

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tema de la investigación consiste en la comparación de los métodos de Casa Grande y Taylor, en pruebas de consolidación unidimensional drenada, el propósito de la misma es como dentro de la ingeniería se hace el estudio de suelos y como se utiliza como material de construcción para diversos proyectos de ingeniería civil y con cimientos estructurales, por lo tanto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como el origen, la distribución de tamaño de grano, la capacidad de drenar el agua, compresión, etc. Es por eso la aplicación de los principios de la mecánica de suelos a problemas prácticos dentro de la ingeniería civil.

La investigación parte del principio de que todos los materiales experimentan deformación cuando están sujetos a un cambio de sus condiciones de esfuerzo y los mismos están más propensos al suelo. Terzaghi fue uno de los primeros en estudiar el fenómeno de consolidación en suelos finos saturados y desarrolló la teoría de consolidación unidimensional convirtiéndose en la más aplicada para resolver el problema de compresibilidad en suelos finos saturados (Terzaghi, Mecánica de suelos en la práctica de ingeniería, 1967).

Con éste ensayo podemos darnos cuenta de su gran beneficio y utilidad que se obtiene de consolidar un suelo antes de realizar cualquier obra, y que por ejemplo podemos ver y dar cuenta de la reducción de asentamientos, debido al comportamiento asintótico del ensayo; otra característica importante es el aumento del esfuerzo del suelo y debido a todos esos factores se aumenta la resiste al corte.

En Bolivia existen laboratorios que realizan estudios de la consolidación de suelos muy comúnmente para determinar en los Ensayos de Casa Grande y Taylor, por ejemplo, en el Servicio Departamental de Caminos de Tarija (SEDECA), se realiza el estudio de suelos previo al diseño de pavimento para conocer el asentamiento que se puede producir.

La investigación propone comparar los métodos de Casa Grande y Taylor para la consolidación unidimensional drenada del suelo en el transcurso del tiempo debido al incremento de esfuerzos provocado por la construcción de cimentaciones u otras cargas de tal manera en este proyecto de grado estudie la funcionalidad en términos de las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, para determinar si existe algún grado de similitud.

1.1. ANTECEDENTES.

El conocimiento y confiabilidad de factores del suelo como su deformabilidad y condiciones geológicas, son aspectos de fundamental importancia para el ingeniero interesado en caracterizar el comportamiento mecánico del suelo de fundación.

Ya desde hace muchos años, se sabe que estructuras de cimentación superficial, apoyada en terrenos blandos (arcillas), sufren grandes asentamientos y deformaciones de suelos (Ortiz, 1979).

Fue uno de los únicos autores encontrados a nivel internacional que abordan los suelos desde el punto de vista de la geotecnia. Bonilla (2015) en su trabajo de investigación caracterización de la deformabilidad y resistencia de suelos, determina las propiedades de los suelos y realiza la respectiva clasificación de las muestras por SUCS y AASTHO, siendo esta investigación efectuada sobre suelos de un clima más lluvioso que el de otros lugares de clima seco, llegando a la conclusión de que los suelos de clima húmedo tienen un comportamiento pobre, cuando es usado como sub rasante de suelos para carreteras (Bonilla, 2015).

Este proceso de deformación o asentamiento es resultado del cambio de forma y de la variación de volumen de los estratos de suelo, como producto de la expulsión del agua que ocupa los espacios vacíos y reacomodo de las partículas. Este suceso es conocido como consolidación, el mismo que debe ser calculado a través del coeficiente de consolidación, que se obtiene bajo algunas metodologías. En este caso se hace referencia a dos metodologías gráficas como son los métodos de Casa Grande y Taylor.

El motivo de este análisis, se debe a la falta de información que hay en la ciudadanía sobre lo importante del estudio de suelo, un gran porcentaje de la ciudad está asentada sobre suelos arcillosos y al no conocer su capacidad del terreno es importante al realizar edificaciones, incrementa su carga estructural, superando la capacidad de reacción del suelo donde se va a construir, éstas sufrirán un cambio en toda su estructura, diseño y cálculo.

Tal variación producto de los asentamientos diferenciales o totales que tendrá su edificación por no realizar un estudio adecuado (Alvarado, 2016).

En la ciudad de Tarija, las construcciones que están dentro de éste, más del 70% las realizan sin consultar con un ingeniero especializado en geotecnia, aun sabiendo que esta urbe se encuentra asentada sobre el manglar, en donde sus primeros estratos son comprensibles.

Además, en muchas ocasiones, no cuentan con los permisos municipales otorgado por el GAMC (Gobierno Autónomo Municipal de Cercado), recomendaciones que deben ser seguidas no sólo para cumplir un requerimiento, si no para tener un aval de que se respetarán sus diseños.

Sin embargo, dichos cambios, en algunos de los casos no son notificados y mucho menos considerados en los aumentos futuros de las edificaciones (Escobar & Escobar, 2016).

Por eso es necesario realizar los estudios permisibles para evitar en el futuro estos asentamientos diferenciales y con ventajas y desventajas encontrar las diferencias de método Taylor y Casa grande conociendo las características del subsuelo las recomendaciones del ingeniero civil que se podrán construir para cualquier edificación dentro de los parámetros de asentamientos recomendados.

1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA.

Los asentamientos en suelos son un problema en las construcciones civiles generalmente en suelos arcillosos, estos deben calcularse por medio de la teoría de la consolidación, la cual es válida bajo ciertas condiciones; tales como la saturación total del estrato arcilloso y la incompresibilidad del agua y las partículas del mismo. La teoría de la consolidación está basada en la analogía mecánica de Terzaghi la cual explica que al aplicar una carga estática a un suelo las deformaciones no se presentarán de manera inmediata, sino que tomará un tiempo que puede tardar desde segundos hasta años; además podrá presentar una deformación volumétrica que cambia el volumen pero no la forma y una deformación desviadora que cambia la forma pero no el volumen (Terzaghi, Teoría de Consolidación de suelos, 1967).

A lo largo del desarrollo de la ingeniería de suelos en Bolivia se observa que no se ha hecho uso de la teoría de la consolidación ya que se ha utilizado el ensayo de penetración estándar (SPT) para la estimación del asentamiento total en todo tipo de suelos. Este planteamiento no aplica en la estimación de asentamientos en estratos arcillosos ya que los estudios muestran que para este tipo de estratos es necesaria la utilización de la teoría de consolidación. La obtención de asentamientos por correlación con el número de golpes del ensayo de penetración estándar es sólo válida para suelos arenosos. De acuerdo a lo anteriormente mencionado, este trabajo de grado pretende resaltar la importancia de la utilización de la teoría de la consolidación para suelos cohesivos inalterados en la estimación de asentamientos en estratos de alta plasticidad y baja plasticidad.

Por la escasa disponibilidad de estudios de suelos y para dar la mayor precisión y exactitud de las metodologías se tiene a los métodos de Taylor y Casa Grande, pero estas mismas se ven afectadas, debido a la necesidad de una interpretación visual de los resultados, como ve en las interpretación que puede entenderse en varios modos y admitir distintas soluciones, lo cual ocasiona duda e incertidumbre, condición que facilita obtener como resultado valores erróneos en el cálculo de los tiempos teóricos de consolidación y parámetros que resultan fundamentales para el posterior cálculo del coeficiente por medio

de las metodologías de Taylor y de Casa Grande, respectivamente. En particular esta ambigüedad en la interpretación de la metodología de Taylor radica en la formulación descrita por la primera sentencia del método.

En el ámbito académico es ampliamente reconocido el hecho de que para una misma muestra de suelo sometida a un ensayo de consolidación, se pueden interpretar distintos valores para el coeficiente si se comparan los resultados obtenidos mediante el método de Taylor con el de Casa Grande. El procedimiento requerido para la interpretación de la metodología de Casa Grande está descrito por las siguientes sentencias: Se determina el asentamiento que representa el 100% de la consolidación primaria para cada incremento de carga.

Sumado a la incertidumbre e imprecisión que acarrea la necesidad de una interpretación visual de los resultados del ensayo de consolidación, ya sea mediante la metodología de Taylor o de Casa Grande, resulta de suma importancia señalar como estos métodos gráficos no tienen en consideración toda la información del ensayo de consolidación unidimensional. Como vimos el método de Taylor basa la precisión de su resultado en el segmento inicial de la curva de consolidación, Mientras que la metodología de Casa Grande confía su resultado en la parte final de la curva de consolidación y dos puntos del segmento inicial. La presente investigación de grado, ha sugerido el uso de las dos metodologías que dependen del asentamiento de volumen inicial al volumen final en los resultados en 7 distritos del municipio de Cercado (Tarija), y que además tenga en consideración todos los resultados obtenidos mediante el ensayo de consolidación unidimensional.

1.2.1. Problema.

¿A través de la comparación de los métodos de Casa Grande y Taylor, en las pruebas de consolidación unidimensional se podrá valorar la funcionalidad de calidad entre sí?

