¿Cuáles son los métodos que permiten determinar adecuadamente asentamientos por consolidación en terrenos arcillosos?

¿De qué manera evaluamos los asentamientos por consolidación aplicando el método de Skempton- Bjerrum para determinar su rango de aceptabilidad de acuerdo con la Norma E.050 – Suelos y Cimentaciones (RNE)?

1.2 Antecedentes

1.2.1 En el ámbito internacional

Heng Wang et al. (2018) en su artículo “Evaluation of Vertical Superimposed Stress in Subsoil Induced by Embankment Loads”. En su estudio de la conductividad hidráulica mediante la comparación entre los valores interpretados y mediciones, fueron evaluadas las arcillas y sedimentos naturales que se interpretaron utilizando la curva de tiempo-elemento medidas a partir de pruebas de consolidación. Los autores señalan la incertidumbre de la conductividad bajo el incremento de carga escalonada a través de comparaciones de los valores interpretados por los métodos de Casagrande. Además, hacen referencia a los incrementos de cargas para determinar las variaciones de la conductividad hidráulica del suelo frente a este tipo de variaciones. Frente a lo mencionado, los muestreos de las arcillas investigadas a cabo de 20 conjuntos de ensayos de consolidación en sedimentos naturales y arcillas con profundidades de 4m y 12m por debajo de la superficie. Los parámetros de limite líquido y limite plástico fueron medidos por el ensayo Casagrande. Las muestras y variaciones típicas de K_v (v-medidas) durante una carga monotónica para los sedimentados naturalmente y reconstituidos arcillas instituido con diferentes valores de relación de vacíos. Puede verse que el k_v (conductividad hidráulica) con los valores altos medidos de las arcillas tienen una e_L (relación de vacíos) baja. También se analizó la conductividad hidráulica interpretada a partir de pruebas de consolidación, este estudio encuentra que las curvas $d_t - \log t$ de sedimentos naturales y las arcillas se comportan de la misma manera que las arcillas reconstituidas, como se muestra típicamente en curvas de deformación dependientes del tiempo

bajo incrementos de carga escalonada, la deformación volumétrica (ϵ_v) en lugar de d_t , sin alterar la forma de la curva. Los valores acumulativos de ϵ_v se calculan mediante la expresión de $(e_0 - e_t) / (1 + e_0) \times 100\%$. En sus resultados, constan las proporciones de la conductividad hidráulica interpretada sobre las mediciones varía dentro de un amplio espectro de 1/10 a 5,0 para las arcillas investigadas, los valores medidos del coeficiente de consolidación son no constantes durante la consolidación bajo incrementos de carga escalonada. Se observó que se desvía del supuesto coeficiente constante de consolidación, la base para el desarrollo de los métodos de determinación de la conductividad hidráulica interpretada a partir de pruebas de consolidación

Adamidis & Madabhushi (2016) en su artículo “Deformation Mechanisms Under Shallow Foundations During Earthquake-Induced Liquefaction”. Realizaron un análisis del asentamiento de suelo por reconsolidación mediante ecuación de consolidación incluyendo el cambio de presión, porosidad con respecto al tiempo, se busca una solución frente al asentamiento de un depósito de arenas sueltas saturadas con agua que puedan licuarse por medio de agitaciones, ya que son un posible riesgo en las estructuras por la presión y posible asentamiento. Para lo cual se empleó ecuaciones de consolidación en el tiempo y los ensayos de centrifugación que nos permite representar el comportamiento tensión-deformación del suelo con precisión dentro de un modelo reducido. Frente a lo mencionado, se llevaron a cabo las pruebas de centrifugación con dos experimentos (OA2 y OA3) en los que la reconsolidación se modela en capas de arena licuada con el propósito de examinar el comportamiento no drenado de la arena dentro de una cámara frente al de un campo libre de la columna de suelo. Asimismo, se empleó la ecuación de consolidación para las estimaciones del exceso de generación de presión de poros al inicio de la licuefacción. El algoritmo propuesto, contiene el proceso de reconsolidación de capas de arena licuada observado en dos ensayos de centrifugación geotécnica de manera satisfactoria, mediante el cual se puede

determinar que el coeficiente cambiante de conductividad hidráulica también influye en la reconsolidación y su contribución es de menor importancia, debido al rango limitado de sus valores. Por otro lado, la porosidad y la presión de poro se vincularon a través de una rigidez unidimensional, el cual fue determinado fácilmente utilizando una prueba común.

Mesri & Castro (1987) en su estudio “Coefficient of Secondary Compression from Oedometer Tests on Clay”, se desarrolló un análisis detallado del comportamiento de consolidación primaria y secundaria en arcillas naturales. Los autores evaluaron la relación entre el índice de compresibilidad secundaria ($C\alpha$) y el índice de compresión (Cc), demostrando que $C\alpha/Cc$ se mantiene aproximadamente constante para un amplio rango de arcillas blandas. Este hallazgo permitió mejorar la predicción del asentamiento a largo plazo en proyectos de infraestructura donde predominan suelos cohesivos, estableciendo una base teórica fundamental para los modelos de Skempton y Bjerrum al estimar asentamientos postconsolidación en estructuras superficiales.

Leroueil & Hight (2003), en su artículo “Behaviour and Properties of Natural Soft Clays”, examinaron la respuesta mecánica y los mecanismos de deformación de arcillas blandas bajo cargas estáticas y de consolidación. Su investigación identificó la importancia del grado de estructura y la sensibilidad del suelo en la predicción del asentamiento total, demostrando que las deformaciones secundarias pueden ser más significativas en suelos con estructura intacta. Estos resultados respaldan la necesidad de ajustar los modelos de consolidación clásica al considerar el comportamiento no lineal de los suelos arcillosos naturales.

Tan et al. (2014) en su estudio “Field Evaluation of Consolidation Settlement in Soft Clay Ground Improvement Projects”, se analizaron los asentamientos medidos en campo en suelos arcillosos blandos sometidos a precarga y drenaje vertical. Los resultados mostraron que la

correlación entre el coeficiente de consolidación obtenido en laboratorio y en campo puede variar significativamente debido a condiciones de drenaje y anisotropía del suelo. La comparación entre valores medidos y calculados permitió validar y ajustar modelos basados en los métodos de Skempton–Bjerrum, evidenciando la relevancia de estos métodos para la estimación precisa del asentamiento en suelos blandos sometidos a cargas estructurales.

1.2.2 En el ámbito nacional

Pilcomamani (2020) en su tesis “Análisis geotécnico de cimentaciones en suelo blando para infraestructura del servicio de seguridad ciudadana en Puno”. Su objetivo era evaluar si el suelo blando afectaría el diseño de los cimientos del edificio de seguridad civil en la provincia de Puno. El presente es un estudio descriptivo con un diseño no experimental rudimentario, donde la población estudiada es el proyecto de construcción del edificio de oficinas de seguridad civil en el Distrito de Huancane en Puno las técnicas incluyeron toma de muestras inalteradas, pruebas de laboratorio, y se envió al sitio instrumental de personal para recolectar muestras y resultados de los laboratorios de mecánica de suelos. Los resultados mostraron la presencia de suelos finos, arcillas con una clasificación SUCS de 'CH', y también se generaron parámetros geomecánicos, curvas de consolidación y cálculos de asentamiento. En resumen, el suelo arcilloso blando influye en el diseño de los cimientos de las estructuras propuestas en la zona de Huancane.

Alvarado & Palomino (2015) en su tesis “Determinación de trabajos de preconsolidación para el cálculo de hundimiento de suelos de grano fino en la región Sagari-Cusco”. Su objetivo fue determinar el enfoque de preconsolidación para suelos arcillosos de Sagari-Cusco a través de pruebas de laboratorio. Este estudio es de carácter descriptivo cuantitativo, no experimental, de corte transversal y la población de estudio está constituida por 04 muestras de los lotes 56 y 57 de Sagari, REPSOL S.A. De igual manera, se utilizaron instrumentos de campo para recolectar

muestras y obtener resultados de los laboratorios de mecánica de suelos. Los resultados de las pruebas de consolidación mostraron que esta capa normalmente se consolida. De manera similar, a partir de las 04 muestras, observamos que el comportamiento y las características de todas las muestras fueron similares en toda el área de estudio. El informe concluye que el área de levantamiento tiene suelos homogéneos y también confirma que el terreno de levantamiento no ha sido sometido a mayores cargas que la situación actual.

Según Huamán (2021) en su tesis titulada “Evaluación del asentamiento por consolidación en suelos arcillosos para el diseño de cimentaciones superficiales en la ciudad de Trujillo”, se analizó la magnitud de los asentamientos producidos por cargas estructurales sobre suelos arcillosos saturados. El estudio aplicó ensayos edométricos y triaxiales consolidados no drenados (CU) para estimar los parámetros de compresibilidad y coeficiente de consolidación. Los resultados demostraron que los suelos arcillosos de la zona presentan un alto potencial de asentamiento primario y secundario, recomendándose la aplicación de métodos de corrección como el de Skempton–Bjerrum para obtener valores más realistas de deformación y prever el comportamiento del terreno bajo carga.

Según Cruz y Mamani (2019), en su investigación “Análisis de asentamientos diferenciales en cimentaciones de edificaciones sobre suelos blandos en la ciudad de Arequipa”, estudiaron los efectos del asentamiento por consolidación en edificaciones construidas sobre suelos de naturaleza arcillosa con alta plasticidad. Mediante el empleo de la Norma Técnica E.050 y modelos numéricos de simulación en el software PLAXIS, se determinaron los perfiles de deformación y los valores de asentamiento máximo admisible. Los autores concluyeron que la presencia de arcillas con baja permeabilidad y altos índices de vacíos incrementa significativamente los tiempos de

consolidación, afectando la estabilidad estructural si no se consideran factores de corrección de asentamiento.

Vargas (2018) en su tesis “Evaluación del comportamiento de suelos arcillosos sometidos a cargas estructurales en la zona de San Juan de Lurigancho - Lima”, realizó una caracterización geotécnica integral de los suelos arcillosos de la zona con el propósito de determinar su grado de consolidación bajo cargas de edificaciones de varios niveles. Se emplearon ensayos de consolidación unidimensional, determinando los coeficientes de consolidación (C_v) y los índices de compresibilidad (C_c y C_r). Los resultados evidenciaron que los suelos analizados se encuentran parcialmente consolidados y que, bajo incrementos de carga, tienden a sufrir asentamientos diferenciales importantes. El estudio recomienda la aplicación del método de Skempton–Bjerrum como procedimiento adecuado para estimar los asentamientos totales y corregir los valores obtenidos mediante ensayos edométricos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar los asentamientos por consolidación en suelos arcillosos utilizando el método de Skempton-Bjerrum de modo que los resultados obtenidos se encuentren dentro de los rangos de aceptabilidad establecidos por el RNE E.050. “Suelos y cimentaciones”.

1.3.2 Objetivos específicos

Reconocer suelos arcillosos que puedan soportar asentamientos admisibles por consolidación en construcciones sobre excavaciones de este tipo de suelos, aplicando metodología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y de la Asociación Americana de Vías Terrestres (ASHTO) para determinar adecuadamente asentamientos de consolidación en terrenos

arcillosos que validen los asentamientos calculados por el método de Skempton-Bjerrum, y otros métodos comparativos que puedan ser aceptados en la mecánica de suelos.

Evaluar asentamientos por consolidación primaria y secundaria en suelos arcillosos para determinar el rango de aceptabilidad o grado de consolidación aplicando el método de Skempton-Bjerrum conforme al lo establecido en el RNE E.050 “Suelos y Cimentaciones”.

1.4 Justificación

La presente investigación se justifica en la necesidad de abordar un problema crítico en la ingeniería civil: los asentamientos por consolidación en suelos arcillosos, especialmente en zonas donde se realizan excavaciones previas a la construcción. La necesidad de predicción precisa de asentamientos: Los asentamientos por consolidación en suelos arcillosos, particularmente en zonas de excavación y posterior construcción, son un riesgo latente para la integridad de las estructuras. Una predicción imprecisa puede llevar a asentamientos excesivos o diferenciales que resulten en fisuras, grietas, fallas estructurales e incluso colapso de la edificación, generando pérdidas materiales y poniendo en riesgo vidas humanas. La investigación se justifica en la búsqueda de una metodología más precisa para esta predicción.

Complejidad de construcciones sobre excavaciones: Las excavaciones modifican significativamente el estado tensional y las propiedades del suelo. La construcción posterior sobre estas zonas presenta un desafío adicional, ya que el comportamiento del suelo puede ser diferente al de un terreno no perturbado. La tesis aborda esta complejidad específica, lo que la hace de particular importancia en proyectos de infraestructura urbana o en zonas de topografía irregular que requieren nivelaciones o rellenos.

La aplicación y validación del método Skempton-Bjerrum en el contexto local, es reconocido internacionalmente por su idoneidad en el cálculo de asentamientos por consolidación.

Sin embargo, su aplicación efectiva en un contexto geológico y normativo específico como el peruano (RNE E.050) requiere validación y un entendimiento profundo de sus parámetros bajo las condiciones locales. La tesis se justifica al aplicar este método de manera rigurosa y en concordancia con la normativa vigente, lo que asegura su pertinencia y utilidad en el ámbito local, cumplimiento normativo, la Norma E.050 suelos y cimentaciones es de cumplimiento obligatorio a nivel nacional en Perú. La investigación, al centrarse en cómo aplicar un método de cálculo de asentamientos de acuerdo con esta norma, directamente contribuye a facilitar su implementación y a asegurar que las construcciones se realicen bajo los estándares de seguridad y calidad exigidos.

Se obtendrá un conocimiento más profundo sobre el comportamiento de asentamientos por consolidación en suelos arcillosos previamente excavados bajo cargas de construcción, específicamente en el contexto de la geología peruana.

La investigación podrá derivar en un procedimiento detallado y validado para la aplicación del método Skempton-Bjerrum en este tipo de situaciones, integrando los requisitos específicos de la Norma E.050. Esto podría incluir pautas para la toma de muestras, realización de ensayos de laboratorio y la interpretación de resultados para la correcta aplicación del método.

La principal relevancia es la capacidad de mitigar los riesgos asociados a los asentamientos diferenciales, lo que se traduce en una mayor seguridad para las edificaciones y sus ocupantes. La relevancia de esta tesis se centra en la constante problemática del asentamiento primario por consolidación que ocurre a través del tiempo, donde el suelo de fundación seguirá asentándose por tiempo indefinido pudiendo provocar deterioro de las estructuras como grietas, fisuras en el concreto, que pueden llevar al colapso de las infraestructuras. El proceso de consolidación del suelo es resultado del cambio de volumen en un suelo cohesivo saturado debido a la expulsión de agua intersticial los cuales ocurren en tiempos largos y prolongados (Das: 2017).

Los que se beneficiarían serían los propietarios y usuarios finales de la construcción ya que recibirán construcciones más seguras, estables y duraderas, con menor probabilidad de sufrir daños estructurales relacionados con asentamientos.

Con base en lo expuesto y considerando que la solución de cada problema de mecánica de suelos depende de las condiciones locales del terreno, se realizarán ensayos y cálculos aplicando factores de corrección de asentamiento obtenidos a partir de ensayos odométricos. Estos ensayos permiten evaluar la compresibilidad y el grado de consolidación del suelo, incorporando factores de inmediatez y de integración que intervienen en el proceso de deformación y asentamiento. A partir de los datos experimentales obtenidos, se aplicará la teoría de Skempton-Bjerrum al caso del distrito de Comas, como zona representativa de suelos arcillosos de la ciudad de Lima.

Como contribución principal de este estudio, se presentará un procedimiento general para la evaluación del proceso de consolidación, orientado a optimizar el diseño y construcción de cimentaciones sobre excavaciones, considerando los factores de hundimiento y deformación característicos de los suelos arcillosos.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

HG. -El método de Skempton-Bjerrum permite evaluar los asentamientos por consolidación en suelos arcillosos para edificaciones construidas sobre excavaciones, obteniendo resultados que se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad establecidos en el RNE E.050 “Suelos y Cimentaciones.

1.5.2 Hipótesis específicas

- HE1.-Los terrenos arcillosos determinan asentamientos admisibles por consolidación

tolerables y grados de consolidación aceptables para la construcción sobre excavaciones aplicando la metodología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y de la Asociación Americana de Vías Terrestres (AASHTO) validando los asentamientos calculados por el método de Skempton-Bjerrum.

- HE2.- Los asentamientos calculados mediante el método de Skempton-Bjerrum permiten determinar el rango de aceptabilidad y grado de consolidación conforme a los valores establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE E.050 - “Suelos y Cimentaciones”.
- HE3.- Los asentamientos por consolidación aplicando el método de Skempton-Bjerrum determinan la aceptabilidad del grado de consolidación inicial o preconsolidación para la construcción de infraestructura sobre terreno arcilloso de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE E.050 - “Suelos y Cimentaciones”.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

- Suelo

Según Peck et al. (1976), se considera que los suelos son agregados naturales de partículas minerales, con o sin constituyentes orgánicos, que pueden separarse mediante procedimientos mecánicos simples, como la agitación en agua. Los suelos representan el resultado de la desintegración física y química de las rocas, y sus propiedades varían ampliamente según su origen y composición. Algunos suelos endurecidos pueden presentar una resistencia comparable a la de rocas meteorizadas. En ingeniería geotécnica, el suelo constituye el medio de soporte de las estructuras, por lo que su estudio es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de las edificaciones. Los suelos arcillosos, en particular, presentan alta compresibilidad, baja permeabilidad y sensibilidad a los cambios de presión intersticial, lo que los hace propensos a sufrir asentamientos diferidos por consolidación. Estos suelos suelen presentar minerales como la montmorillonita, illita y caolinita, que tienden a absorber agua y modificar su estructura interna ante variaciones de carga o humedad. La Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones” (RNE, 2023) establece los procedimientos para la identificación y caracterización de estos materiales, así como los métodos de ensayo requeridos (como el edómetro y triaxial) para determinar su comportamiento ante cargas. Esta norma también define criterios de diseño de cimentaciones considerando los asentamientos admisibles y los parámetros de consolidación que deben evaluarse en laboratorio.

- Gravedad específica

Según Braja (2017), la gravedad específica es la relación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua: $\text{gravedad específica (Gs)} = \text{densidad de las partículas del suelo} / \text{densidad}$

del agua. Este parámetro es adimensional y resulta esencial para determinar otras propiedades del suelo, como la porosidad, la saturación y el peso unitario seco, que son fundamentales en los cálculos de asentamiento y consolidación. En suelos arcillosos, los valores de G_s suelen variar entre 2.60 y 2.80, dependiendo del tipo de mineral. Una gravedad específica alta indica la presencia de partículas más densas, lo que influye en la compresibilidad y capacidad portante del terreno. Este parámetro se utiliza, junto con la humedad natural y el peso unitario, para determinar la presión efectiva inicial y el coeficiente de compresibilidad volumétrica (m_v), esenciales en el método Skempton–Bjerrum.

- **Método de Skempton - Bjerrum**

El método propuesto por Bjerrum y Skempton (1957) ofrece una comprensión avanzada del comportamiento del suelo bajo cargas de cimentación, particularmente en suelos cohesivos. Los autores demostraron que el elemento de suelo situado bajo la cimentación sufre una deformación lateral debido a la carga aplicada, y que la presión de poro inducida no siempre coincide con el incremento de la tensión vertical.

La teoría introduce el parámetro A de presión intersticial, que describe la relación entre el cambio de presión de poro y el incremento de esfuerzo total. La consolidación de la arcilla se produce como consecuencia de la disipación gradual de la presión intersticial, permitiendo el reajuste de las partículas del suelo. En los ensayos edométricos, donde la muestra está confinada lateralmente, la presión intersticial inducida es igual al incremento de la tensión normal, siempre que el suelo esté completamente saturado.

El método de Skempton–Bjerrum permite estimar los asentamientos por consolidación considerando tanto la deformación vertical como los efectos de la estructura del suelo, siendo ampliamente utilizado para evaluar asentamientos primarios y secundarios en suelos arcillosos. En

el contexto de excavaciones, este método resulta particularmente útil, ya que permite considerar los efectos de alivio de carga y recarga durante la construcción, situaciones comunes en proyectos de cimentaciones profundas, sótanos o taludes. La Norma E.050 recomienda aplicar modelos de consolidación ajustados a condiciones reales de campo, especialmente cuando las variaciones de esfuerzos son significativas o las excavaciones alteran el estado de tensiones naturales del suelo.

- **Ensayo Triaxial**

Según la ASTM D4767 (2011), el ensayo triaxial es uno de los métodos más efectivos que se pueden realizar en arena y arcilla y que permite obtener resultados más realistas de los parámetros de resistencia al corte. Se considera confiable por las siguientes razones. Proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación uniforme de los suelos. La tensión se concentra a lo largo de la superficie de la fractura, lo que da como resultado un estado de tensión más uniforme que el ensayo de corte directo. Proporciona información sobre parámetros de cohesión efectivos y ángulos de fricción efectivos, fundamentales para el análisis de estabilidad y asentamiento de cimentaciones. Los resultados del ensayo permiten obtener el módulo de elasticidad (E) y el coeficiente de Poisson (ν), necesarios para calcular la deformación vertical y lateral del suelo en el análisis de asentamiento. Para el método Skempton–Bjerrum, los datos del ensayo triaxial son esenciales para definir la relación entre esfuerzo efectivo y presión de poro, lo que mejora la precisión de la estimación de asentamientos diferidos.

- **Consolidación**

Según Guerriero (2022), el aumento de las cargas debido a los trabajos de cimentación y otras cargas conducen a la compactación de la capa de suelo. La compactación es causada por la deformación de las partículas del suelo, la reorientación de las partículas del suelo y la expulsión de aire o agua de los vacíos. En general, el proceso de consolidación del suelo es causado por

cargas y puede clasificarse ampliamente en tres etapas: asentamiento inmediato, el cual ocurre justo después de la aplicación de la carga, debido a la deformación elástica del suelo y a pequeños reajustes de sus partículas; asentamiento por consolidación primario, corresponde al periodo en que el agua intersticial es expulsada gradualmente de los poros, aumentando las tensiones efectivas y reduciendo el volumen del suelo; y asentamiento de consolidación secundario, el cual se produce después de la disipación completa de las presiones de poro y se asocia con la reorientación y deformación viscosa de las partículas arcillosas a lo largo del tiempo.

Este fenómeno es de especial relevancia en suelos arcillosos saturados, donde la baja permeabilidad genera una disipación lenta de las presiones de poro, prolongando el proceso de consolidación y, por ende, los asentamientos diferenciales en las estructuras. En excavaciones profundas o cimentaciones en suelos arcillosos, la consolidación puede prolongarse durante meses o incluso años, dependiendo del coeficiente de permeabilidad (k) y del coeficiente de consolidación (C_v). La Norma E.050 exige que los asentamientos totales y diferenciales se mantengan dentro de límites admisibles para evitar daños estructurales, recomendando el uso de métodos analíticos como el de Skempton–Bjerrum cuando existan condiciones de consolidación compleja

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

Según indica Baena (2017), la investigación aplicada es una forma no sistemática de encontrar soluciones a problemas y cuestiones específicas utilizando fundamentos teóricos y métodos científicos. Estos problemas pueden surgir a nivel individual, grupal o comunitario.

En este estudio, se adopta el enfoque aplicado, ya que tiene como finalidad evaluar los asentamientos por consolidación que se producen en suelos arcillosos al construir sobre excavaciones, utilizando el método de Skempton–Bjerrum como herramienta de análisis y validación técnica.

La investigación se sustenta en datos empíricos obtenidos mediante ensayos de laboratorio y cálculos analíticos basados en la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones”, integrando además estudios de autores nacionales e internacionales. Este enfoque permite comprobar hipótesis relacionadas con el comportamiento del terreno y los factores de corrección de asentamiento en función de la consolidación y la presión intersticial.

3.1.1 Enfoque de la investigación

El estudio presenta un enfoque aplicado, ya que tiene como propósito emplear los fundamentos teóricos y métodos de la mecánica de suelos para resolver un problema práctico de la ingeniería geotécnica. A través de la aplicación del método Skempton–Bjerrum y su comparación con la Sumatoria de Capas, se busca evaluar el comportamiento del suelo arcilloso ante cargas de cimentación, de acuerdo con los lineamientos de la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones”. Este enfoque permite validar la utilidad práctica de los métodos teóricos y proponer criterios de aplicación en el diseño geotécnico.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño empleado es **no experimental, de tipo descriptivo y comparativo**, pues no se manipulan las variables independientes, sino que se observan y analizan en su contexto natural. La investigación describe el comportamiento del suelo arcilloso bajo cargas de cimentación, comparando los resultados obtenidos mediante diferentes métodos de cálculo. Asimismo, se basa en datos empíricos provenientes de ensayos de laboratorio como el edométrico y el triaxial consolidado no drenado (CU).

3.2 Ámbito temporal y espacial

Esta investigación se centrará en la evaluación del asentamiento por consolidación en suelos arcillosos, aplicando el método de Skempton-Bjerrum. La investigación se realizará de acuerdo con los lineamientos establecidos en la Norma Técnica de Edificación E.050 "Suelos y Cimentaciones" (RNE E.050), vigente en Perú. En el ámbito espacial, el estudio se llevará a cabo en la Avenida Los Incas, ubicada en el distrito de Comas, en Lima, Perú. En el ámbito temporal, la investigación se desarrollará durante el año 2024.

3.3 Variables

3.3.1 Variable independiente

Evaluación del asentamiento por consolidación.

3.3.2 Variable dependiente

Construcción sobre excavaciones en suelos arcillosos.

Tabla 1*Operaciones con variables*

Variable	Dimensión	Indicadores	Técnica / Instrumento	Unidad de medida
Asentamiento por consolidación (VI)	Compresibilidad del suelo	Índice de compresión (Cc), coeficiente de consolidación (Cv)	Ensayo edométrico y triaxial CU	mm
	Esfuerzo efectivo	Presión de poros (u), presión efectiva (σ')	Cálculos analíticos según Skempton–Bjerrum	kPa
Construcción sobre excavaciones (VD)	Tipo de cimentación	Profundidad y geometría de la zapata	Observación y planos estructurales (ETABS)	m
	Comportamiento del suelo bajo carga	Asentamiento total y diferencial	Método Skempton–Bjerrum y Sumatoria de Capas	mm

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

La **población** son todos los terrenos sobre suelos arcillosos que conforman el distrito de Comas. Según Hernández et al. (2014), la población delimitada, donde se extraerán valores, es una corresponde al conjunto total de unidades que poseen las características específicas de interés para el estudio, en este caso, los suelos arcillosos de la zona urbana de Comas que se encuentran bajo procesos de carga o excavación.

3.4.2 Muestra

La **muestra es intencional escogida entre** cimentaciones ubicados en la avenida los incas en el distrito de Comas. Según Arias (2012), una muestra es un subconjunto extraído usando un método particular y usa probabilidades para representar el resultado de una población.

3.5 Instrumentos

Los instrumentos empleados para el desarrollo de esta investigación incluyen tanto equipos de laboratorio geotécnico como herramientas analíticas y normativas. Para los ensayos de laboratorio, se deberá estimar previamente las cargas que transmite la cimentación al suelo mediante el programa ETABS considerando una edificación diseñada bajo el RNE. Según Useche et al. (2019) los instrumentos de recolección de datos son fundamentales para garantizar la precisión y fiabilidad de la información obtenida, permitiendo una adecuada interpretación de las variables implicadas.

3.6 Procedimientos

Es primordial identificar el lugar, en el caso de esta investigación, es en la avenida Los Incas, ubicado en el distrito de Comas, zona caracterizada por la presencia de depósitos arcillosos y condiciones de humedad variables, esta etapa permite identificar la profundidad del estrato arcilloso, el tipo de cimentación predominante y las posibles influencias de excavaciones colindantes o cambios en el nivel freático. Posteriormente se procederá a realizar la extracción de muestras mediante perforaciones, las cuales serán inalteradas para su análisis en laboratorio. En los ensayos de laboratorio, a través de ellos se procede a la determinación de las características físicas y mecánicas del suelo estudiado. La profundidad de perforación estará determinada por el espesor de la capa arcillosa compresible y las características del subsuelo reportadas en los perfiles estratigráficos. Durante esta fase se registrarán datos de campo como la profundidad del nivel freático, la estratigrafía y la consistencia del suelo. El resultado de los ensayos de laboratorio determinará las propiedades físicas y mecánicas del suelo (límite líquido, índice de plasticidad, gravedad específica, ensayo edométrico y triaxial). Después se realizarán los cálculos de los índices de compresibilidad y coeficientes de consolidación. Con los parámetros obtenidos en laboratorio,

se procederá al cálculo del asentamiento por consolidación primaria (S_c) mediante el uso del método de Skempton-Bjerrum. Este método nos permitirá determinar el asentamiento real empleando diferentes valores del parámetro presión de poros A (parámetro de presión intersticial A), mediante el factor de corrección μ y el asentamiento edométrico (S_e) obtenido del ensayo triaxial consolidado no drenado CU. Finalmente, los resultados obtenidos serán comparados con los límites admisibles de asentamiento establecidos por la Norma Técnica E.050, verificando que no se superen los valores de asentamiento total ni diferencial que puedan afectar la estabilidad estructural. Se evaluará la correlación entre los valores experimentales (de laboratorio) y los teóricos (obtenidos del método Skempton-Bjerrum), identificando factores de discrepancia y proponiendo ajustes en los coeficientes de corrección para condiciones locales de suelos arcillosos en el distrito de Comas. La interpretación final permitirá validar la aplicabilidad del método Skempton-Bjerrum como herramienta predictiva confiable para el análisis de asentamientos en proyectos de construcción sobre excavaciones en suelos arcillosos del contexto peruano.

3.7 Análisis de datos

De acuerdo con Valderrama (2019), el análisis de datos es el procedimiento que consiste en examinar, limpiar y transformar los datos con el fin de resaltar información útil, proponer conclusiones y apoyar la toma de decisiones. En esta investigación, el método de análisis es de carácter metodológico, ya que utilizaremos el método de Skempton-Bjerrum. Para los ensayos, se envían los materiales al laboratorio para la evaluación de las muestras y determinar los parámetros del suelo bajo diferentes condiciones de carga y profundida.

3.8 Consideraciones éticas

El investigador debe saber que está comprometido a cumplir con los principios éticos de la investigación científica, asegurando la protección y respetando los derechos de propiedad

intelectual de las indentidades asociadas al estudio. sus participantes. Confidencialidad de las identidades de los participantes. Además, se garantizará la transparencia y veracidad de los resultados, evitando cualquier tipo de manipulación o alteración de los datos experimentales.