1.2.2. Relevancia del problema.

La relevancia del trabajo de investigación es importante porque contribuye el conocimiento teórico con la práctica, el cual servirá para que futuros profesionales utilicen dicha información para otras investigaciones sobre la comparación de los métodos de Casa Grande y Taylor a través de las pruebas de consolidación unidimensionales.

1.2.3. Factibilidad del problema.

Como se conoce que el método de Taylor basa la precisión de su resultado en el segmento inicial de la curva de consolidación y el método Casa Grande confía su resultado en la parte final de la curva de consolidación y dos puntos del segmento inicial; se debe de desarrollar con precisión para demostrar los resultados teóricamente y en la práctica en los ensayos de consolidación en una muestra inalterada de arcilla y a través de ello demostrar la factibilidad del mismo.

El siguiente trabajo de grado pretende realizar una comparación para un tipo de suelos cohesivos presente en 7 distritos de Tarija para comparar los asentamientos producidos bajo cargas estáticas con los estimados ensayos de Casa Grande y Taylor. Este proyecto no pretende realizar modificación alguna a la ecuación diferencial de la consolidación unidimensional planteada por Terzaghi.

De acuerdo al presente proyecto de investigación se hace el levantamiento de muestras de terrones inalteradas, llevando a una clasificación SUCS para suelos finos de alta plasticidad y baja plasticidad, lo cual se cumplirán con treinta y dos ensayos de consolidación de suelos.

1.2.4. Delimitación temporal y espacial del problema.

La delimitación temporal de la investigación es de prevención, puesto que se está tratando de prevenir lo que puede ocurrir en el futuro.

El tiempo para el desarrollo del proyecto de investigación se limitó al calendario académico de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho siendo éste de 12 semanas.

1.2.5. Delimitación de espacio.

Se realizará en el laboratorio de vías de comunicación y topografía (laboratorio de suelos) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho del departamento de Tarija.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación se enfocará en estudiar la comparación de los métodos de Casa Grande y Taylor, en pruebas de consolidación unidimensional drenada, ya que debido a la no existencia de estudios de suelos en el lugar de estudio permitirá prevenir lo que puede ocurrir en el futuro. Así, el presente trabajo permitiría mostrar datos de los suelos a ser tomados en cuenta del área periurbana de la ciudad de Tarija, por otra parte permitirá profundizar los conocimientos teóricos sobre la consolidación unidimensional drenada de los suelos, la misma ayudará a la concientización de la población y las autoridades sobre la importancia de los suelos.

1.3.1. Justificación académica.

La justificación académica pretende identificar qué tipo de bibliografía será más utilizado por los estudiantes de la carrera de ingeniería civil, impresa o virtual, esta investigación nos permitirá aplicar los conocimientos adquiridos en metodología de la investigación científica, cálculo de probabilidades de los métodos Casa Grande y Taylor, en términos generales nos permitirá mostrar los conocimientos adquirido durante nuestra estancia en

la carrera.

1.3.2. Justificación técnica.

La investigación propuesta busca, mediante la aplicación de la teoría y los conceptos básicos de metodología de la investigación encontrar e implicar la misma técnica a situaciones internas a la universidad como ser el uso de libros impresos, virtuales y las causas relacionadas con éstas. Ello permitirá contrastar la tendencia a la que se dirige el empleo de libros impresos y virtuales sobre la comparación de los métodos de Casa Grande y Taylor, en pruebas de consolidación unidimensional.

1.3.3. Justificación social.

El tema de investigación de la comparación de los métodos de Casa Grande y Taylor, en pruebas de consolidación unidimensional ayudará a toda la población estudiantil y docentes, ya que lo que se pretende con este tema de investigación es que sea un aporte más para que esté disponible en la biblioteca virtual en la facultad, esto beneficiara a la población estudiantil en general.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. Objetivo general.

Comparar los métodos de Casa Grande y Taylor, para el ensayo de la consolidación unidimensional drenada, de tal manera, para establecer las diferencias procedimentales y sus resultados.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Estudiar las metodologías de la consolidación unidimensional de Casa Grande y Taylor.

- Caracterizar los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos).
- Definir las condiciones que requiere una consolidación unidimensional drenada.
- Determinar los valores directos e indirectos para obtener resultados de la consolidación unidimensional.
- Validar los resultados identificando las ventajas y desventajas.
- Realizar un estudio de confiabilidad estadística de los diferentes procedimientos de consolidación unidimensional.

1.5. HIPÓTESIS.

Al realizar una comparación entre los métodos de Casa Grande y Taylor, se podrá definir diferencias procedimentales y de resultado en el coeficiente de consolidación.

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

Variable independiente.

Métodos de consolidación.

Variable dependiente.

El procedimiento: saturación, tiempo de drenaje y otros.

El coeficiente de consolidación; resultado final por ambos métodos.

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Variable.	Dimensión.	Indicador.	Valor/Acción.	
Método de consolidación	Coeficiente de consolidación (Cv).	Factor de tiempo (t)	Deformación vs logaritmo de tiempo.	
		Lectura de deformímetro (mm)		
		Altura inicial (H)		
	Relación de vacíos (e).		Porcentaje (%)	Contenido de humedad inicial.
			Porcentaje (%)	Contenido de humedad final.
			Peso específico (g/cm ³)	Densidad inicial.
			Volumen (cm ³)	Volumen de sólidos.
			Altura (cm)	Altura de sólidos.
El procedimiento	Duración de la ejecución	% de saturación. % de drenaje Otros.....	Valores de duración.	
El coeficiente de consolidación	Resultados de métodos	Método Casa Grande. Método Taylor.	Gráficos demostrativos	

Fuente: Elaboración propia.

1.7. DISEÑO METODOLÓGICO.

1.7.1. Identificación del tipo de investigación.

El Tipo de investigación es descriptiva, porque busca una relación entre dos o más variables, es decir busca las causas que las ocasionan un problema.

“Los estudios descriptivos buscan especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo (ensayos de laboratorio)” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010).

1.8. UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRA.

1.8.1. Unidad de estudio.

La investigación se obtendrá mediante ensayos de laboratorio de suelos los métodos de ensayo son:

Método de Casa Grande.

Método de Taylor.

Coeficiente de consolidación (C_v)

Coeficiente de consolidación C_v es el valor numérico utilizado en los cálculos de consolidación para determinar el tiempo necesario t , para que se produzca un porcentaje dado de consolidación.

$$C_v = \frac{T * H^2}{t}$$

Donde:

T = Es el factor tiempo, cuyo valor es 0.197 para un tiempo de consolidación del 50 %, y 0.848 para un $t=90\%$.

H = Longitud para el máximo camino de drenaje durante un incremento de carga dado.

Si la muestra es doblemente drenada, el valor de H será la mitad de la altura de la misma.

T = Tiempo para el correspondiente factor de tiempo, obtenido de la curva de consolidación.

1.8.2. Población.

La población son los ensayos de laboratorio, un número de entrada de estimación preliminar, adoptando cualquier método en sus etapas y ensayos, que se calcula un $N = 72$ ensayos. Para ello se emplea una planilla para mejorar su entendimiento.

1.8.3. Muestra.

Los ensayos seleccionados en la población deben ser repetidos en la muestra, se ajusta a una afijación de sus medias o proporciones generando un muestreo estratificado. Se puede asumir que la muestra será: $n = 72$ ensayos para la investigación.

Tabla 2. Cálculo de la cantidad de ensayos

N°	Tipos	Etapas	Ensayos	Ni	G ²	Ni*G ²	fi	ni
1	Suelos finos y arcillosos	Caracterización	Contenido de humedad	14	0.1	1.4	0.108	8
			Granulometría	14	0.1	1.4	0.108	8
			Peso específico	14	0.1	1.4	0.108	8
			Límites de Atterberg	14	0.1	1.4	0.108	8
			Granulometría por hidrómetro	14	0.1	1.4	0.108	8
2	Consolidación	Método de Casa Grande	Coefficiente de consolidación	30	0.1	3	0.231	16
		Método de Taylor	Coefficiente de consolidación	30	0.1	3	0.231	16
TOTAL				130		13	1	72

Fuente: Elaboración propia

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.

La selección para ello es método probabilístico con un enfoque cuantitativo realizando un muestreo simple de estratificado para definir tipos de ensayos, características, propiedades, otros. Llega a un número de ensayos de 72 en total.

1.9. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.

1.9.1. Métodos.

Método Casa Grande.

Método de Taylor.

Referencias:

CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (ASTM D2435 AASHTO T216).

AASHTO D-4186

ASTM D2435-80.

ASTM D-3550

ASTM D-4546

1.9.2. Técnicas.

Propiedades físicas del suelo.