IV. RESULTADOS

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realiza mediante el tamizado de la muestra de suelo el cual permite conocer el tamaño de las diferentes partículas que componen el sedimento a analizar.

Tabla 2

Análisis granulométrico

TAMIZ	AASHTO T-27 <hr style="width: 50%; margin: auto;"/> (mm)	PORCENTAJE QUE PASA
5"	127.000	100.00
4"	101.600	100.00
3"	76.200	100.00
2 1/2"	63.300	100.00
2"	50.800	100.00
1 1/2"	38.100	100.00
1"	25.400	100.00
3/4"	19.000	100.00
1/2"	12.500	100.00
3/8"	9.500	100.00
N° 4	4.750	100.00
N° 10	2.000	94.1
N° 20	0.840	88.9
N° 40	0.425	84.8
N° 60	0.250	81.1
N° 100	0.150	76.3
N° 200	0.075	68.1

Finalizado el proceso de tamizado de la muestra de suelo, se representa los datos obtenidos de suelo mediante la tabla, la cual representa el porcentaje obtenido de las partículas de suelo siendo estas grava, arena y finos.

Tabla 3

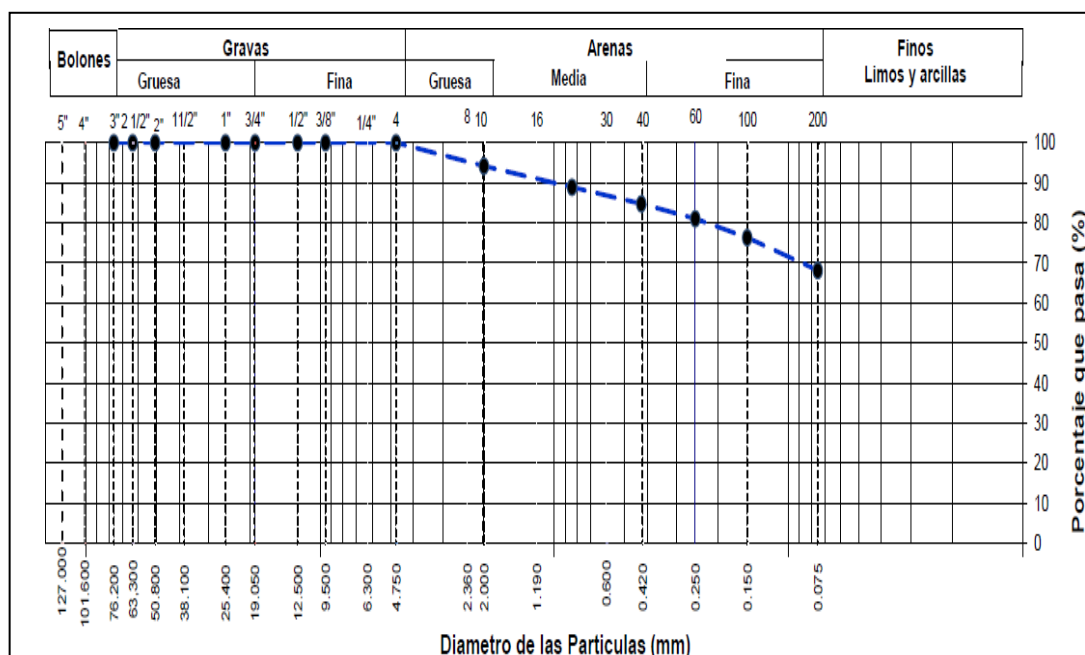
Resumen del análisis granulométrico

Análisis Granulométrico (ASTM D422)		
Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
0.0	31.9	68.1

Asimismo, se presenta el grafico de la curva granulométrica del suelo para la visualización del diámetro de partículas del proceso de tamizado.

Figura 1

Curva granulométrica



Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS es el de uso más extendido en la práctica geotécnica. Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg de los suelos, para el cual se emplea la carta de plasticidad SUCS.

Figura 2

Carta de plasticidad

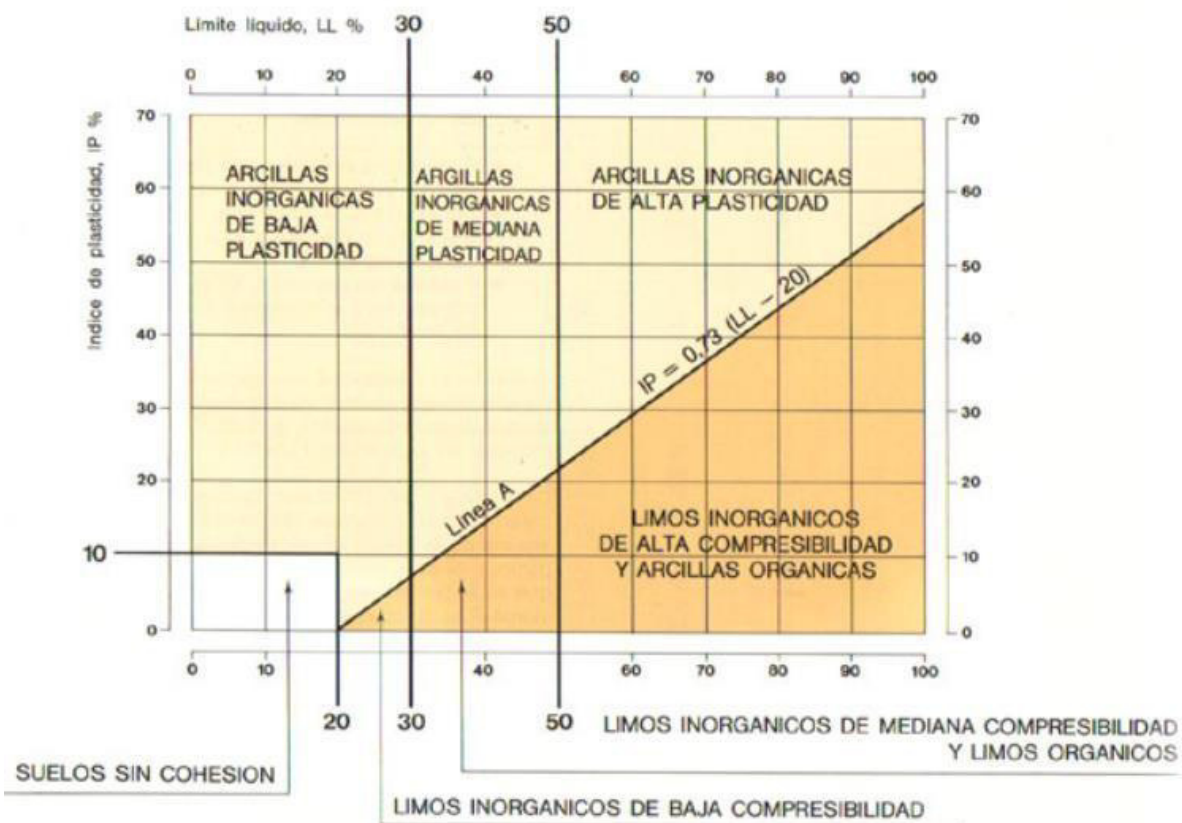
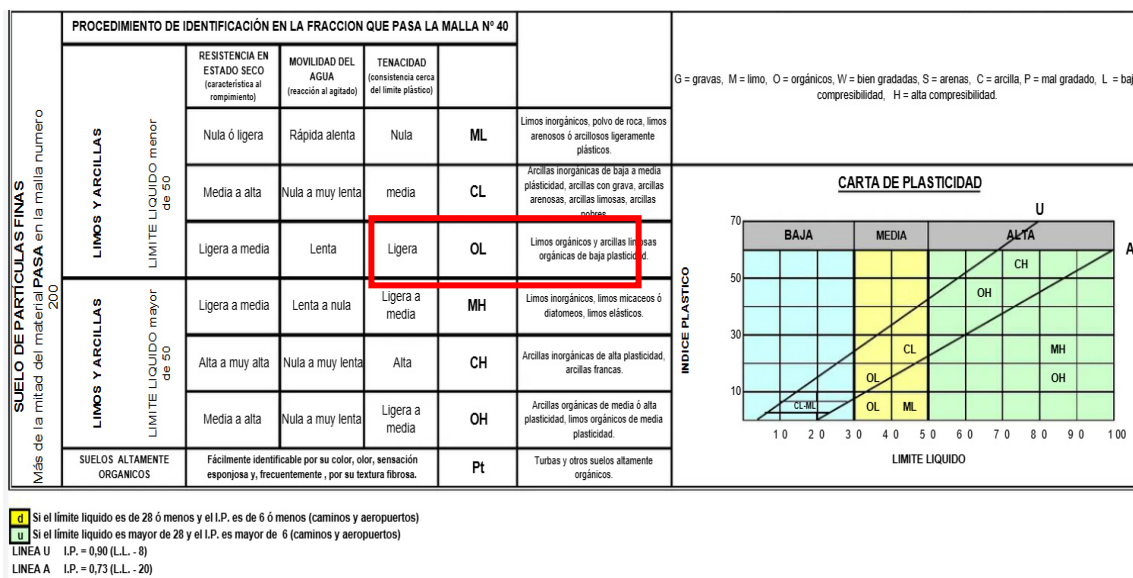


Figura 3

Clasificación según SUCS



En base a la carta de plasticidad SUCS y la clasificación SUCS (Figura 21) se puede determinar que el material obtenido es una arcilla arenosa (CL) de baja plasticidad.

El sistema de clasificación AASHTO

Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico. Donde se deberán tener en cuenta los siguientes datos:

Porcentaje que pasa la malla Nro. 200: 68.1%

Límite Líquido: 49.0

Índice de plasticidad: 24.0

Luego se deberá determinar el índice de grupo empleando la ecuación 22 con los datos obtenidos ya anteriormente.

$$IG = (F200 - 35) (0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F200 - 15) (IP - 10)$$

$$IG = 15.54 \approx 16$$

Índice de grupo: 16

Figura 4*Clasificación según AASHTO*

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...		B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.		B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Empleando el sistema de clasificación AASHTO con los datos obtenidos del límite líquido, índice de plasticidad y índice de grupo se pudo determinar que el material desuelo pertenece a la clasificación A-7-6(16), siendo este un suelo arcilloso.

Ensayo de límites de consistencia

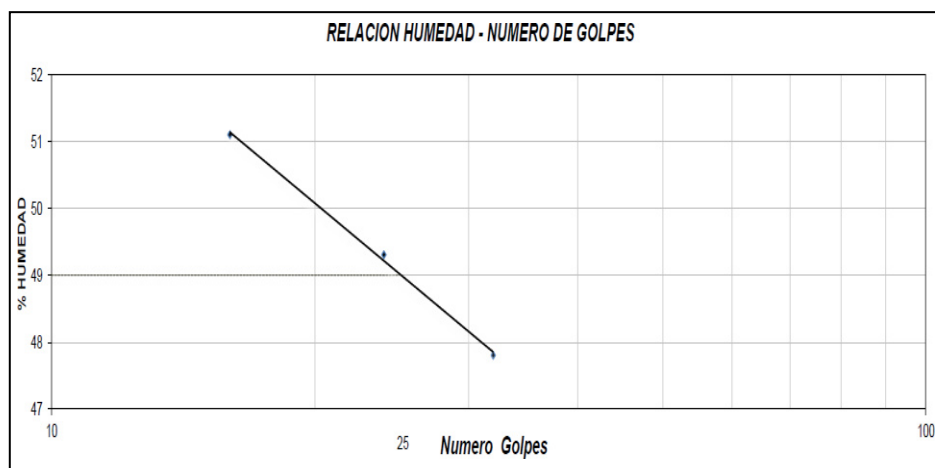
Límite líquido

El ensayo de Límite líquido se usa para poder determinar el contenido de humedad del suelo, en el límite entre su comportamiento líquido y plástico mediante la Copa de Casagrande, mediante el cual con un número determinado de golpes se establece la fluencia del suelo en condiciones normalizadas. A continuación, se presenta la tabla (3) con los datos obtenidos en laboratorio.

Tabla 4*Limite liquido*

Descripción	Unidad	P1	P2	P3
Contenido Humedad	%	47.8	49.31	51.10
Nº de Golpes	-	32	40	16

Para la determinación de limite liquido se emplea la figura, la cual representa la relación del contenido de humedad y nro. de golpes. A partir de ello se determinó el límite liquido del 49%.

Figura 5*Diagrama de fluidez***Limite plástico**

Consiste en determinar el contenido de humedad y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio una masa de suelo elipsoidal hasta que comienza a fisurarse o disgregarse.

Tabla 5*Contenido de humedad*

Descripción	Unidad	P1	P2
Contenido Humedad	%	25.20	25.09

Se determinó el límite plástico en relación al promedio de contenido de humedad; con un valor de 25%. Asimismo, el valor de índice de plasticidad es de 24.00%.

Ensayo de peso volumétrico

Se determina la densidad de una muestra de suelo cohesivo por determinación de su masa y volumen, el procedimiento considera la obtención del volumen mediante el desplazamiento en agua. Mediante la aplicación de este ensayo, se pudo determinar un peso volumétrico húmedo de 1.885 g/cm^3 ; asimismo se obtuvo un peso volumétrico seco de 1.508 g/cm^3 .

Ensayo de consolidación unidimensional (edométrico)

Se realizó el ensayo de consolidación en una muestra de arcilla aplicando cargas escalonadas y los parámetros de relación de vacíos instantáneos en tiempos prolongados como se muestran en la tabla.

Figura 6*Resultados del ensayo 1 de consolidación*

Presion (kg/cm^2)	e	δ (mm)
0.25	0.712	0.559
0.50	0.699	0.711
1.00	0.681	0.914
2.00	0.650	1.270
4.00	0.605	1.778
8.00	0.549	2.413
4.00	0.551	2.388
2.00	0.560	2.286
1.00	0.574	2.134
0.50	0.594	1.905
0.25	0.614	1.676

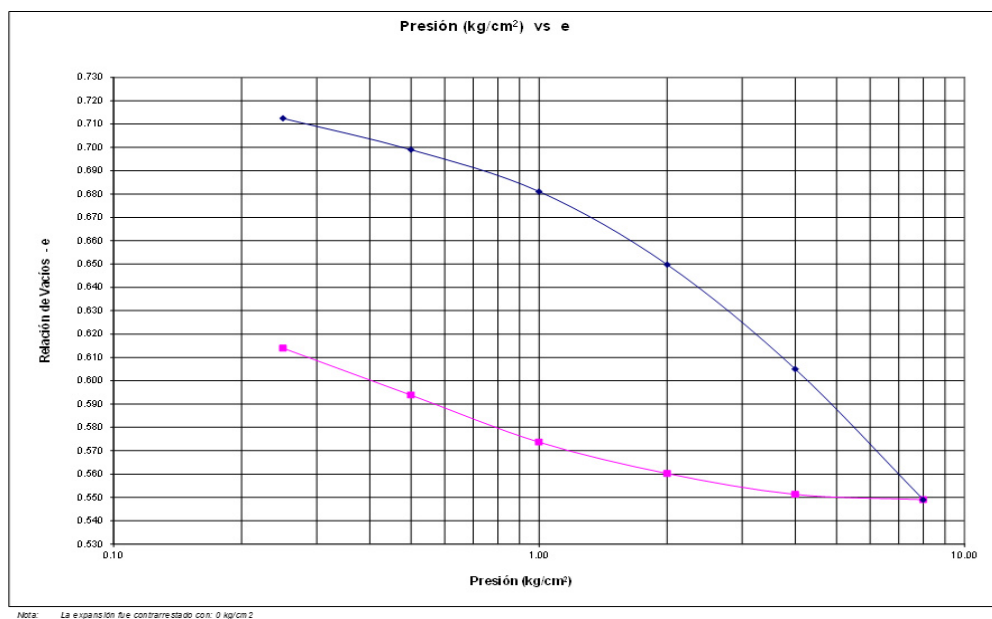
Del ensayo de consolidación se determinaron los siguientes parámetros del suelo, los cuales se presentan en la tabla 6.

Tabla 6

Resultados de parámetros del suelo

Descripción	Unidad	Datos	
		Iniciales	Finales
Humedad	%	33.8	26.3
Diámetro	cm	6.16	6.159
Altura	cm	1.999	1.758
Densidad húmeda	g/cm^3	2.035	2.185
Densidad seca	g/cm^3	1.521	1.730
Relación de vacíos	-	0.712	0.614
Gravedad específica	-	2.680	

Asimismo, se procedió a elaborar la curva de compresibilidad a partir de los valores de relación de vacíos (e) y carga aplicada (kg/cm^2); los cuales son extraídos de la tabla y son representados mediante la figura 7.

Figura 7*Curva de compresibilidad*

Mediante la curva de compresibilidad se obtuvieron los siguientes datos del ensayo representados en la Tabla.

Tabla 7*Resumen de parámetros de consolidación*

Descripción	Unidad	
Índice de recompression	Cr	0.052
Índice de consolidación	Cc	0.186
Índice de expansión	Cs	0.043

Se debe tener en cuenta que el índice recompression se usa para derivar la compresibilidad de un suelo sobre consolidado y el índice de consolidación es un parámetro que describe la velocidad a la que evoluciona el proceso de consolidación durante una prueba.

Ensayo triaxial consolidado no drenado (CU)

Este método cubre la determinación de los esfuerzos y de las relaciones esfuerzo-deformación de una muestra cilíndrica de suelo saturada y consolidada para luego someterla a corte por compresión en condiciones no drenadas, el cual se realizará a una velocidad constante de deformación axial (deformación controlada).

Se realizaron 3 ensayos triaxiales CU para determinar los parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción), de los cuales cada ensayo este compuesto por 3 especímenes que se representaran a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 8

Parametros de esfuerzos del ensayo 1

Descripción	Unidad	Ensayo 1		
		Espécimen 1	Espécimen 2	Espécimen 3
Esfuerzo de confinamiento	Kpa	50	100	200
Esfuerzo desviador	Kpa	77.8	122.9	174.1
Variación presión de poros	Kpa	52	101.136	146.59
Esfuerzo principal	Kpa	127.8	222.9	374.1

Tabla 9*Parametros de esfuerzos del ensayo 2*

Descripción	Unidad	Ensayo 2		
		Espécimen 1	Espécimen 2	Espécimen 3
Esfuerzo de confinamiento	Kpa	50	100	200
Esfuerzo desviador	Kpa	63.8	140.5	199.8
Variación presión de poros	Kpa	49	96	145
Esfuerzo principal	Kpa	113.8	240.5	399.8

Tabla 10*Parametros de esfuerzo del ensayo 3*

Descripción	Unidad	Ensayo 3		
		Espécimen 1	Espécimen 2	Espécimen 3
Esfuerzo de confinamiento	Kpa	50	100	200
Esfuerzo desviador	Kpa	100.7	145.8	195.3
Variación presión de poros	Kpa	45.6	84	117.7
Esfuerzo principal	Kpa	150.7	245.8	395.3

Asimismo, se representa gráficamente los resultados de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión totales de cada ensayo representados en las figuras. Por otro lado, se procedió a realizar las gráficas de las envolventes de falla a cada ensayo respectivamente que permiten determinar los parámetros de ángulo de fricción y cohesión efectivos, los cuales se presentan a continuación en las figuras.

Figura 8

Circulos de Mohr – parámetros totales MI

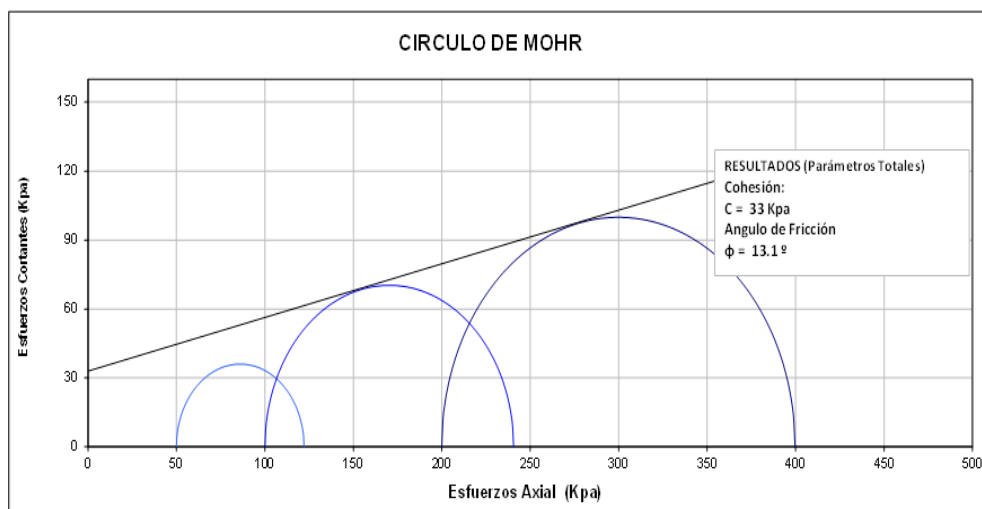


Figura 9

Diagrama P vs Q – parámetros efectivos MI

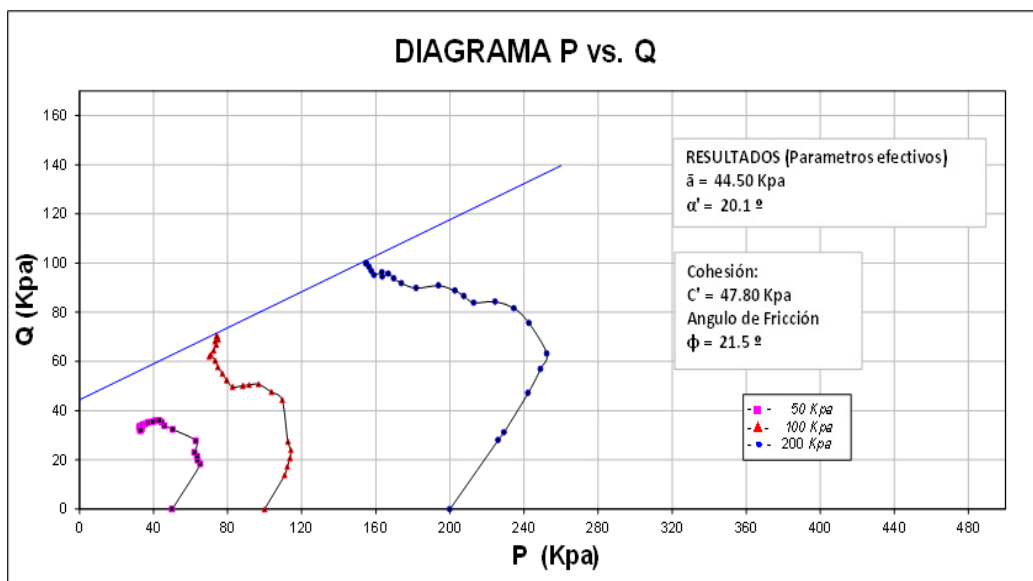


Figura 10

Circulos de Mohr – parámetros totales M2

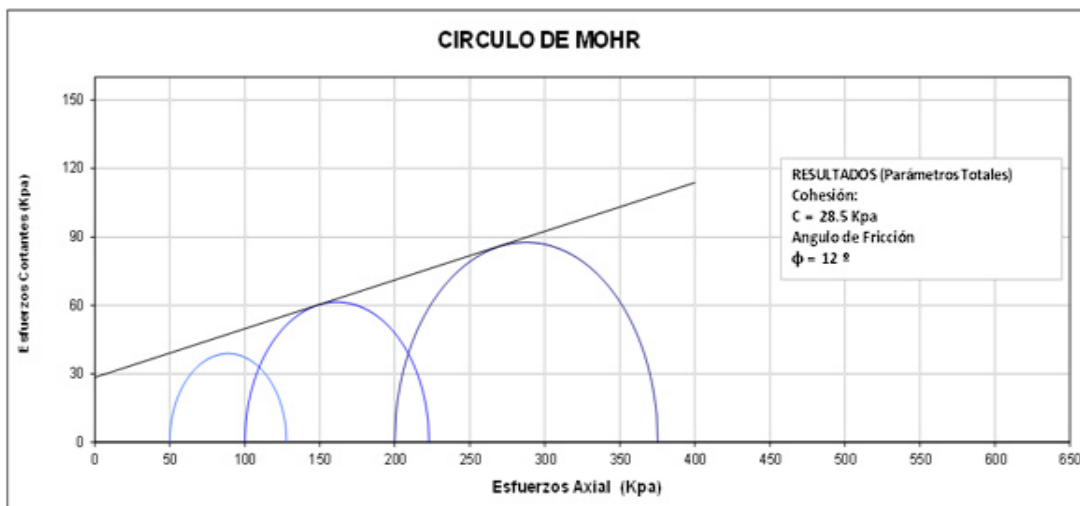


Figura 11

Diagrama P vs Q – parámetros efectivos M2

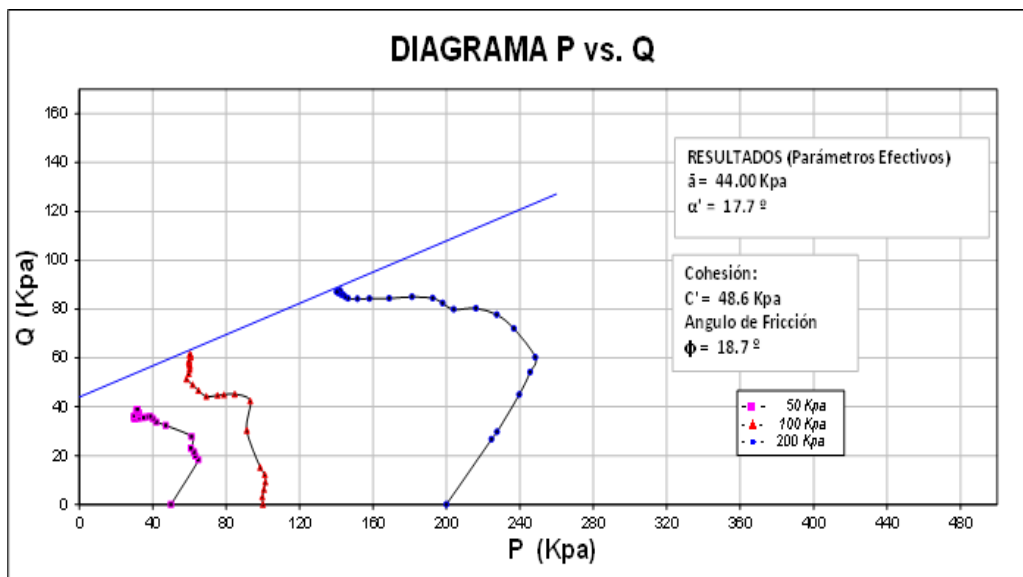


Figura 12

Circulos de Mohr – parámetros totales M3

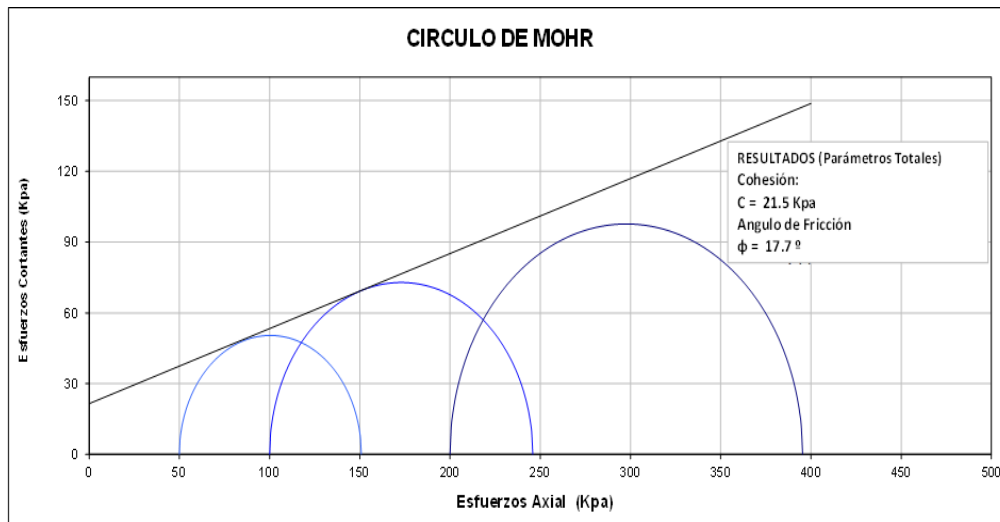
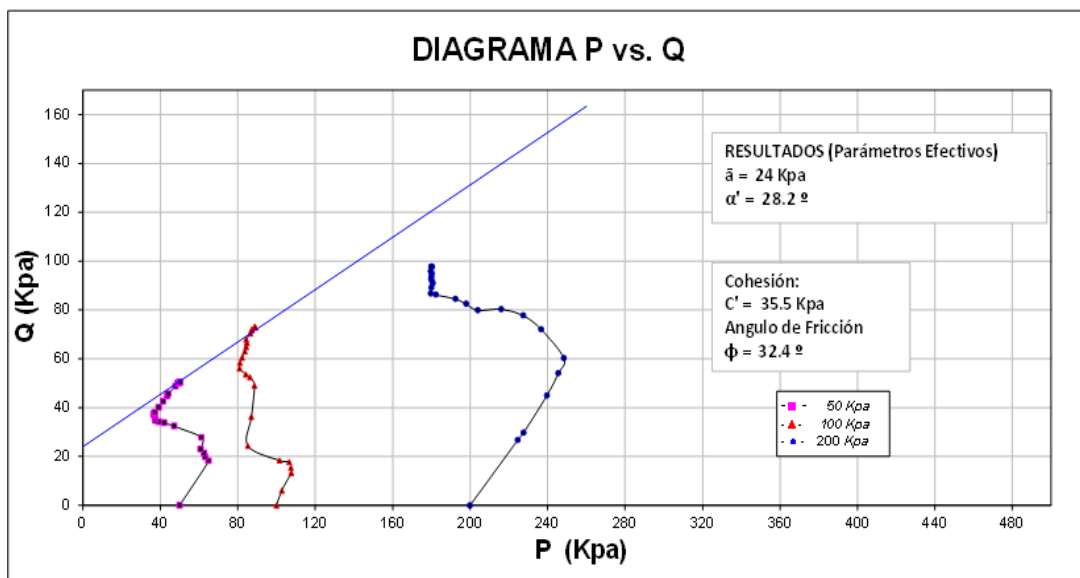


Figura 13

Diagrama P vs Q – parámetros efectivos M3



Luego de realizar los 3 ensayos triaxiales CU mediante las gráficas de envolvente de falla y la gráfica de esfuerzos P vs Q, se pudieron obtener los parámetros de corte (ángulo de fricción y cohesión) totales y efectivos que se presenta en la tabla.