En cuanto a ellos se realizan los siguientes ensayos:

Tabla 3. Técnicas de los ensayos

Ensayos	Norma
Contenido de humedad	ASTM D-2216
Peso específica	ASTM D-854
Análisis granulométrico	ASTM D-136
Análisis granulométrico por hidrómetro	ASTM D-522
Límites líquido y plástico	ASTM D-4318

Fuente: Elaboración propia

1.10. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Se realizó una revisión de toda la información registrada en las planillas, los resultados procesados para su análisis e interpretación.

De la misma forma las muestras extraídas fueron tabulados y presentados para su fácil comprensión, los resultados de los ensayos realizados en los laboratorios se utilizó los formatos establecidos por la universidad.

Finalmente se redactó las conclusiones y se propone la solución al problema de la investigación.

1.11. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La siguiente investigación pretende únicamente realizar una comparación para tipos de suelos; finos cohesivos (arcillas y limos plásticos).y suelos finos presente en el área urbana de cercado del departamento de Tarija para comparar los asentamientos producidos bajo cargas estáticas con los estimados, haciendo una correlación del coeficiente de consolidación de los métodos de Casa Grande y método de Taylor.

El alcance de investigación puede definirse en la funcionalidad de comparar entre dos métodos de consolidación:

Método casa grande.

Método de Taylor.

En una situación real es preciso resolver un problema de consolidación de suelos para determinar la magnitud de asentamientos, la muestra deberá ser inalterada porque la consolidación depende de la estructura del suelo, se verificará con la curva teórica de consolidación (Método Casa Grande), curva de deformación de consolidación para estimarse un coeficiente (Método Taylor).

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES.

En ingeniería geotécnica, el diseño y análisis de estructuras de suelos como presas de tierra, taludes, muros de retención, fundaciones, entre otros, se basa en la teoría de mecánica de suelos y la determinación experimental de las propiedades del suelo (Bardet, 1997).

2.2. ORIGEN Y COMPOSICIÓN DE LOS SUELOS.

El suelo es un material muy complejo que está compuesto de materia sólida, líquida y gaseosa, donde la fase sólida puede ser mineral u orgánica, la porción mineral consiste en partículas de grandes tamaños, formas y composiciones químicas. La fracción orgánica incluye residuos en diferentes etapas de descomposición y organismos en estado de vida activa (Salinas, Campos, & Guardia, 2004).

La fase líquida es el agua que será tomada con mayor consideración en nuestro estudio debido a su relación directa con la expansión de suelos y además porque que llena una parte o totalidad de los espacios vacíos entre las partículas sólidas variando en su composición química y en la libertad con que se mueve.

La fase gaseosa ocupa los espacios vacíos que no están cubiertos con agua; su composición puede variar en intervalos de tiempos cortos. Las interrelaciones físicas y químicas entre las fases del suelo no sólo están afectadas por sus respectivas propiedades, sino también por factores como la temperatura, la presión y la luz del ambiente.

La fase sólida predomina, y el medio de dispersión, el agua del suelo, proporciona las partículas acuosas que envuelven las partículas individuales y tienden a llenar los poros entre las partículas sólidas. Éstas son de diversos tamaños, desde los límites inferiores del

estado coloidal arcilla y limo, hasta las fracciones más gruesas de arena y grava. Estas diferentes partículas, especialmente las de dimensiones coloidales, pueden encontrarse en estado de casi completa dispersión o granulación.

2.2.1. Definición de suelo.

Suelo, puede definirse desde dos puntos de vista el geólogo y el ingenieril. El suelo está clasificado de acuerdo a sus propiedades físicas, como ser: la consistencia y el tamaño de sus partículas (Salinas, Campos, & Guardia, 2004).

El ingeniero compara al suelo como un material de construcción que tienen una importante influencia en el diseño y construcción de una obra de ingeniería.

El suelo al igual que otros materiales posee propiedades ingenieriles, que están gobernadas por el tamaño de sus partículas y la forma en que estas interacciones entre sí. Los suelos por lo general, son materiales heterogéneos y anisotrópicos, por lo que no están compuestos de un mismo material en toda su masa, además son materiales no conservativos, es decir que la masa de suelo al deformarse no recupera su forma original (Campos Rodriguez & Guardia Niño de Guzman, 2005).

2.2.2. Mecánica de suelos.

La mecánica de suelos, estudia el comportamiento y las propiedades físicas del suelo fuerzas y agentes externos actúan en la masa de suelo. Esta rama de la geotecnia considera la estructura del suelo, la forma de las partículas que lo constituyen y las fases que éste presenta, concentrándose en las propiedades ingenieriles (Gonzalez, 2004).

2.2.2.1. Estructura del suelo.

La estructura de un suelo es la distribución y ordenamiento geométrico de las partículas o granos minerales, el aire y el agua presentes de un material, como consecuencia de las características propias de éste, e influenciados por las fuerzas que actúan sobre las partículas (Gonzalez, 2004).

Tipo de suelos desde el punto de vista de la mecánica de suelos:

Suelos no cohesivos

Las partículas de suelo no tienden a juntarse ni a adherirse, sus partículas son relativamente grandes, también llamados suelos granulares o friccionan téis (gravas, arenas, limos).

Suelos cohesivos

Partículas muy pequeñas, predominan los efectos electroquímicos superficiales. Las partículas tienden a juntarse (interacción agua partícula). Suelos plásticos. (Arcilla).

Suelos Orgánicos

Suelos esponjosos, con grumos, compresibles. Prohibitivos para soporte de estructuras de ingeniería.

Arcillas inorgánicas.

La arcilla es la parte más fina del suelo y muchas de sus partículas no son visibles incluso bajo el microscopio. Tiene fuertes propiedades de retención para el agua y las sustancias químicas. La mayoría de las arcillas se pueden reconocer fácilmente ya que al perder agua se agrietan y forman terrones muy duros. La arcilla absorbe muy lentamente el agua, pero

una vez que lo hace es capaz de retenerla en grandes cantidades y entonces dilatarse hasta alcanzar más del doble de su volumen. La arcilla se torna muy adhesiva al humedecerse, y cuando se sostiene en la mano se adhiere a los dedos. Cuando los suelos arcillosos están húmedos se vuelven demasiado adhesivos para trabajarlos y cuando están secos son demasiado resistentes al laboreo (Sowers & Sowers, 1972).

2.2.2.2. Propiedades físicas de los suelos.

Son consideradas como propiedades físicas básicas todas aquellas que definen el estado físico de un material, en el caso de la ingeniería es necesario cuantificar las 3 fases constituyentes (sólida, líquida y gaseosa) y lograr relacionarlas entre ellas en términos numéricos. En una muestra de suelo común, se encuentran los estados sólidos, líquido (agua) y gaseoso (aire) intermezclados de manera natural, por lo cual resulta difícil visualizar todas sus relaciones relativas, es por esto que es necesario considerar un modelo en cual se puedan separar en cantidades individuales y proporcionadas cada una de las fases. Los modelos se pueden proponer de diferentes maneras, dependiendo de la cantidad que se considera como referencia unitaria (Sowers & Sowers, 1972).

Relación de vacíos

Es la relación de todo aquel volumen que no es ocupado por los sólidos (conformado por agua, aire o una mezcla de los dos) o volumen de vacíos con respecto al volumen de los sólidos.

Porosidad

Es otra manera de denominar la cantidad de vacíos y se representa mediante la relación entre el volumen de éstos y el volumen total.

Peso específico relativo de los sólidos y densidad de partículas

El peso específico relativo es considerado como la relación existente entre la masa de un volumen dado de un material que contiene la masa del mismo volumen de agua, la densidad del agua es considerada como 1 Ton/m³. (Sowers & Sowers, 1972).

2.2.3. Definición de suelos cohesivos.

Los suelos cohesivos poseen partículas pequeñas y bastante arcilla como para que el suelo se adhiera a sí mismo. Mientras más cohesivo sea el suelo, será porque contiene más cantidad de arcilla, y será menos probable que suceda un derrumbe. Es en esto en donde radica la diferencia con los suelos granulares, los cuales están conformados por gruesas partículas gruesas, de arena y grava (IngeCivil, 2018).

Cuando el suelo es menos cohesivo, se necesita llevar adelante mayores medidas para prevenir un derrumbe. Se utiliza un sistema de medición llamado "fuerza de compresión" para clasificar cada tipo de suelo, que es la cantidad de presión necesaria para que el suelo colapse. Este valor se presenta usualmente en unidades de toneladas por pie cuadrado.

Parte del proceso para construir un edificio o una carretera implica analizar el suelo en que el edificio llevará a cabo. Los ambientes del suelo proporcionan la base física de un edificio o un camino para estar de pie durante años. En los aspectos de ingeniería de la composición del suelo examinan las diferencias en textura, fuerza y consistencia que distinguen suelos cohesivos de ambientes de suelos no cohesivos.

2.2.4. Clasificación geomecánica

Los ensayos más comunes para obtener la clasificación geomecánica de los suelos para el estudio son:

Gravedad específica.

Análisis granulométrico.

Límites de Atterberg.

Consolidación.

Corte directo

Triaxial UU, UU y CD

Compresión inconfiada.

2.2.4.1. Gravedad específica de suelos.

La densidad específica es la comparación de la densidad de una muestra de suelo con la del agua destilada, a una temperatura dada (Salas, Geotecnia y cimientos I, 2013).

La gravedad específica es un parámetro adimensional función de la mineralogía del suelo según Salas es un parámetro primordial en la clasificación de suelos, pues al depender de la mineralogía lo hace variar para cada tipo de suelo.

En general los suelos ricos en óxido de hierro y óxido de magnesio presentan los valores más altos con relación a la gravedad específica, mientras que los suelos arcillosos orgánicos presentan los valores más bajos.

2.2.4.2. Granulometría de suelos.

La granulometría de suelos es un parámetro básico en la clasificación de un suelo como material ingenieril, pues define su posible uso y comportamiento, tanto como subrasante de carretera, agregado para concreto hidráulico o mezcla asfáltica, material de relleno de algún corte, entre otros, además se utiliza para detectar la susceptibilidad del material al fenómeno de licuación, también para determinar el mecanismo de mejoramiento de suelos se adecua mejor a la zona a tratar (Salas, Geotecnia y cimientos I, 2013).

El primer paso para clasificar suelos, es conocer su curva granulométrica, generalmente se utilizan dos métodos para encontrar la distribución de partículas en el suelo: análisis por tamizaje y análisis por hidrómetro, también llamado análisis por sedimentación.

El análisis por tamizaje se utiliza para suelos de grano grueso y el de hidrometría es el utilizado en suelos de grano fino.

El principal parámetro de clasificación obtenido de la curva granulométrica es el porcentaje que pasa la malla N° 200, pues es el que determina, si un material clasifica como suelo fino o grueso, pues los pasos a seguir en la clasificación después de determinar si el material es suelo de grado fino o grueso son distintos.

Análisis por tamizaje.

El objetivo principal de esta prueba es obtener la curva granulométrica de la muestra, por ende, obtener todos los parámetros que se puedan obtener de la curva. Es el principal parámetro de clasificación que se puede obtener en este tipo de ensayos es el porcentaje pasando la malla N° 200, pues las partículas que pasan dicho tamiz no se les puede hacer un análisis granulométrico por mallas, para ello se requiere realizar un análisis granulométrico por hidrómetro. El procedimiento de este ensayo está estandarizado por la norma ASTM D6913, denominado por la ASTM “Graduación de suelos usando análisis de malla” (Calidad de la construcción, 2019).

Lo primero que se debe hacer es dividir las partículas en distintos grupos de acuerdo a su tamaño máximo, esto se logra pasando el material por distintas cribas, los valores de estos tamaños se especifican en la ASTM E11-13.

El tamaño de la abertura de los tamices está especificado en la norma ASTM E11-13, estos diámetros se muestran en la tabla 3. Una vez pasado el material por los tamices, se pesa el material retenido en cada uno y por diferencia de pesos se obtiene el porcentaje que pasa (Bonilla, 2015).

Tabla 4. Diámetro de tamices según norma ASTM E11-13

Tamiz	Abertura(mm)
1	25.000
3/4	19.000
3/8	9.500
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0,6
40	0,425
50	0,3
60	0,25
80	0,18
100	0,15
140	0,106
170	0,088
200	0,075

Fuente: Norma ASTM E11-13

Análisis por hidrómetro.

La finalidad de este ensayo, al igual que el método por tamizaje, es obtener la curva granulométrica del suelo, a diferencia del ensayo anterior este si analiza las partículas que pasan la malla N° 200, por ende, es posible determinar los porcentajes de limo y arcilla presentes en el suelo. El método a seguir en la ejecución de este ensayo lo estipula la norma ASTM D422. Este procedimiento se basa en el principio de sedimentación de granos de suelo en agua, para efectuar este análisis se recurre a la Ley Stokes, que relaciona la velocidad de caída de las partículas en función del diámetro que éstas presenten (Modon, 2017).

Cuando la muestra se tenga preparada, se debe deflocular, con el fin de eliminar los grumos que presente y que sólo se sedimenten partículas elementales, se miden las densidades de la muestra a diferentes intervalos de tiempo con el hidrómetro.

Curva granulométrica.

Los resultados de análisis de graduación de un suelo se representan en una curva, que se denomina curva granulométrica. Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y los porcentajes pasando en escala aritmética (Calidad de la construcción, 2019).

Los datos más importantes que se pueden obtener de una curva granulométrica son los diámetros característicos (D_n) y las fracciones de arena, grava y finos, refiérase a finos a material que pasa el tamiz N° 200, en la gráfica 1 se detalla una curva granulométrica de un suelo.

Algunos de los índices que pueden calcularse a partir de la gráfica son (Calidad de la construcción, 2019):

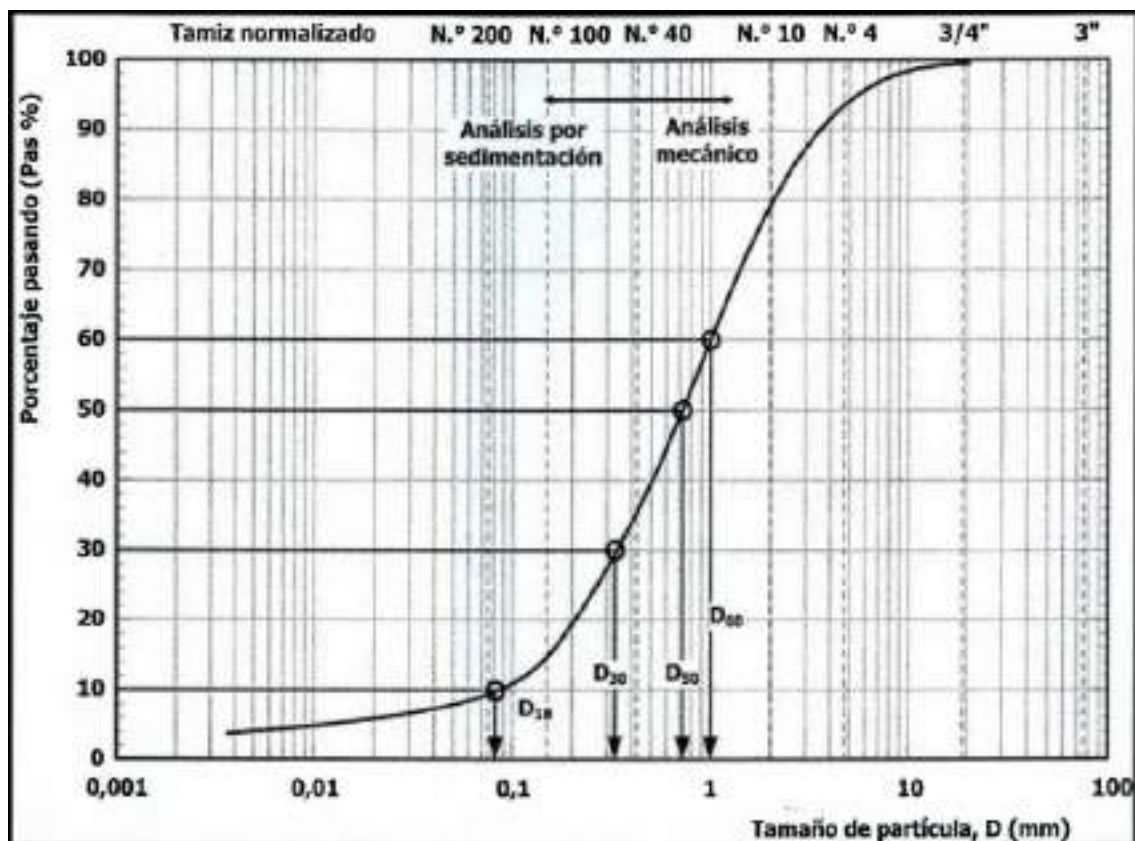
Tabla 5. Fracciones de partículas más significativas

Fracciones	Sigla	ASTM	AASTHO
Fracción de gravas	FG	100 – F4	F3 – F10
Fracción de arena	FS	F4 – F200	F10 – F200
Fracción fina	CF	F200	F200

Fuente: (Salas, Geotecnia y cimientos I, 2013)

Donde F4 y F200 son los porcentajes pasando del material a través de las mallas N° 4 y N° 200 respectivamente; F3 y F10 es el porcentaje pasando el tamiz N° 3 y N° 10, esto para ASTM y AASTHO respectivamente.

Gráfica 1. Curva granulométrica típica de un suelo



Fuente: (Salas, Geotecnia y cimientos I, 2013).

2.2.4.3. Límites de Atterberg

La consistencia de una propiedad que describe el grado y tipo de cohesión y adhesión que presentan las partículas de suelo, estas propiedades están relacionadas con la resistencia del suelo a deformarse o romperse (Salas, Fundamentos sobre mecánica de suelos, 2013).