Tabla 11

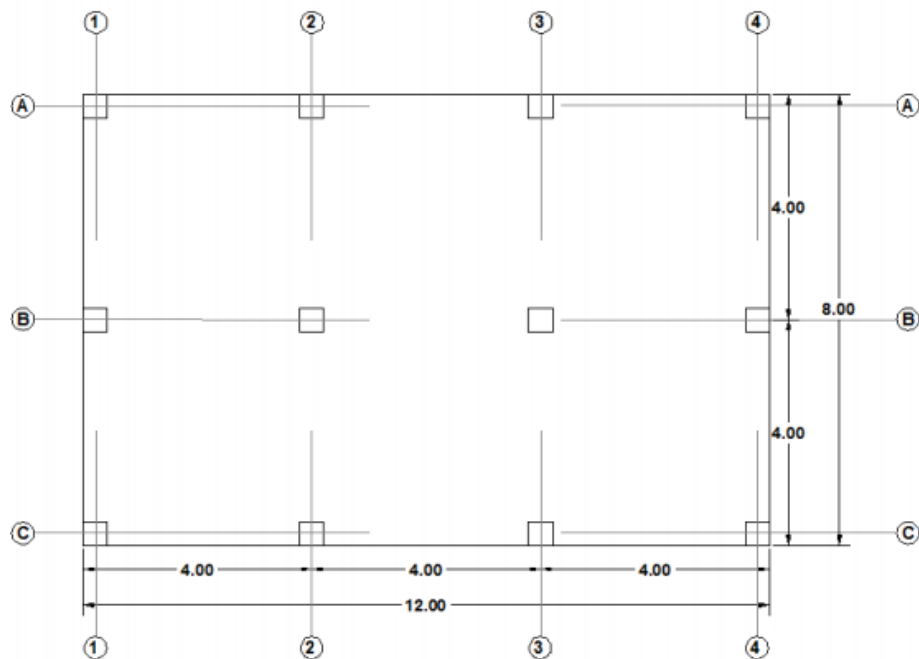
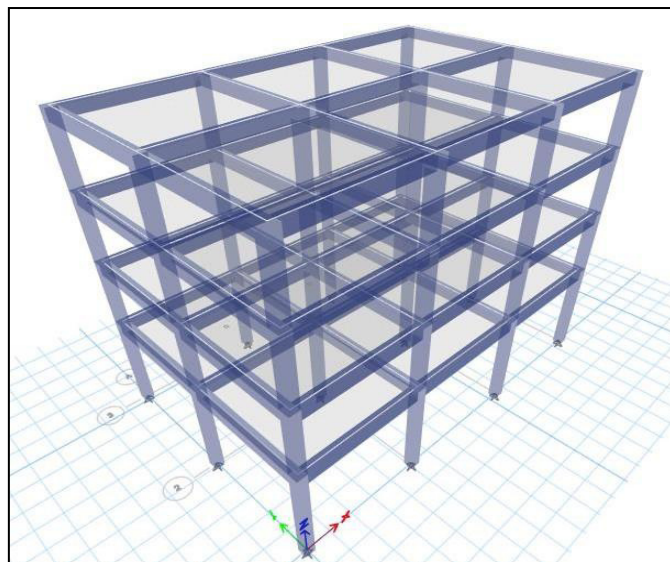
Parametros resistentes al esfuerzo cortante

Descripción	Unidad	Parametros totales			Parametros efectivos		
		Ensayo	Ensayo	Ensayo	Ensayo	Ensayo	Ensayo
		1	2	3	1	2	3
Cohesion	KPa	33	28.5	21.5	47.8	48.6	35.5
Angulo de friccion	°	13.1	12	17.7	21.5	18.7	32.4

Una vez realizado el ensayo triaxial CU se procede a determinar el modulo de elasticidad en base a los esfuerzos efectivos aplicados en los ensayos. El asentamiento inmediato o elástico es causado por la deformación elástica del suelo, la cual se da en suelos arcillosos húmedos y saturados. Para el cálculo del asentamiento inmediato se emplean los métodos Janbu y la teoría de la elasticidad; para los cuales se debe estimar previamente la carga que transmite el cimiento al suelo y conocer las características del suelo obtenidas mediante el ensayo de consolidación, lo que permite obtener el asentamiento total de la estructura ocasionada por la carga transferida hacia el suelo.

Estimación de cargas

Se requieren construir una vivienda de 4 pisos en el distrito de Comas, para lo cual se evalúa la viabilidad de construcción de una vivienda, la cual se presenta en la figura, posterior a ello se efectúa el diseño de un sector tentativo empleando las metodologías de Janbu y colaboradores (1956) y la Teoría de la elasticidad para el cálculo del asentamiento inmediato.

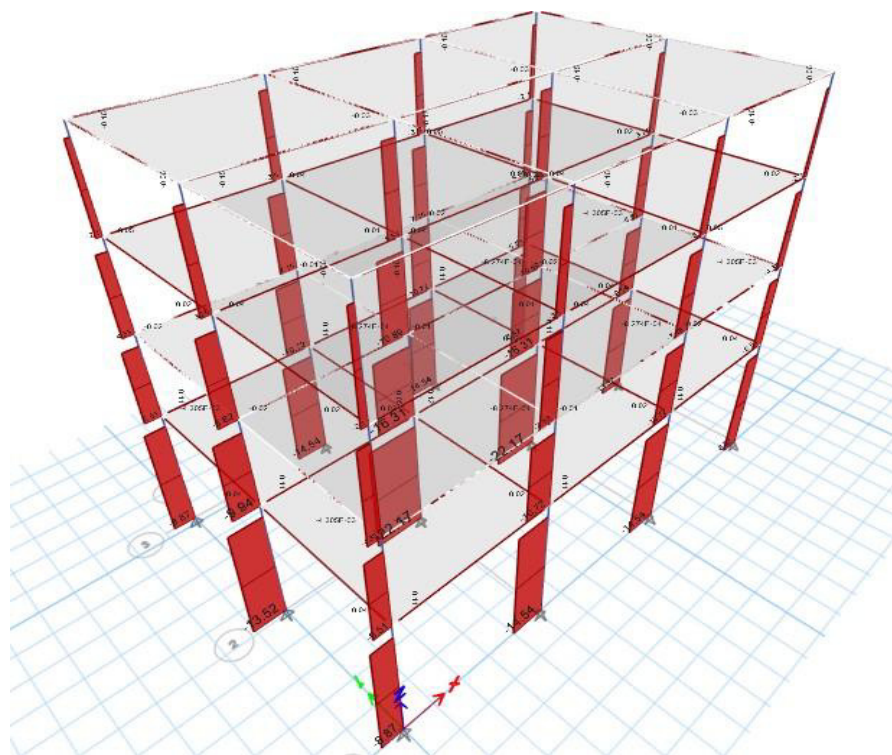
Figura 14*Vista en planta de la estructura***Figura 15***Elevación de la estructura*

Calculo de cargas de columnas

Se realizó la modelación de la estructura mediante el software Etabs, para la estimación de cargas de las columnas de una vivienda de 4 pisos con un área de 96 m^2 . Además, se representa el esquema de las cargas axiales de la estructura de 4 pisos.

Figura 16

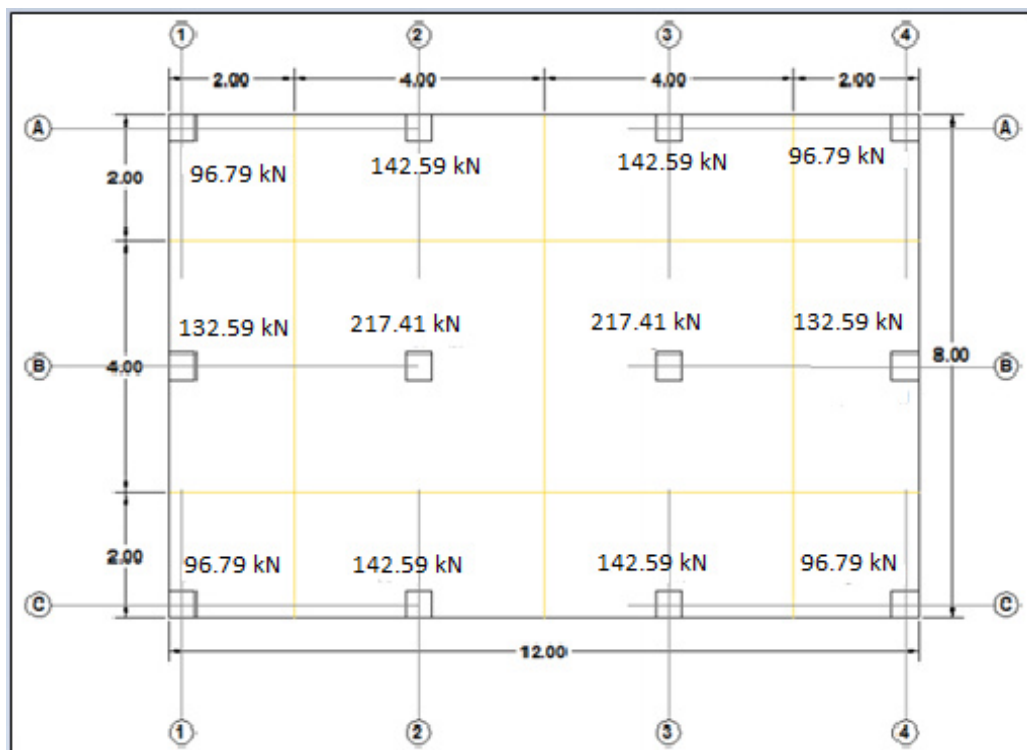
Fuerza axial de las columnas



Luego de realizar la modelación de la vivienda se procede a extraer las cargas axiales de las columnas, las cuales se presentan en la Figura 16, donde se calculará los asentamientos inmediatos de la columna (1) del eje B-B con el eje 2, con una carga de 217.41 kN y la columna (2) del eje C-C con el eje 2, con una carga de 142.59 kN.

Figura 17

Aporte de cargas en la estructura



Una vez determinado la carga de las columnas, se procede a la resolución de los casos propuesto, para el cálculo se propuso una zapata de 1.5 m x 1.5 m que soportara la carga de las columnas 1 y 2, que poseen una carga unitaria de $q = 96.63 \text{ kN/m}^2$ y $q = 63.37 \text{ kN}$.

Cimentación sobre estrato de arcilla

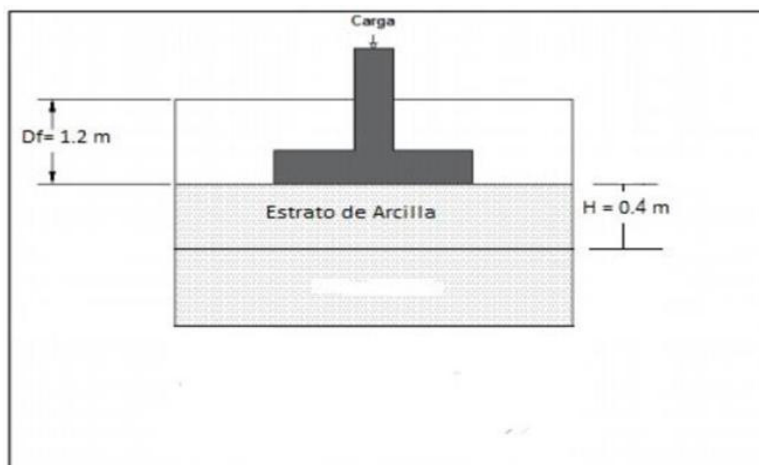
Tabla 12

Resumen de datos de la cimentación

Descripción	Unidad	Datos
Carga axial (1)	kN	217.41
Carga axial (2)	kN	142.59
Carga unitaria (1)	kN/m^2	96.63
Carga unitaria (2)	kN/m^2	63.37
Largo	m	1.5
Ancho	m	1.5
Espesor de arcilla	m	0.4
Profundidad de cimentación	m	1.2
Peso específico	kN/m^3	18.85
Módulo de elasticidad	kPa	7200.24

Figura 18

Esquema de zapata



Cálculo del asentamiento instantáneo

Método de Janbu y colaboradores (1956)

Según Janbu y colaboradores (1956), proponen la siguiente ecuación para la determinación del asentamiento instantáneo, representado en la ecuación.

$S_e = A_1 A_2 q_0 B / E_s$ ecuación de Janbu.

A continuación, se determinarán los asentamientos instantáneos mediante la ecuación 24 de las cargas axiales de las cimentaciones 1 y 2 que se presentan de 217.41 kN y 142.59 kN.

Para los cual se debe tener en cuenta los valores de A_1 y A_2 , los cuales se determinarán mediante las figuras que permiten obtener las cargas axiales de las columnas 1 y 2.

Figura 19

Valores de A_2 para el calculo de asentamiento elástico

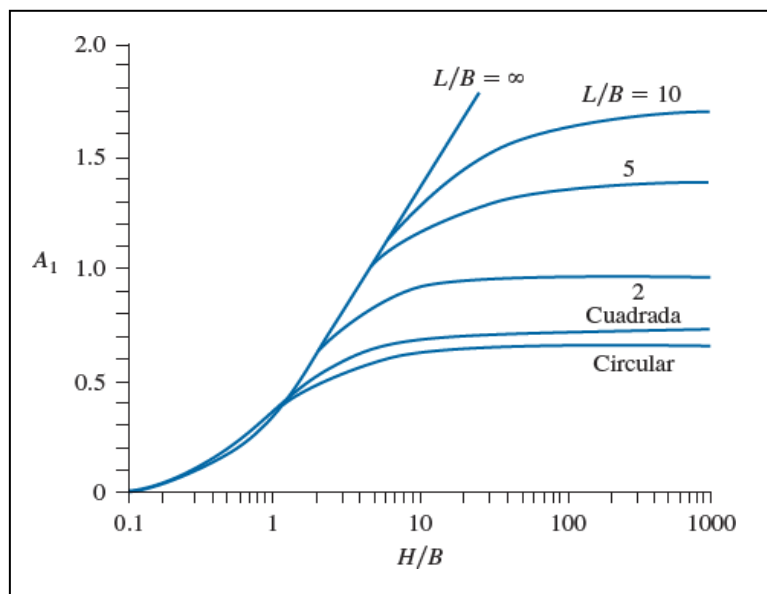
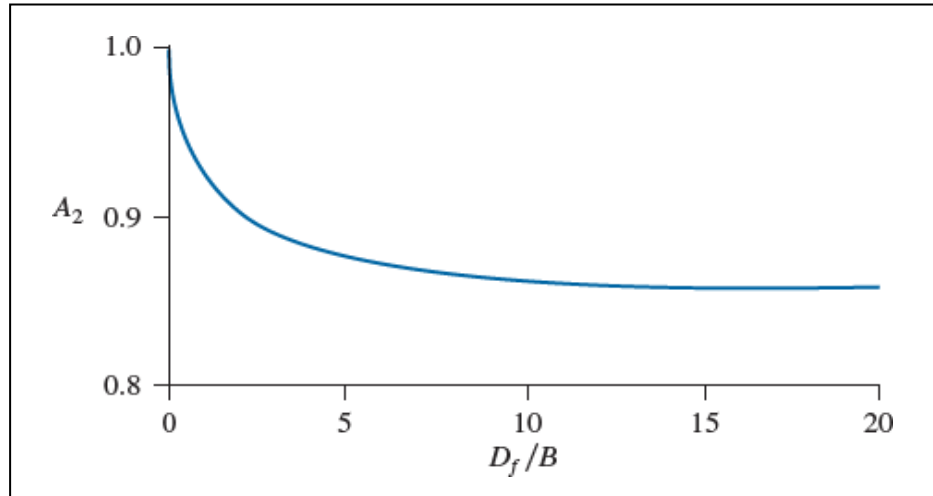


Figura 20

Valores de A_1 para el cálculo de asentamiento elástico



$$\frac{H}{B} = \frac{0.4 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 0.26 \quad A \quad \frac{L}{B} = \frac{1.5 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 1 \quad A_1 = 0.14$$

Reemplazando los valores en la ecuación, para determinar el asentamiento por el método de Janbu, se consideran las cargas unitarias 1 y 2 de 96.63 kN/m^2 y 63.37 kN/m^2 .