Para determinar la consistencia del suelo, se deben determinar los límites de Atterberg, llamados así en honor al agrónomo sueco que los propuso en 1911. El ensayo de laboratorio empleado para determinar los límites de Atterberg está estandarizado por la norma ASTM D4318, mediante el cual se pueden obtener el límite plástico y el índice de plasticidad. El procedimiento para obtener el límite de contracción está estipulado por la norma ASTM D4943 (Bonilla, 2015).

2.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO.

El proceso de clasificación de suelos en cualquier sistema básico incluye la evaluación de propiedades físicas de los suelos a partir de indicadores, tales como la granulometría y la plasticidad y la aplicación de un procedimiento sistematizado para determinar las clases y subclases correspondientes. A partir de la clasificación del suelo es posible predecir propiedades que tenga el suelo como compresibilidad, resistencia y deformación, además de dar una noción del desempeño del material en su uso ingenieril; al saber el comportamiento de un suelo se pueden anticipar los problemas que éste experimentará ante las solicitaciones de carga de la construcción o puesta en servicio de una obra civil.

Para poder clasificar un suelo es indispensable conocer previamente los parámetros clave que solicitan los sistemas de clasificación de suelos, tales como límites líquidos, índice de plasticidad, porcentaje pasando la malla N° 200 y partículas inferiores a 0,002 mm. Estos parámetros se obtienen a partir de los ensayos de límites de Atterberg y granulometría, dichos parámetros se obtienen a partir de ensayos de laboratorio (Salas, Fundamentos sobre mecánica de suelos, 2013). Existen dos métodos de clasificación mundialmente aceptados, el método SUCS y el método AASHTO. El método AASHTO es utilizado principalmente en la construcción de caminos y carreteras, mientras que SUCS es el más utilizado por los ingenieros geotecnistas.

2.3.1. Sistema SUCS.

El sistema SUCS clasifica los suelos en suelos de grano grueso, suelo de grano fino y suelos orgánicos. Los suelos de grano se clasifican de acuerdo con su granulometría y los de grano fino de acuerdo con su plasticidad (límites de consistencia). Por lo tanto, implícitamente se asume que el comportamiento ingenieril de los suelos está relacionado fundamentalmente con sus características plásticas. Ver gráfica 2.

Gráfica 2. Esquema de clasificación de suelos según SUCS

DIVISIÓN MAYOR		SIMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.				ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/4 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	
ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/4 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4		GW Grava bien graduada (mezcla de grava y arena con poco o nada de finos)	GP Grava mal graduada (mezcla de grava y arena con poco o nada de finos)	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.	
ARENAS LIMPAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 CANTIDAD APROXIMABLE DE PARTICULAS FINAS		GM Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo	GC Gravas arcillosas (mezcla de grava, arena y arcilla)	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de arena que requieren el uso de símbolos dobles.	
ARENAS LIMPAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 CANTIDAD APROXIMABLE DE PARTICULAS FINAS		SW Arenas bien graduadas, arena con grava, con poca o nada de finos.	SP Arenas mal graduadas, arena con grava, con poca o nada de finos.	$C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3. No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas		SM Arenas limosas, mezcla de arena y limo.	SC Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de arena que requieren el uso de símbolos dobles.	
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50		G - Grava, S - Arena, O - Suelo Orgánico, P - Turba, M - Limo C - Arcilla, W - Bien Graduada, P - Mal Graduada, L - Baja Compresibilidad, H - Alta Compresibilidad	
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50		ML Limos inorgánicos, polvo de arcilla, limos arenosos o arcillosos (granulometría plástica).	CL Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) 	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		MH Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
		OH Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.			
		P Turba y otros suelos altamente orgánicos.			

Fuente: (Salas, Geotecnia y cimientos I, 2013)

Los suelos que no contienen “finos” en su composición o aquellos cuya fracción fina no afecta su comportamiento ingenieril se clasifican de acuerdo con su granulometría. Debido a esas suposiciones, solamente es necesario realizar las pruebas de granulometría y de límites de Atterberg para clasificar completamente un suelo dentro de este sistema. No hay disposiciones especiales con respecto a los suelos orgánicos debido a su inconveniencia como materiales ingenieriles (Vargas, 2012).

Suelos de grano grueso: corresponde a gravas y arenas con menos de un 50% pasando la malla N° 200. La clasificación de estos suelos inicia con la letra G, de grava o suelo gravoso; o S de suelo arenoso. La segunda letra corresponde a la graduación W cuando son bien graduados y P cuando son mal graduados (Cordero, 2013).

Suelos de grano fino: más del 50% del material pasa la malla N° 200. La clasificación de estos suelos inicia con la letra M, para limos inorgánicos; C para arcillas inorgánicas u O cuando son arcillas o limos orgánicos. Se utiliza el símbolo Pt para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos. La segunda letra en esta clasificación corresponde a la plasticidad del suelo, siendo L para suelos de baja plasticidad, o H para suelos de alta plasticidad (Cordero, 2013).

Este sistema SUCS, se encuentra estandarizado por la norma ASTM D2487, llamada “clasificación de suelos para usos ingenieriles”, en la gráfica 2, se detalla un esquema con los pasos a seguir, como se evidencia en dicha gráfica el primer paso es determinar si un suelo es de grano fino o grueso, pues la clasificación de un suelo grueso dependerá de la forma de su curva granulométrica y la de un suelo fino dependerá de su pasividad.

2.3.2. Sistema AASHTO.

El sistema de clasificación del American Association of State Highway Officials (AASHTO), se basa en la investigación realizada por dicha entidad, que busca clasificar los suelos empleados en la construcción de caminos vecinales y carreteras secundarias. La

AASHTO recomienda utilizar esta clasificación para aquellos suelos que vayan a ser empleados para terraplenes, subrasantes, subbases y bases de carreteras (Vargas, 2012).

El procedimiento para clasificar suelos por este sistema AASTHO, está estandarizado por las normas ASTM D3282 y AASTHO M145; los pasos a seguir en la clasificación por AASTHO, se detalla en la tabla 5, para utilizar dicha tabla se inicia de izquierda a derecha en un mismo nivel, verificando el cumplimiento de cada uno de los requisitos de cada grupo o subgrupo, es decir de no cumplirse los requisitos del grupo A1, se debe pasar a verificar los requisitos de la siguiente columna y sus así consecutivamente.

Tabla 6. Esquema de clasificación AASTHO.

Clasificación general	Materiales granulares							Materiales limo-arcillosos			
	35% o menos pasa el tamiz #200							Más del 35% pasa el tamiz #200			
Grupos y subgrupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa el tamiz											
N° 10 (2,00 mm)	50 MAX										
N° 40 (0,42 mm)	30 MAX	50 MAX	51 MIN								
N° 200 (0,074 mm)	15 MAX	25 MAX	10 MAX	35 MAX	35 MAX	35 MAX	35 MAX	36 MIN	36 MIN	36 MIN	36 MIN
Característica Del material que pasa el tamiz N° 40											
Límite líquido (LL)	-		-	40 MAX	41 MIN	40 MAX	41 MIN	40 MAX	41 MIN	40 MAX	41 MIN
Índice plasticidad (IP)	6 MAX		NP	10 MAX	10 MAX	11 MIN	11 MIN	10 MAX	10 MAX	11 MIN	11 MIN
Índice de grupo (IG)		0	0	0	0	4 MAX	4 MAX	8 MAX	12 MAX	16 MAX	20 MAX
Tipos de material	Fragmentos de Piedra Grava y Arena		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas - Arcillosos				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de fundación	Excelente a bueno							Regular a malo			

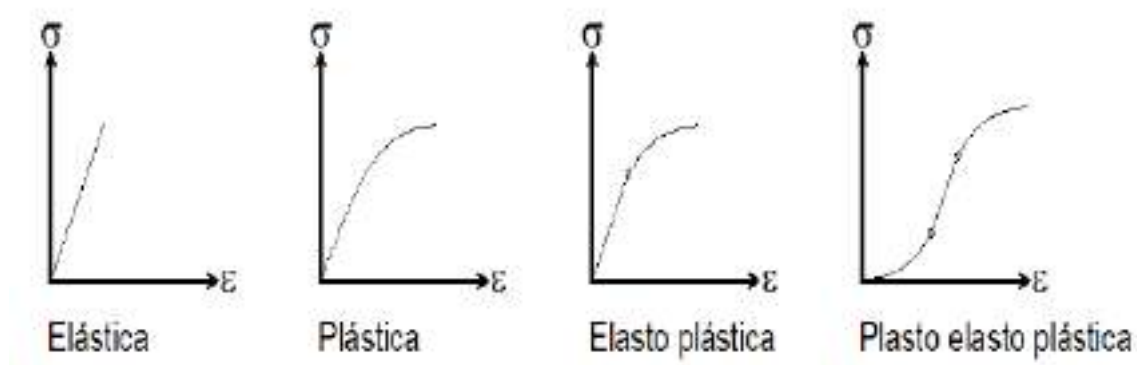
Fuente: (Salas, Geotecnia y cimientos I, 2013)

2.4. DEFORMACIONES EN EL SUELO

Un suelo puede presentar deformaciones permanentes o no por causa de las cargas que soporta. Las deformaciones pueden ser:

(σ = esfuerzo; ϵ = deformación)

Figura 1. Deformaciones en el suelo



Fuente: (Salas, Geotecnia y cimientos I, 2013)

Deformación elástica: El suelo puede recobrar su forma y dimensiones originales, cuando cesa la fuerza de deformación.