Para el cálculo del asentamiento inmediato de la cimentación 1:

$$S_{e1} = 0.14 \times 0.94 * \frac{96.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.5 \text{ m}}{7200.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}$$

$$S_e = 2.65 \text{ mm}$$

Para el cálculo del asentamiento inmediato de la cimentación 2:

$$S_{e2} = 0.14 \times 0.94 * \frac{63.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.5 \text{ m}}{7200.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}$$

$$S_e = 1.74 \text{ mm}$$

Se determinó un asentamiento instantáneo para los dos casos con valor de 2.65 mm en la cimentación 1 y 1.74 mm en la cimentación 2 mediante la aplicación del método de Janbu y colaboradores.

Método basado en la teoría de la elasticidad

Para el cálculo de asentamiento en el centro de la zapata se deberá tener en cuenta los valores de α, m', n' .

$$S_e = q_o(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

$\alpha = 4$ en centro de cimentacion

$$m' = \frac{L}{B} = \frac{1.5 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 1$$

$$n' = \frac{2H}{B} = \frac{2 \times 0.4 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 0.53$$

Donde:

q_o = Presión neta aplicada sobre la cimentación.

μ_s = Coeficiente de Poisson para el suelo (0.3).

E_s = Módulo de elasticidad promedio del suelo debajo de la cimentación medido desde $z = 0$ hasta $z = 4B$.

$B' = B/2$ para el centro de la cimentación.

$B' = B$ para la esquina de la cimentación.

I_s = Factor de forma (Steinbrenner, 1934)

I_f = Factor de Profundidad.

A partir de estas relaciones y en función de las tablas del libro de Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones (Das 2017, p.516). Se determinaron los valores de $F1 = 0.055$ y $F2 = 0.075$ para el cálculo de I_s .

$$\frac{D_f}{B} = \frac{1.2 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 0.8 \quad \text{A} \quad \frac{B}{L} = \frac{1.5 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 1 \quad u_s = 0.3$$

Reemplazando en la ecuación, se determinó el factor de forma:

$$I_s = 0.055 + \frac{1 - 2 \times 0.3}{1 - 0.3} \times 0.075 = 0.098$$

Mientras que para la obtención del factor de profundidad I_f se empleó la tabla, considerando el valor de $\mu_0 = 0.3$ obteniendo un valor de $I_f = 0.695$.

Figura 21

Variación de I_f

μ_s	D_f/B	B/L		
		0.2	0.5	1.0
0.3	0.2	0.95	0.93	0.90
	0.4	0.90	0.86	0.81
	0.6	0.85	0.80	0.74
	1.0	0.78	0.71	0.65
0.4	0.2	0.97	0.96	0.93
	0.4	0.93	0.89	0.85
	0.6	0.89	0.84	0.78
	1.0	0.82	0.75	0.69
0.5	0.2	0.99	0.98	0.96
	0.4	0.95	0.93	0.89
	0.6	0.92	0.87	0.82
	1.0	0.85	0.79	0.72

Finalmente se determinó el asentamiento instantáneo para ambas cimentaciones basadas en la teoría de la elasticidad aplicando la ecuación 25 con cargas unitarias de 96.63 KN/m² y 63.37 KN/m².

Para el cálculo de asentamiento elástico en la cimentación 1:

$$S_{e1} = 96.63 \frac{kN}{m^2} \times (4 \times 0.5 \times 1.5) * \frac{1 - 0.3^2}{7200.24 \frac{kN}{m^2}} \times 0.098 \times 0.695$$

$$S_e = 2.49 \text{ mm}$$

Para el cálculo de asentamiento elástico en la cimentación 2:

$$S_{e2} = 63.37 \frac{kN}{m^2} \times (4 \times 0.5 \times 1.5) * \frac{1 - 0.3^2}{7200.24 \frac{kN}{m^2}} \times 0.098 \times 0.695$$

$$S_e = 1.64 \text{ mm}$$

Obteniendo así valores de asentamiento instantáneo de 2.49 mm y 1.64 mm respectivamente de las cargas unitarias de 96.63 KN/m² y 63.37 KN/m².

Análisis comparativo de asentamiento instantáneo

Se presenta la tabla con un resumen de los resultados obtenidos empleando las metodologías de Janbu y Teoría de la elasticidad para ambas cimentaciones.

Tabla 13

Comparación de asentamiento instantáneos

Método	Unidad	Asentamiento cimentación 1	Asentamiento cimentación 2
Janbu y colaboradores	mm	2.65	1.74
Teoría de la elasticidad	mm	2.49	1.64

Por lo tanto, al término de los cálculos de asentamiento instantáneo aplicando los métodos de Janbu y colaboradores y teoría de la elasticidad al caso propuesto, se observó que los asentamientos determinados en ambos métodos son valores cercanos, por lo tanto, consideraremos

los valores más críticos de ellos siendo este el valor de 2.65 mm para la cimentación 1 y 1.74 mm para la cimentación 2, para nuestros siguientes cálculos.

Método de Skempton-Bjerrum

Este método constituyó el primer paso de avance en el cálculo de los asentamientos edométricos. El cálculo de asentamiento por consolidación de Skempton-Bjerrum consiste en el incremento de la presión de poros del agua (Δu) inmediatamente después de la aplicación de la carga que es igual al incremento del esfuerzo (Δp) a una profundidad de 1.6m, por lo cual para la aplicación de esta metodología tomaremos los datos correspondientes del ensayo triaxial consolidado no drenado (CU).

Para realizar el cálculo del asentamiento, el suelo se divide en subestratos de 0.4 o 1m para alcanzar resultados más reales del suelo. Para lo cual tenemos un espesor de estrato $H_i = 0.4$ m, y diferentes valores de índice de vacíos obtenidos mediante el ensayo triaxial consolidado no drenado (CU) que se muestran en la tabla.

Figura 22

Índice de vacíos

Índice de vacíos (e)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Inicial	0.534	0.556	0.582
Final	0.521	0.542	0.567

Luego procederemos a reemplazar en la ecuación con los datos de índice de vacíos

$$S_{edo} = \frac{(e_o - e_f) \cdot H_o}{1 + e_o}$$

- Para ensayo 1:

$$S_{edo} = \frac{(0.534 - 0.521) \cdot (0.4)}{1 + 0.534}$$

$$S_{edo} = 3.39 \text{ mm}$$

- Para ensayo 2:

$$S_{edo} = \frac{(0.556 - 0.542) \cdot (0.4)}{1 + 0.556}$$

$$S_{edo} = 3.60 \text{ mm}$$

- Para ensayo 3:

$$S_{edo} = \frac{(0.582 - 0.567) \cdot (0.4)}{1 + 0.582}$$

$$S_{edo} = 3.79 \text{ mm}$$

Luego determinaremos el parámetro “A”, el cual representa la presión de poros del ensayo triaxial consolidado no drenado (CU). Los valores obtenidos de A fueron 96%, 95% y 93% respectivamente para cada ensayo, por lo cual, según la tabla 16 se presenta un tipo de arcilla normalmente consolidada.

Tabla 14*Tipos de arcilla*

Tipo de arcilla	A
Arcillas muy sensitivas	>1.0
Arcillas normalmente consolidadas	$0.5-1.0$
Arcillas sobreconsolidadas	$0.25-0.5$
Arcillas fuertementesobreconsolidadas	$0-0.25$

Procedemos a calcular el factor de relación (α) según la tabla, que depende de la relación H/B, siendo H la profundidad de la capa de arcilla y B el ancho de la cimentación.

Tabla 15*Valores de α*

H/B	Zapata circular	Zapata cuadrada
0	1.00	1.00
0.25	0.67	0.74
0.5	0.50	0.53
1	0.38	0.37
2	0.30	0.26
4	0.28	0.20
10	0.26	0.14
	0.25	0

Teniendo los valores de la profundidad de la capa de arcilla de 0.4m. y el ancho de la cimentación de 1.5m, se determinó la relación de estos valores con un resultado de 0.26, por lo cual se procedió a realizar la interpolación de valores entre 0.25-0.5 considerando a una cimentación cuadrada para poder determinar el valor de α , obteniendo así un valor de $\alpha = 0.732$.

Determinar μ , el cual depende del parámetro de presión de poros (A) y factor de relación (α) mediante la ecuación.

$$\mu = A + \alpha \cdot (1 - A)$$

Mediante la ecuación se procede a determinar los diferentes valores del coeficiente μ para cada tipo de ensayo, los cuales son necesarios para el posterior cálculo de asentamiento.

- Ensayo 1

$$A = 96\%$$

$$\alpha = 0.732$$

$$\mu = 0.96 + 0.732 \cdot (1 - 0.96)$$

$$\mu = 0.989$$

- Ensayo 2

$$A = 95\%$$

$$\alpha = 0.732$$

$$\mu = 0.95 + 0.732 \cdot (1 - 0.95)$$

$$\mu = 0.986$$

- Ensayo 3

$$A = 93\%$$

$$\alpha = 0.732$$

$$\mu = 0.93 + 0.732 \cdot (1 - 0.93)$$

$$\mu = 0.981$$

Se procede a calcular el asentamiento real de consolidación que está dado por la multiplicación del asentamiento por consolidación y el coeficiente μ . Reemplazando valores en la ecuación se determina los asentamientos correspondientes.

Donde:

$$\mu = 0.989$$

$$A = 96\%$$

$$S_{c1} = 3.39 \times 0.989$$

$$S_{c1} = 3.35 \text{ mm}$$

$$\mu = 0.986$$

$$A = 95\%$$

$$S_{c2} = 3.60 \times 0.986$$

$$S_{c2} = 3.55 \text{ mm}$$

$$\mu = 0.981$$

$$A = 93\%$$

$$S_{c3} = 3.79 \times 0.959$$

$$S_{c3} = 3.63 \text{ mm}$$

Aplicando el método Skempton-Bjerrum para la determinación del asentamiento real fue necesario realizar el ensayo de consolidación unidimensional para determinar el asentamiento edométrico y el factor de corrección, así como la ejecución del ensayo triaxial consolidado no drenado (CU) que nos otorga los valores de parámetro de presión de poros “A”, obteniendo finalmente los asentamientos reales por el método de Skempton-Bjerrum

Tabla 16

Asentamiento Skempton-Bjerrum

Ensayos	Presión de poros (%)	Asentamiento (mm)
1	96	3.35
2	95	3.55
3	93	3.63

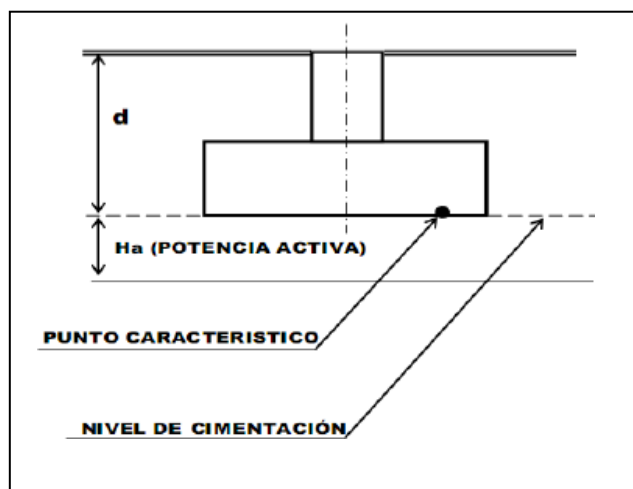
Método sumatorio de capas

El método de sumatoria de capas se basa en la Norma Cubana de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, el cual se propone para el cálculo de los asentamientos. Este método se puede utilizar para cualquier propiedad del suelo y el suelo a trabajar es una arcilla arenosa, se analizará mediante un promedio pesado utilizando tres puntos del estrato de 0.4 m. En primer lugar, debe definirse la potencia activa de la cimentación de 1.5 x 1.5m, y dividir en subestratos el suelo, mientras el espesor de estos sea más pequeño, se logrará una mayor exactitud en los cálculos. Se considera potencia activa el espesor de suelo por debajo del nivel de solera que al ser comprimido para las presiones que el cemento transmite, estas generan deformaciones apreciables. Donde:

σ' : Incremento de la presión vertical

Figura 23

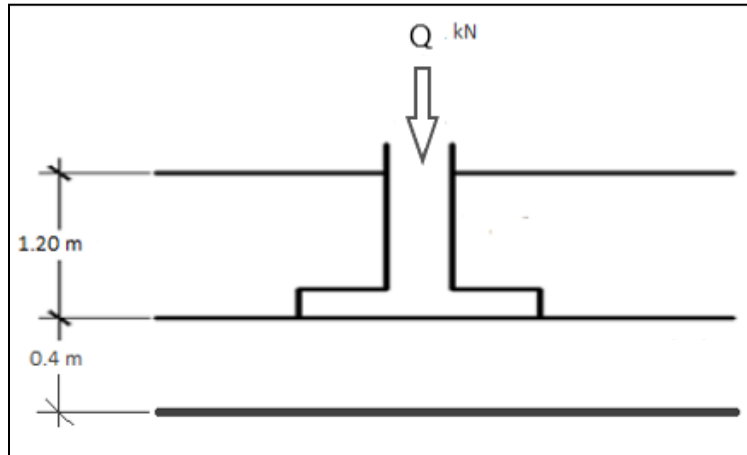
Determinación de la potencia activa



Determinar las fuerzas de la presión neta (P'), así como el factor de influencia (Jz) según lo establecido (Quevedo 1994).

Figura 24

Determinación de la presión neta



Donde:

Carga vertical: $Q_1 = 217.41$ kN y $Q_2 = 142.59$ kN

Dimensión de la cimentación: $b = l = 1.5$ m

Para el cálculo de la presión neta P' se determinará mediante la aplicación de la siguiente ecuación en ambas cimentaciones.

$$P' = \frac{Q + 20 \cdot b \cdot l \cdot d}{b \cdot l}$$

Reemplazando en la ecuación para la cimentación 1:

$$P_1' = \frac{217.41 + 20 \cdot 1.5 \cdot 1.5 \cdot 1.2}{1.5 \cdot 1.5} = 120.62 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Reemplazando en la ecuación para la cimentación 2:

$$P2' = \frac{142.59 + 20 \cdot 1.5 \cdot 1.5 \cdot 1.2}{1.5 \cdot 1.5} = 87.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Luego se procede a calcular el incremento de presiones verticales efectivos (σ') mediante la ecuación que se determinara en los puntos dentro de la masa de estrato que muestran verticalmente los puntos de análisis.