Deformación plástica: se da corrimiento de la masa del suelo, pero la relación de vacíos permanece más o menos constante. Al retirar las cargas el suelo queda deformado, pero su volumen casi se mantiene.

Deformación compresiva: En este caso se presenta deformación en el suelo sometido a carga, y esta se conserva después de esa acción. Esta deformación puede ser por CONSOLIDACIÓN o por COMPACTACIÓN.

2.5. CONSOLIDACIÓN.

La consolidación es un proceso que se produce en los suelos y consiste en la reducción del volumen total del suelo provocado por la colocación de una carga o el drenaje del terreno (Uchuypuma, 2015).

Se denomina consolidación de un suelo a un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo. Producen asentamientos, es decir, hundimientos verticales, en las construcciones que pueden llegar a romper si se producen con gran amplitud (Uchuypuma, 2015).

Clases de consolidación: Puede ser PRIMARIA o SECUNDARIA. Primaria, cuando cargado el suelo, la reducción de volumen se debe a la expulsión del agua, fenómeno en el que se transfiere la carga soportada por el agua al esqueleto mineral, esta es la consolidación propiamente dicha, típica del caso de los suelos de Ciudad de México y de la Torre de Pisa, y con la que nace la Mecánica de Suelos (Terzaghi, 1925).

Secundaria, cuando la consolidación se da por reajuste del esqueleto mineral y luego de que la carga está casi toda soportada por este y no por el agua.

2.5.1. Índice de compresión primaria.

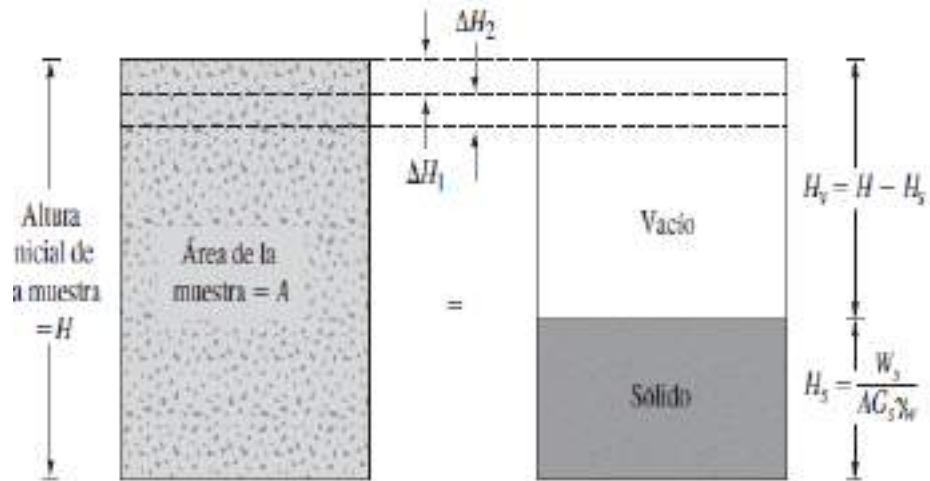
El índice de compresión primaria representa la pendiente de la curva “Relación de vacíos (e) vs esfuerzo efectivo (σ)”, en la rama de compresión virgen, que corresponde a cargas no experimentadas; las cuales se pueden obtener de las curvas edométricas.

A través de los años para la determinación del índice de compresibilidad se han desarrollado varios estudios empíricos y semi empíricos para calcularlo de una forma más simplificada y aproximada sin realizar ensayos de consolidación.

El índice de compresión primaria nos proporciona una idea clara de los espacios vacíos existentes en una masa de suelo, que pueden ser reducidos mediante la aplicación de cargas externas, lo cual se traduce en deformaciones verticales, denominadas asentamientos.

Aun cuando existan ecuaciones de correlación con gran aproximación si se necesitan resultados de mayor precisión los ensayos edométricos son inevitables.

Figura 2. Cambio de altura de la muestra en una prueba de consolidación en una dimensión



Fuente: (Bernate J. C., 2015)

1. Calcular la altura de los sólidos H_s :

$$H_s = \frac{W_s}{A * G_s * \gamma_w}$$

Dónde:

W_s = Peso seco del espécimen.

A = Área de espécimen.

G_s = Densidad de los sólidos.

γ_w = Peso específico del agua.

Calcular la altura inicial de vacíos: H_v

$$H_v = H - H_s$$

2. Calcule la relación de vacíos inicial e del espécimen:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v * A}{H_s * A} = \frac{H_v}{H_s}$$

Para la primera carga incrementada σ_1 (carga total del espécimen / área unitaria del espécimen) que causa la deformación ΔH_1 , calcule el cambio de relación de vacíos.

$$\Delta e_1:$$

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s}$$

ΔH_1 , se obtiene de las lecturas inicial y final de la carga. En este tipo la presión efectiva sobre el espécimen $\sigma' = \sigma_1 = \sigma'_1$

Calcule la nueva relación de vacíos e_1 , después de la consolidación causada por el incremento de presión σ_1 :

$$e_1 = e_0 - \Delta * e_1$$

El proceso de consolidación primaria se produce al someter al suelo a una sobrecarga en suelos saturados, como consecuencia de esto se produce un incremento de la presión de poros, esto a su vez genera un drenaje del agua de los poros lo que produce una reducción de la relación de vacíos, esto es lo que conocemos como compresión del suelo; y a todo este proceso se lo llama consolidación primaria

2.5.2. Consolidación secundaria

Tenemos la curva de consolidación secundaria, para Terzagui la consolidación terminada en un punto, cuya ordenada es 100% de consolidación primaria. Debajo tenemos la curva secundaria, al disiparse por completo la presión de poros; pero en

realidad, el asentamiento continúa a una velocidad que es función del logaritmo del tiempo.

2.6. TEORÍA DE CONSOLIDACIÓN DE SUELOS.

El autor de la teoría Terzaghi describió la relación esfuerzo-deformación que experimentan los suelos finos cuando, estando saturada, son sometidos a un incremento de carga que cambia las condiciones de esfuerzos dentro de los mismos. Con lo cual Terzaghi definió el comportamiento de dichos suelos, como una relación entre el esfuerzo efectivo y la relación de vacíos (e). (Terzaghi, Mecánica de suelos en la práctica de ingeniería, 1967).

Un cambio en el estado de esfuerzos en un suelo compresible produce un cambio en el volumen de los vacíos del mismo, y si dichos vacíos se encuentran llenos de agua se origina a su vez un cambio en el contenido de agua del suelo.

Teniendo esto en mente, Terzaghi definió el fenómeno de consolidación como cualquier proceso en el cual se involucra un decremento en el contenido de agua de un suelo saturado, sin que se presente un reemplazo del agua por aire.

2.5.1. Hipótesis asumidas en la teoría de consolidación de Terzaghi.

El objeto del estudio teórico realizado por Terzaghi para el fenómeno de consolidación unidimensional, consiste en determinar una ecuación en la cual los valores de la presión y la relación de vacíos puedan ser calculados en cualquier punto del espécimen, en cualquier tiempo en la consolidación y para cualquier espesor.

En el análisis realizado se llevaron a cabo simplificaciones y se asumieron las siguientes características del suelo en el proceso de consolidación (Terzaghi, Mecánica de suelos en la práctica de ingeniería, 1967).

El suelo es homogéneo.

El suelo está totalmente saturado.

El agua y las partículas sólidas son incompresibles.

Se cumple la ley de Darcy para el flujo de agua.

El coeficiente de permeabilidad k es constante.

El suelo se encuentra lateralmente confinado y los esfuerzos normales.

2.6. ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN O EDOMÉTRICO (NORMA ASTM 2435).

El ensayo de consolidación se lo realiza de acuerdo a la norma ASTM 2435 (2003):

Inicia el ensayo pesando el anillo rígido de consolidación.

Se moldea cuidadosamente la muestra dentro del anillo de consolidación. Y se procede a tomar el peso del anillo más la muestra (De la raspadura obtenida al momento de realizar el moldeo, se toma una muestra representativa para calcular los límites de Atterberg y la Gravedad específica).

Se coloca cuidadosamente dos piedras porosas, una en la parte superior del espécimen y otra en la parte inferior del mismo, seguidamente se coloca cuidadosamente la muestra en el consolidómetro.