Figura 25

Línea de puntos de influencia del estrato

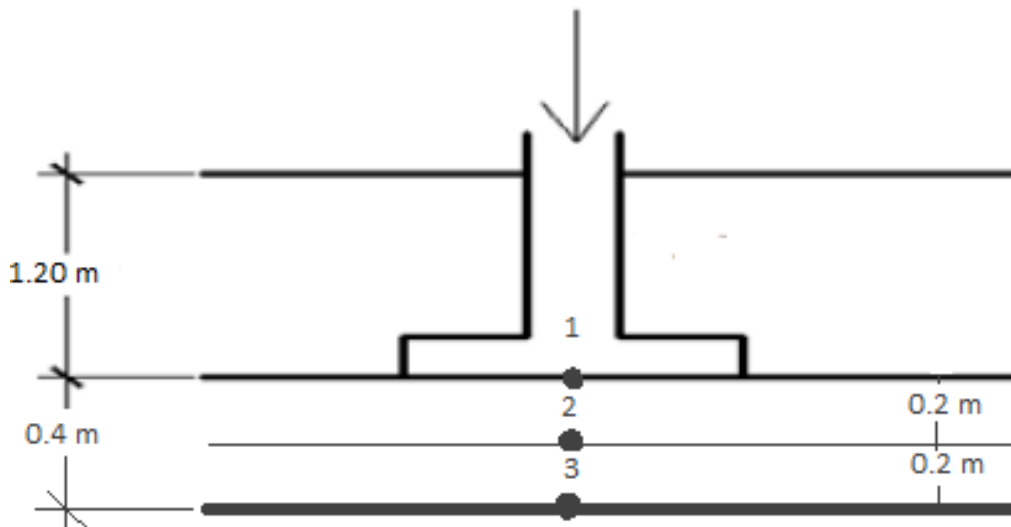


Figura 26

Factor de influencia J_z para el punto característico

Z / b	l / b						
	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	10.0	10.0
0.05	0.9811	0.9819	0.9884	0.9891	0.9895	0.9897	0.9896
0.10	0.8984	0.9280	0.9372	0.9425	0.9443	0.9447	0.9447
0.15	0.7898	0.8351	0.8623	0.8755	0.8824	0.8830	0.8839
0.20	0.6947	0.7570	0.7883	0.8127	0.8335	0.8262	0.8264
0.30	0.5566	0.6213	0.6628	0.7453	0.7301	0.7376	0.7387
0.50	0.4088	0.4622	0.5032	0.5550	0.6032	0.6261	0.6299
0.70	0.3249	0.3706	0.4041	0.4527	0.5066	0.5473	0.5552
1.00	0.2342	0.2786	0.3078	0.3488	0.4008	0.4504	0.4674
1.50	0.1438	0.1830	0.2098	0.2387	0.2779	0.3303	0.3604
2.00	0.0939	0.1279	0.1475	0.1749	0.2037	0.2479	0.2883
3.00	0.0473	0.0672	0.0823	0.1043	0.1280	0.1575	0.2025
5.00	0.0183	0.0268	0.0345	0.0502	0.0646	0.0838	0.1251
7.00	0.0095	0.0141	0.0185	0.0264	0.0381	0.0541	0.0905
10.00	0.0045	0.0070	0.0093	0.0135	0.0210	0.0228	0.0633
20.00	0.0022	0.0015	0.0024	0.0035	0.0058	0.0105	0.0318

Para el punto 2:

$$\frac{l}{b} = \frac{1.5 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 1 \quad \text{A} \quad \frac{z}{b} = \frac{0.2 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 0.133$$

Entonces, para el punto 2 se obtuvo un valor de influencia J_z de 0.8267.

Para el punto 3:

$$\frac{l}{b} = \frac{1.5 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 1 \quad \text{A} \quad \frac{z}{b} = \frac{0.4 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 0.267$$

Por otro lado, para el punto 3, se obtuvo un valor de influencia J_z de 0.6021.

Cálculo de los asientos absolutos en cada punto característico de la base, para lo cuales necesario conocer los parámetros que requiere la ecuación.

$$S_i = \sum_{i=1}^{NE} \frac{Hi}{6} \cdot (\varepsilon_{is} + 4\varepsilon_{ic} + \varepsilon_{il}) .$$

Asimismo, para determinar el asentamiento absoluto se necesita calcular las deformaciones unitarias en los puntos superior, central e inferior del estrato de 0.4 m. que se determinara mediante la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\sigma'_{zp}}{E}$$

Para el cálculo del incremento de tensión vertical efectivo en los 3 puntos de análisis, se deben considerar los valores del factor de influencia y presión neta, para poder reemplazarlos en la ecuación 30 y se detalla en las tablas ambas cimentaciones respectivamente.

Figura 27

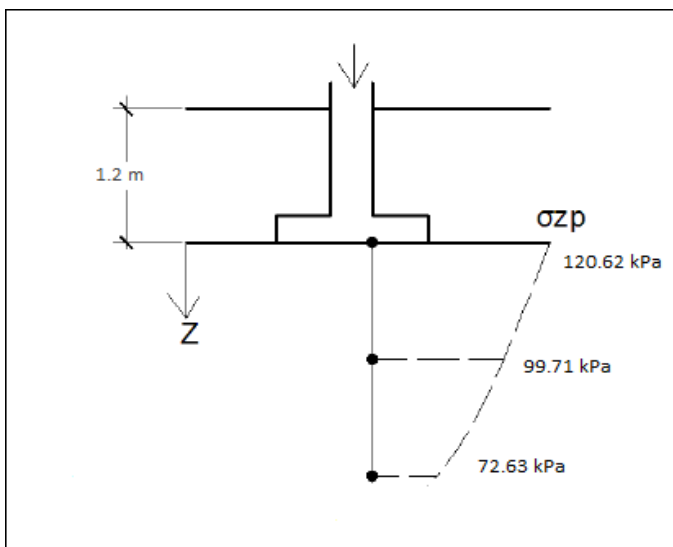
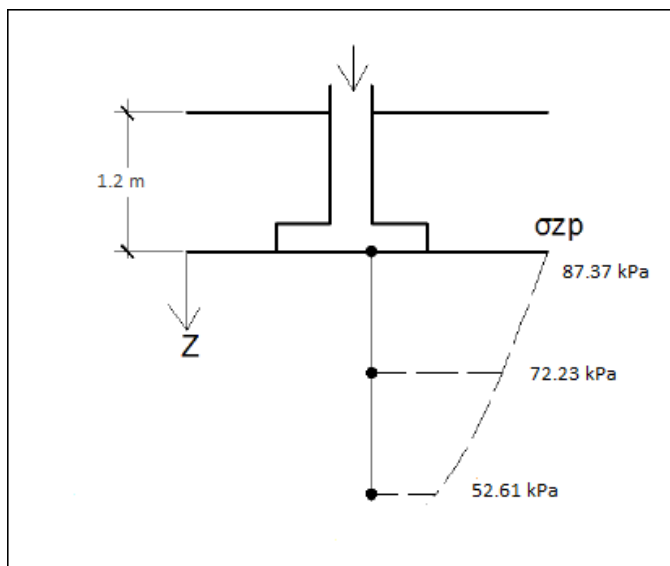
Valores de tensiones netas de los puntos de cimentación 1

Punto	z (m)	z/b	Jz	P'	σ_{zp}^{\wedge} (kPa)
1	0	0	1	120.62	120.62
2	0.2	0.133	0.8267		99.72
3	0.4	0.267	0.6021		72.63

Figura 28

Valores de tensiones netas de los puntos de cimentación 2

Punto	z (m)	z/b	Jz	P'	σ_{zp}^{\wedge} (kPa)
1	0	0	1	87.37	87.37
2	0.2	0.133	0.8267		72.23
3	0.4	0.267	0.6021		52.61

Figura 29*Distribucion de tensiones netas en cimentación 1***Figura 30***Distribucion de tensiones netas en cimentación 2*

Luego de obtener los valores del incremento de presión vertical, se procede a calcular las deformaciones unitarias reemplazando en la ecuación y se presentan los resultados en las siguientes tablas con los 3 puntos de análisis.

Figura 31*Asentamiento absoluto de las deformaciones unitarias 1*

Estrato	Hi (m)	E (kPa)	z (m)	σ_{zp}' (kPa)	ϵ_{is}	ϵ_{ic}	ϵ_{il}
1	0.4	7200.24	0	120.62	0.0167	-	-
			0.2	99.72	-	0.0138	-
			0.4	72.63	-	-	0.0101

Una vez determinados las deformaciones unitarias en cada punto de análisis, se procede a reemplazar los valores en la ecuación para el cálculo del asentamiento absoluto de la cimentación.

$$S_1 = \frac{0.4m}{6} * (0.0167 + 4(0.0138) + 0.0101)$$

$$S_1 = 5.47 \text{ mm}$$

Para el caso de la cimentación 1 se obtuvo un asentamiento absoluto de $S_1=5.47$ mm.

Figura 32*Asentamiento absoluto de las deformaciones unitarias 2*

Estrato	Hi (m)	E (kPa)	z (m)	σ_{zp}' (kPa)	ϵ_{is}	ϵ_{ic}	ϵ_{il}
1	0.4	7200.24	0	87.37	0.0121	-	-
			0.2	72.23	-	0.0100	-
			0.4	52.61	-	-	0.0073

Asimismo, se determinaron las deformaciones unitarias en cada punto de análisis de la cimentación 2 y se procede a reemplazar los valores en la ecuación 31 para el cálculo del asentamiento absoluto.

$$S_2 = \frac{0.4m}{6} \cdot (0.0121 + 4(0.0100) + 0.0073)$$

$$S_2 = 3.96 \text{ mm}$$

Por lo tanto, para el caso de la cimentación 2 se obtuvo un asentamiento absoluto de $S_2=3.96$ mm.

Análisis comparativo de asentamiento total

Para la determinación del asentamiento total, se debe considerar la sumatoria del asentamiento inmediato y asentamiento por consolidación expresados en la ecuación, para lo cual se tomarán en cuenta los asentamientos determinados en las metodologías de Skempton-Bjerrum, presentándose a continuación:

$$S_T = S_i + S_c$$

Cimentación 1:

$$S_{T1} = S_{i1} + S_{c1}$$

$$S_{T1} = 2.65 + 3.63 = 6.28 \text{ mm}$$

Cimentación 2:

$$S_{T2} = S_{i2} + S_{c2}$$

$$S_{T2} = 1.74 + 3.63 = 5.37 \text{ mm}$$

Tabla 17*Asentamientos totales*

Método	Unidad	Asentamiento cimentación 1	Asentamiento cimentación 2
$S_i + S_{Skempton-Bjerrum}$	mm	6.28	5.37

Luego se procede en realizar en asentamiento total que se considerara la sumatoria del asentamiento inmediato y el asentamiento por consolidación, el cual se estimara con el método de Sumatoria de Capas, que se representara en la ecuación.

Tabla 18*Asentamientos totales de capas*

Método	Unidad	Asentamiento cimentación 1	Asentamiento cimentación 2
$S_i + S_{Sumatorias\ de\ capas}$	mm	8.12	5.70

Tabla 19*Asentamientos por consolidación*

Método	Unidad	Asentamiento cimentación 1	Asentamiento cimentación 2
Skempton-Bjerrum	mm	6.28	5.37
Sumatoria de capas	mm	8.12	5.70

Observamos que al término del cálculo de asentamiento por consolidación por el método de Skempton-Bjerrum en las dos cimentaciones se tiene un valor de 6.28mm y 5.37 mm, además se realizó el asentamiento total por el método de Sumatoria de Capas en las mismas cimentaciones con un valor de 8.12mm y 5.70 mm.

Al realizar las comparaciones de los asentamientos totales, se tomaron los resultados obtenidos de ensayos de laboratorio como el ensayo de consolidación adimensional y el triaxial consolidado no drenado (CU). Asimismo, se observa que el asentamiento por el método de Sumatoria de capas es mayor al método de Skempton-Bjerrum, por lo cual se concluye que el asentamiento por consolidación aplicando la metodología Skempton- Bjerrum es más viable, ya que nos otorga valores más conservadores.

Distorsión angular

Para el cálculo de la distorsión angular se empleará los asentamientos totales por el método de Sumatoria de Capas por ser el más crítico que se detallará a continuación en la ecuación.

$$\delta = \delta S_1 - \delta S_2$$

$$\delta = 8.12 - 5.70 = 2.42 \text{ mm}$$

Obteniendo así, un asentamiento diferencial de 2.42mm.

Luego se procede a reemplazar la ecuación para el cálculo de la distorsión angular de las cimentaciones.

$$\alpha = \frac{2.42}{4000} = 0.000605$$

Figura 33*Distorsión angular*

TABLA 8 DISTORSIÓN ANGULAR = α	
$\alpha = \delta/L$	DESCRIPCIÓN
1/150	Límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales.
1/250	Límite en que la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígidos puede ser visible.
1/300	Límite en que se debe esperar dificultades con puentes grúas.
1/300	Límite en que se debe esperar las primeras grietas en paredes.
1/500	Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas.
1/500	Límite para cimentaciones rígidas circulares o para anillos de cimentación de estructuras rígidas, altas y esbeltas.
1/650	Límite para edificios rígidos de concreto cimentados sobre un solado con espesor aproximado de 1,20 m.
1/750	Límite donde se esperan dificultades en maquinaria sensible a asentamientos.

Una vez determinado la distorsión angular con un valor de 0.000605, se puede comprobar según la tabla que el valor obtenido se encuentra dentro de los límites permitidos en base a la Norma Técnica peruana E050 con valores de 1/300 y 1/150.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se evaluó el asentamiento por consolidación del terreno arcilloso a través de los métodos de Skempton-Bjerrum de acuerdo al RNE050. Observamos que al término del cálculo de asentamiento por consolidación mediante el método de Skempton-Bjerrum en las dos cimentaciones se obtuvo un valor de 6.28 mm y 5.37 mm, respectivamente. Además, se llevó a cabo el cálculo del asentamiento total utilizando el método de Sumatoria de Capas en las mismas cimentaciones, arrojando valores de 8.12 mm y 5.70 mm. Es importante resaltar que la discrepancia entre los resultados de ambos métodos sugiere variaciones en la compresibilidad y el comportamiento del suelo bajo carga, lo cual debe ser considerado en el diseño y evaluación de la estabilidad de las cimentaciones. La diferencia entre los asentamientos calculados por los dos métodos también destaca la necesidad de una evaluación integral que considere tanto la consolidación primaria como secundaria para una previsión más precisa de los asentamientos a largo plazo. Esto se puede constatar con Alvarado & Palomino (2015) en su tesis “Determinación de trabajos de preconsolidación para el cálculo de hundimiento de suelos de grano fino en la región Sagari-Cusco” Los resultados de las pruebas de consolidación mostraron que esta capa normalmente se consolida. De manera similar, a partir de las 04 muestras, observamos que el comportamiento y las características de todas las muestras fueron similares en toda el área de estudio. El informe concluye que el área de levantamiento tiene suelos homogéneos y también confirma que el terreno de levantamiento no ha sido sometido a mayores cargas que la situación actual. Con lo anteriormente mencionado se puede decir que la hipótesis general es correcta.

Se reconocieron los asentamientos admisibles por consolidación primaria de acuerdo con su índice de actividad para poder construir sobre las excavaciones en el terreno. Se obtuvo los siguientes resultados reemplazando los valores en la ecuación para el cálculo del asentamiento por el método de Janbu en las que se consideraron las cargas unitarias 1 y 2 de 96.63 kN/m^2 y 63.37 kN/m^2 , respectivamente. Se determinó un asentamiento instantáneo para ambos casos, resultando en un valor de 2.65 mm en la cimentación 1 y 1.74 mm en la cimentación 2, mediante la aplicación del método de Janbu y colaboradores. Este método, reconocido por su precisión en la evaluación de asentamientos, permite obtener resultados fiables que son esenciales para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras. Esto se puede constatar con Según Pilcomamani (2020) en su tesis “Análisis geotécnico de cimentaciones en suelo blando para infraestructura del servicio de seguridad ciudadana en Puno” Los resultados mostraron la presencia de suelos finos, predominantemente arcillas con una clasificación SUCS de 'CH', indicando su alta plasticidad. Además, se generaron parámetros geomecánicos detallados, incluyendo curvas de consolidación y cálculos de asentamiento, los cuales son cruciales para evaluar la capacidad de carga y el comportamiento a largo plazo del suelo. En resumen, la identificación del suelo arcilloso blando y sus características geomecánicas influye significativamente en el diseño de los cimientos de las estructuras propuestas en la zona de Huancane, ya que estos suelos pueden afectar la estabilidad y la integridad estructural, requiriendo soluciones de ingeniería específicas para mitigar los potenciales problemas de asentamiento y consolidación que podrían comprometer la seguridad y durabilidad de las construcciones. Con lo anteriormente se puede decir que la primera hipótesis específica es correcta.

Se determino adecuadamente el asentamiento por consolidación el cual se pudo validar con el método de Skempton Bjerrum para la construcción de excavaciones. Se observó que al término del cálculo de asentamiento por consolidación utilizando el método de Skempton-Bjerrum en las dos cimentaciones, se obtuvieron valores de 6.28 mm y 5.37 mm. Además, se realizó el cálculo de asentamiento total mediante el método de Sumatoria de Capas en las mismas cimentaciones, obteniéndose valores de 8.12 mm y 5.70 mm. Para realizar estas comparaciones, se tomaron en cuenta los resultados obtenidos de diversos ensayos de laboratorio, como el ensayo de consolidación unidimensional y el triaxial consolidado no drenado (CU). Al analizar los resultados, se observa que el asentamiento calculado mediante el método de Sumatoria de Capas es mayor que el calculado por el método de Skempton-Bjerrum. Esto lleva a la conclusión de que el método de Skempton-Bjerrum proporciona valores más conservadores, haciendo que el cálculo del asentamiento por consolidación mediante esta metodología sea más viable y seguro para el diseño de cimentaciones. Para lo cual se empleó ecuaciones de consolidación en el tiempo y los ensayos de centrifugación que nos permite representar el comportamiento tensión-deformación del suelo con precisión dentro de un modelo reducido. Frente a lo mencionado, se llevaron a cabo las pruebas de centrifugación con dos experimentos (OA2 y OA3) en los que la reconsolidación se modeló en capas de arena licuada con el propósito de examinar el comportamiento no drenado de la arena dentro de una cámara frente al de un campo libre de la columna de suelo. Asimismo, se empleó la ecuación de consolidación para las estimaciones del exceso de generación de presión de poros al inicio de la licuefacción. Con lo anteriormente mencionado se puede decir que la segunda hipótesis específica es correcta.

Se evaluó el asentamiento por consolidación según Skempton Bjerrum, deteniendo el rango de aceptabilidad de esto según el RNE05 para poder construir sobre estos suelos, con lo cual se obtuvo los siguientes resultados: Observamos que al término del cálculo de asentamiento por consolidación utilizando el método de Skempton-Bjerrum en las dos cimentaciones se obtuvieron valores de 6.28 mm y 5.37 mm. Además, se realizó el cálculo del asentamiento total mediante el método de Sumatoria de Capas en las mismas cimentaciones, arrojando valores de 8.12 mm y 5.70 mm. Al comparar los asentamientos totales, se consideraron los resultados obtenidos de ensayos de laboratorio, como el ensayo de consolidación adimensional y el triaxial consolidado no drenado (CU). Asimismo, se observa que el asentamiento calculado por el método de Sumatoria de Capas es mayor que el obtenido por el método de Skempton-Bjerrum, lo que nos lleva a concluir que el asentamiento por consolidación aplicando la metodología de Skempton-Bjerrum es más viable, ya que ofrece valores más conservadores. Para el cálculo de la distorsión angular se emplearán los asentamientos totales obtenidos por el método de Sumatoria de Capas, por ser el más crítico. Así, se obtuvo un asentamiento diferencial de 2.42 mm. Luego, se procedió a reemplazar los valores en la ecuación correspondiente para calcular la distorsión angular de las cimentaciones. Una vez determinada, la distorsión angular resultó en un valor de 0.000605, el cual se encuentra dentro de los límites permitidos según la Norma Técnica Peruana E050, que establece valores de 1/300 y 1/150. Las pruebas de consolidación mostraron que las curvas de deformación dependientes del tiempo de sedimentos naturales y reconstituidos se comportan de manera similar. La deformación volumétrica (ϵ_v) se calculó usando la expresión $(e_0 - e_t) / (1 + e_0) \times 100\%$. Con lo anteriormente se puede decir que la tercera hipótesis específica es correcta.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se evaluó el asentamiento por consolidación en suelos arcilloso utilizando el método de Skempton-Bjerrum de acuerdo con el RNE050. Se obtuvo que el asentamiento por consolidación utilizando el método de Skempton-Bjerrum en las dos cimentaciones resultó en valores de 6.28 mm y 5.37 mm. Además, el cálculo del asentamiento total utilizando el método de Sumatoria de Capas arrojó valores de 8.12 mm y 5.70 mm. La discrepancia entre los resultados de ambos métodos indica variaciones en la compresibilidad y el comportamiento del suelo bajo carga, lo cual es crucial para el diseño y evaluación de la estabilidad de las cimentaciones.
- 6.2. Se identificaron y caracterizaron los terrenos arcillosos capaces de soportar asentamientos admisibles por consolidación, aplicando el método de Janbu y colaboradores. Considerando las cargas unitarias de 96.63 kN/m² y 63.37 kN/m², se obtuvieron asentamientos instantáneos de 2.65 mm y 1.74 mm para las cimentaciones 1 y 2, respectivamente. El método de Janbu permitió estimar de manera precisa los asentamientos inmediatos, siendo una herramienta confiable para garantizar la estabilidad estructural y verificar que los asentamientos se mantengan dentro de los límites permisibles establecidos por la RNE E.050.
- 6.3. Se obtuvieron adecuadamente los resultados de los valores de asentamiento de consolidación en suelos arcillosos, validando los resultados obtenidos por el método de Skempton-Bjerrum. En las dos cimentaciones, se obtuvieron asentamientos de 6.28 mm y 5.37 mm usando el método de Skempton-Bjerrum. Utilizando el método de Sumatoria de Capas, los asentamientos fueron de 8.12 mm y 5.70 mm. Para estas comparaciones, se usaron resultados de ensayos de laboratorio como el de consolidación adimensional y el triaxial consolidado no

drenado (CU). Los resultados indican que el método de Sumatoria de Capas calcula un asentamiento mayor que el método de Skempton-Bjerrum.

- 6.4. Se evaluó el asentamiento por consolidación para determinar el rango de aceptabilidad de estos de acuerdo con el RNE050 aplicando el método de Skempton Bjerrum. Se realizó el cálculo de asentamiento por consolidación usando el método de Skempton-Bjerrum en dos cimentaciones, obteniéndose valores de 6.28 mm y 5.37 mm. También se calculó el asentamiento total mediante el método de Sumatoria de Capas, resultando en valores de 8.12 mm y 5.70 mm. Al comparar los asentamientos totales y considerando ensayos de laboratorio (como el de consolidación adimensional y el triaxial consolidado no drenado - CU), se observó que el método de Sumatoria de Capas da asentamientos mayores que el método de Skempton-Bjerrum. Se concluye que la metodología de Skempton-Bjerrum también es viable.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Los asentamientos por consolidación primaria en suelos arcillosos son esenciales para dimensionar correctamente las cimentaciones superficiales. Por ello, se recomienda que las instituciones públicas y privadas demanden la inclusión de estos cálculos en la memoria de cálculo para tales diseños.
- 7.2. Para calcular la capacidad admisible de cimentaciones superficiales en estratos arcillosos, es esencial evaluar el historial de esfuerzos del estrato de fundación. Esto permite elegir entre dos parámetros de los índices de compresibilidad. La confiabilidad de los valores del asentamiento por consolidación primaria dependerá de los resultados obtenidos.
- 7.3. Se sugiere complementar los estudios de mecánica de suelos con un ensayo de permeabilidad para determinar si el estrato de fundación puede alcanzar un grado de saturación total, dado que los suelos arcillosos en la ciudad de Pucallpa presentan un coeficiente de permeabilidad muy elevado.
- 7.4. Evaluar el asentamiento por consolidación primaria utilizando métodos alternativos a los presentados en la investigación permitirá discernir y seleccionar un valor que se ajuste mejor a las condiciones reales del suelo de fundación.

VIII. REFERENCIAS

- Adamidis, O., & Madabhushi, S. P. G. (2016). *Deformation mechanisms under shallow foundations during earthquake-induced liquefaction*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 84, 204–217.
- Alvarado, L. y Palomino, S. (2015). *Determinación del esfuerzo de preconsolidación para el cálculo de asentamiento de suelos finos de la zona de Sagari – Cuzco*. Universidad Ricardo Palma.
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. 6ta. Caracas: Episteme, pág. 138. ISBN: 980-07-8529-9.
- ASTM D4767-11 (2011). *Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003. doi:10.1520/D4767-11.
- Braja, D. (2017) *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Cengage learning. ISBN: 9706860614.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. México: PATRIA, ISBN: 978-607-744-748-1.
- Chai, J. C., & Carter, J. P. (2018). *Analysis of long-term settlement behavior of soft clay under embankments*. *Computers and Geotechnics*, 101, 173–186.
- Cruz, E., & Mamani, A. (2019). *Análisis de asentamientos diferenciales en cimentaciones de edificaciones sobre suelos blandos en la ciudad de Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
- Guerriero, V (2022). *One Century since Formulation of the Effective Stress Principle, the Consolidation Theory and Fluid–Porous-Solid Interaction Models*. *Geotechnics*. doi:961-988

- Heng, W.; Ling, D.; Xia, D.; Zhen, D. (2018) *Evaluation of vertical superimposed stress in subsoil induced by embankment loads*. Volumen 19, doi: 1943-5622.0001325.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Bautista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: s.n., 2014. ISBN: 968-422-931-3.
- Huamán, R. (2021). *Evaluación del asentamiento por consolidación en suelos arcillosos para el diseño de cimentaciones superficiales en la ciudad de Trujillo*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Leroueil, S., & Hight, D. W. (2003). *Behaviour and properties of natural soft clays*. In *Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils* (Vol. 1, pp. 29–254). Balkema.
- Mesri, G., & Castro, A. (1987). *Coefficient of secondary compression from oedometer tests on clays*. *Geotechnique*, 37(3), 315–320.
- Peck, R., Hanson, W., Thornburn, T. (2002) *Ingeniería de cimentaciones*, España: Limusa.
- Skempton, A. W., y Bjerrum, L. (1957). *A Contribution to the Settlement Analysis of Foundations on Clay*. *Géotechnique*.
- Tan, S. A., Leong, E. C., Lee, S. L., & Karunaratne, G. P. (2014). *Field evaluation of consolidation settlement in soft clay ground improvement projects*. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 45(2), 26–38.
- Useche, M. ; Wileidys, A. ; Queipo, B. ; Perozo, E. (2019). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos Cualitativos*. 1era. 2019., pág. 87. ISBN: 978-956-6037-04-0.
- Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta*. ISBN: 978-612-302-878-7.
- Vargas, C. (2018). *Evaluación del comportamiento de suelos arcillosos sometidos a cargas*

estructurales en la zona de San Juan de Lurigancho - Lima. Universidad Nacional de Ingeniería.

Xu, H., Zhang, R., & Li, J. (2020). *Time-dependent consolidation behavior of fine-grained soils under variable loadings*. *Geotechnical Testing Journal*, 43(6).

Zhang, T., & Chen, Y. (2019). *Numerical analysis of consolidation settlement in deep clay layers using finite element modeling*. *Computers and Geotechnics*, 110, 205–218.

IX. ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

VARIABLE		PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPOTESIS GENERAL	HIPOTESIS ESPECIFICAS
INDEPENDIENTE	Evaluación del asentamiento por consolidación en suelos con excavaciones.	¿Cómo podemos evaluar asentamientos por consolidación primaria en terrenos arcillosos en los que se hayan efectuado las excavaciones de acuerdo con la norma de suelos y cimentaciones?	¿Cómo reconocemos terrenos arcillosos que soporten asentamientos por consolidación primaria de acuerdo con su índice de actividad?	Evaluar asentamientos por consolidación en suelos arcillosos utilizando el método de Skempton Bjerrum de acuerdo con la RNE050.	Reconocer terrenos arcillosos que soporten asentamientos admisibles por consolidación para la construcción sobre excavaciones.	Evaluando adecuadamente el asentamiento por consolidación del terreno arcilloso se podrán construir sobre excavaciones en forma apropiada aplicando el método de Skempton Bjerrum de acuerdo con la RNE050.	Reconociendo terrenos arcillosos que soporten asentamientos admisibles por consolidación primaria de acuerdo con su índice de actividad se podrá construir sobre excavaciones realizadas sobre este terreno.
			¿Cuáles son los métodos que permiten determinar adecuadamente asentamientos por consolidación en terrenos arcillosos?		Que métodos permiten determinar adecuadamente asentamientos de consolidación en terrenos arcillosos que validen los asentamientos calculados por el método de skempton Bjerrum.		Determinando métodos que permitan determinar adecuadamente asentamientos por consolidación se podrán validar asentamientos calculados por los métodos de Skempton Bjerrum para la construcción sobre excavaciones.
¿De qué manera evaluamos los asentamientos por consolidación aplicando el método de Skempton-Bjerrum para determinar su rango de aceptabilidad de acuerdo con la norma RNE050?	Evaluar asentamientos por consolidación para determinar el rango de aceptabilidad de estos de acuerdo con la RNE050 aplicando el método de Skempton Bjerrum.		Evaluando asentamientos por consolidación según Skempton Bjerrum, determinamos el rango de aceptabilidad de estos según la norma RNE050 para construir edificaciones sobre estos suelos excavados.				
DEPENDIENTE	Construcción de edificaciones sobre suelos arcillosos excavados.						

ANEXO B. FOTOS DEL ENSAYO DE LABORATORIO

Muestras a ensayar en consolidacion



Ensayo de consolidacion



Aplicacion de cargas en ensayo de consolidacion



Aplicacion ensayo CU



Preparación de muestras para Límite Plástico (LP)



Preparación de muestras para Límite Líquido (LL)