Posteriormente se coloca el consolidómetro en el aparato de carga y se calibra el deformímetro, en el momento conveniente se aplica el primer incremento de carga y de forma simultánea se toman las lecturas de deformación de acuerdo a los siguientes tiempos. En cada una de ellas se registra la lectura del dial de deformación, para método de Taylor se registra en los siguientes tiempos: 0, 0.07, 0.25, 0.5, 1, 1.56, 2.25, 3.06, 4, 5.06, 6.25, 7.56, 9 y 16. Minutos, se dejará la muestra saturada en agua por 24 horas, al día siguiente se aplicará una carga creciente.

Para el método de casa grande se registran en los siguientes tiempos 0.10, 0.25, 0.50, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 15.00, 30.00, 60.00, 120.00, 240.00, 480.00. Minutos y lecturas que serán tomadas por día durante 7 días. (Lectura de deformación contra $\log t$).

Al día siguiente que la muestra está 24 horas saturada en equipo se aplicará una carga, al día siguiente la carga creciente a 1 kg/cm dando a conocer el orden a hacer la carga duplicadas a cada 24 horas de tiempo.

La lectura se la realiza hasta ver un cambio de concavidad en la curva, la misma que indica que la muestra se encuentra en la rama secundaria de la curva de consolidación.

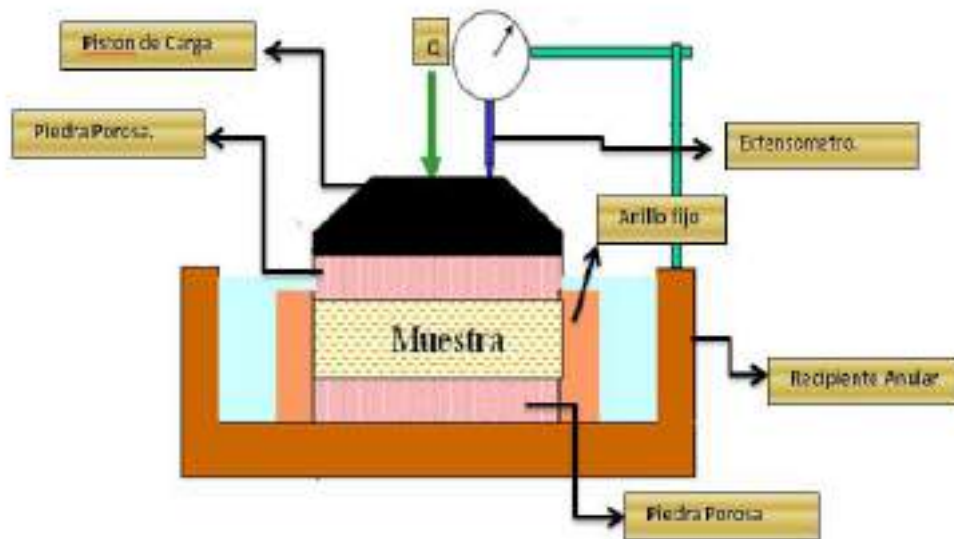
Se realiza el mismo procedimiento incrementando las cargas de la siguiente manera: 10 - 20 - 40 - 80 - 160 - 320 Kg.

Al día siguiente que la muestra está 24 horas saturada en equipo se aplicará una carga, al día siguiente la carga creciente a 1 kg/cm dando a conocer el orden a hacer la carga duplicadas a cada 24 horas de tiempo.

Finalmente, se descarga la muestra ensayada, se retira el consolidómetro del anillo de bronce, se extrae el total de la muestra, se pesa W y se coloca a horno durante 24 horas para determinar el peso seco.

Después de analizar las gráficas de tiempo-deformación, es necesario estudiar el cambio de relación de vacíos del espécimen con la presión.

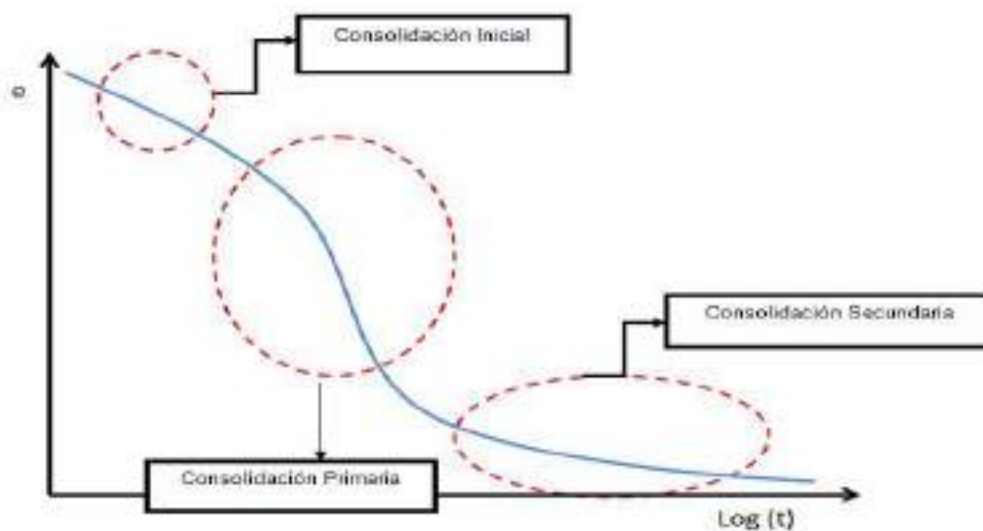
Figura 3. Consolidómetro de anillo fijo



Fuente: (Campoverde Cordova, 2013) Principio de Ingeniería de cimentaciones.

A continuación, se muestra la forma general de la gráfica de deformación del espécimen versus tiempo bajo incremento de carga.

Figura 4. Tiempo-deformación durante la consolidación para un incremento de carga



Fuente: (Campoverde Cordova, 2013) Principio de Ingeniería de cimentaciones.

Consolidación inicial: Reducción de vacíos por eliminación de aire.

Consolidación primaria: Reducción de vacíos por eliminación de poros.

Consolidación secundaria: Reacomodo de partículas sólidas con tensión efectiva constante.

2.7. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD.

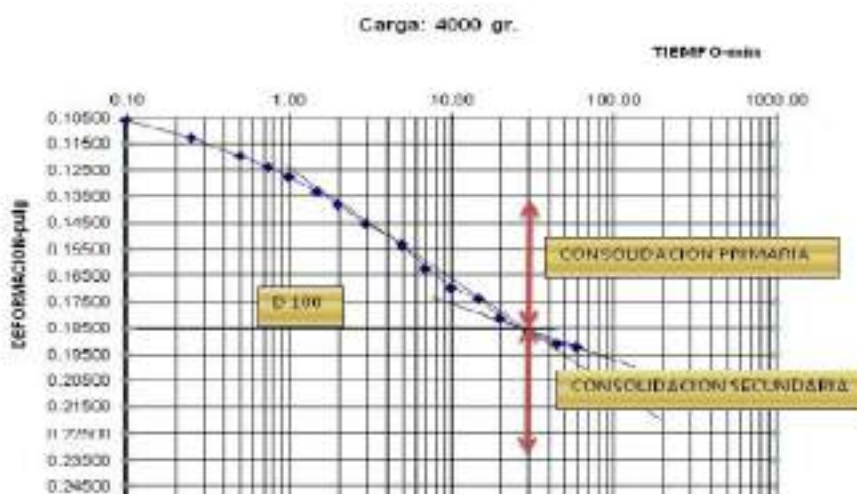
2.7.1. Curvas de consolidación.

A lo largo de todo el ensayo de consolidación se toman lecturas en el extensómetro con el fin de conocer la deformación correspondiente a diferentes tiempos.

Mediante estas lecturas obtenemos coordenadas, las que deben ser graficadas de tal forma que en las abscisas se encuentren valores de los tiempos transcurridos en escala logarítmica y en las ordenadas los valores correspondientes a las deformaciones registradas en el extensómetro, en escala aritmética.

A estas curvas se las conoce como curvas de consolidación, y se obtiene una por cada incremento de carga realizado.

Figura 5. Curva de consolidación para incremento de carga.



Fuente: (Campoverde Cordova, 2013) Principio de Ingeniería de cimentaciones

2.8. MUESTRAS REALES E INALTERADAS.

Los ensayos que se realizan con la finalidad de determinarse propiedades que dependen de la estructura, como es el caso del ensayo edométrico, deben hacerse con muestras inalteradas para obtener resultados de forma directa tratando que estas muestras conserven la forma natural del terreno, de ser posible sin perturbación hasta el momento de realizarse el ensayo.

En la vida real no se puede obtener muestras completamente inalteradas, ya que al tomar la muestra se produce cierto grado de perturbación. La perturbación máxima a la que puede llegar una muestra es su amasado total causando lo siguiente:

Reducción del índice de poros para una presión vertical.

Se nubla la historia de esfuerzos y presión de consolidación del suelo.

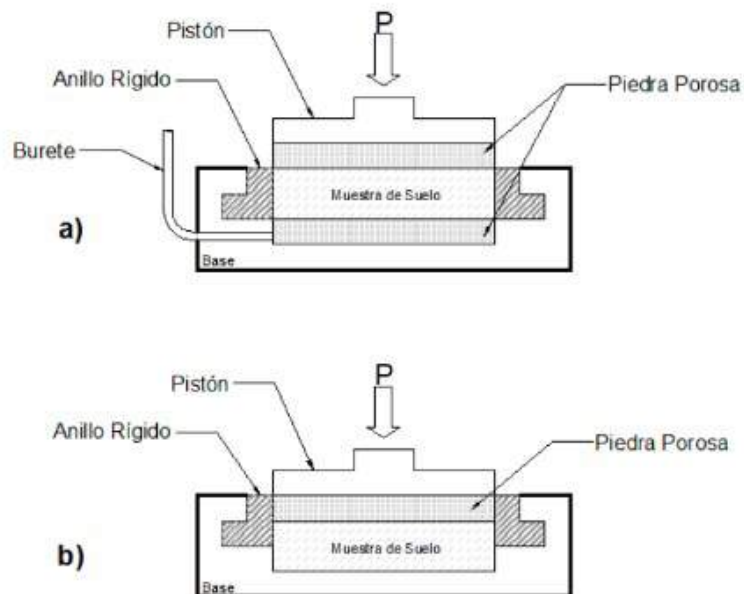
Su índice de compresión primaria disminuye.

En cuanto a la rama de descarga, no sufre cambio apreciable con el amasado.

En las curvas edométricas amasadas (remoldeadas) se necesita eliminar los efectos de perturbación, con la finalidad de obtener una curva correspondiente a la compresión del terreno, esto lo obtenemos sobre una serie de correcciones.

2.9 EDÓMETRO O CONSOLIDÓMETRO

Es un aparato de laboratorio útil para conocer la compresibilidad de un suelo que va a ser objeto de un proceso de consolidación. La muestra inalterada es un suelo tomado en campo y cortado con cuidado para obtener una probeta, que quede ajustada al diámetro del anillo interior, y con altura de una pulgada. Es por eso que el ensayo se realiza en condiciones de compresión confinada, con una muestra saturada.

Figura 6. Formas de edómetros

Fuente: (Campoverde Cordova, 2013) Principio de Ingeniería de cimentaciones.

2.10. ARCILLA NORMALMENTE CONSOLIDADAS Y SOBRECONSOLIDADAS.

Un suelo en el campo a cierta profundidad ha sido sometido a una cierta presión efectiva máxima en su historia geológica. Esta presión puede ser igual o mayor que la presión de sobrecarga existente en el momento del muestreo. La reducción de la presión en el campo puede ser causada por procesos geológicos naturales o procesos humanos.

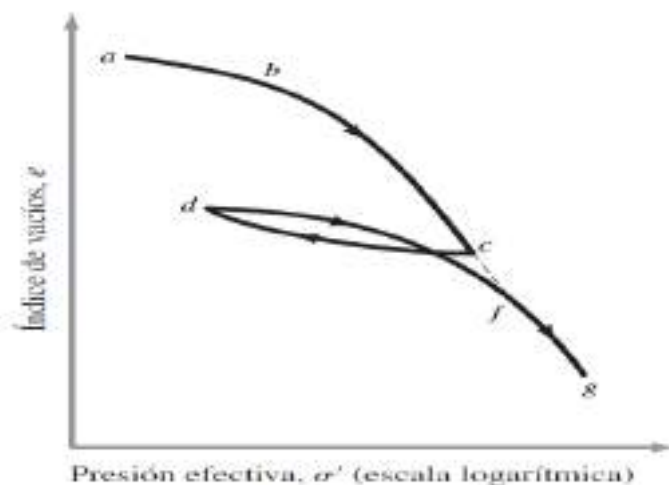
Durante la toma de muestra del suelo, también se libera la presión de sobrecarga efectiva existente, lo que resulta en cierta expansión. Cuando esta muestra se somete a una prueba de consolidación, se producirá una pequeña cantidad de compresión (es decir, un pequeño cambio en el índice de vacíos) cuando la presión total aplicada es menor que la presión de sobrecarga efectiva máxima en el campo a la que el suelo fue sometido en el pasado. Cuando la presión total aplicada sobre la muestra es mayor que la presión efectiva pasada, el cambio en el índice de vacíos es mucho más grande y la relación de vacíos e - $\log \sigma'$ es prácticamente lineal con una pendiente más pronunciada.

Esta relación puede ser verificada en el laboratorio mediante la carga de la muestra para superar la presión de sobrecarga máxima efectiva y, a continuación, descarga y carga de nuevo. La gráfica e-log σ' para estos casos de muestra la figura 7, en la que cd representa descarga y dgf representa el proceso de recarga.

Esto nos lleva a las dos definiciones básicas de la arcilla sobre la base del esfuerzo histórico:

Normalmente consolidada: la presión de sobrecarga efectiva actual es la presión máxima a la que el suelo ha sido sometido en el pasado.

Figura 7. Presión efectiva, σ' (escala logarítmica)



Fuente: (Campoverde Cordova, 2013) Principio de Ingeniería de cimentaciones.

1. Sobreconsolidados: la presente presión de sobrecarga efectiva es menor que la que el suelo ha experimentado en el pasado. La presión máxima efectiva pasada se llama presión de pre consolidación.

La presión efectiva pasada no puede determinarse explícitamente debido a que es generalmente una función de los procesos geológicos y, en consecuencia, debe deducirse de los resultados de pruebas de laboratorio.

Casagrande (1936) sugirió una construcción gráfica siempre para determinar la presión de preconsolidación σ'_c , a partir de la gráfica de laboratorio e-log σ' . El procedimiento es el siguiente: (Ver figura 7).

1. Por observación visual, establecer un punto **a** en el que la dirección de la gráfica e-log σ' tiene un radio mínimo de curvatura.
2. Dibujar una línea horizontal **ab**.
3. Dibujar la línea **ac** tangente en **a**.
4. Dibujar la línea **ad**, que es la bisectriz del Ángulo **bac**.
5. Proyectar la parte recta **gh** de la gráfica e-log σ' y trazar de nuevo para intersectar en **ad** en **f**.

La abscisa el punto f es la presión de preconsolidación, σ'_c .

Ahora se puede definir el índice de compresión (OCR) para un suelo como:

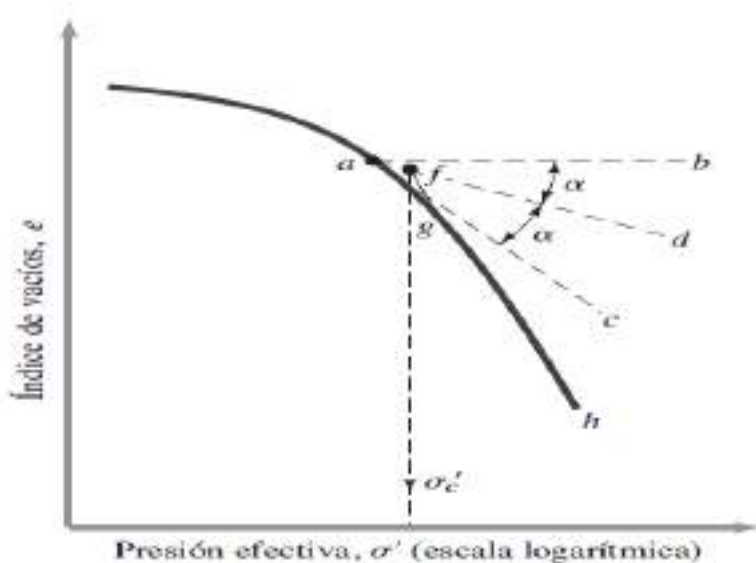
$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'}$$

Donde:

σ'_c = presión de preconsolidación de una muestra.

σ' = presión vertical efectiva presente.

Figura 8. Procedimiento gráfico para determinar la presión de preconsolidación



Fuente: (Campoverde Cordova, 2013) Principio de Ingeniería de cimentaciones.

2.11. CONSOLIDACIÓN DE ASENTAMIENTO A PARTIR DE UNA CONSOLIDACIÓN PRIMARIA EN UNA DIMENSIÓN.

Para considerar una capa de arcilla saturada de espesor H y el área de sección transversal A debajo de una presión de sobrecarga efectiva media existente σ'_o . debido a un aumento de la presión $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$. Por lo tanto, el cambio en el volumen está dado por:

$$\Delta V = V_0 - V_1 = HA - (H - Sp)A = SpA$$

Donde V_0 - y V_1 son el volumen inicial y final, respectivamente. Sin embargo, el cambio en el volumen total es igual al cambio en el volumen de vacíos ΔV_v . Por lo tanto:

$$\Delta V = V_{v0} - V_{v1}$$

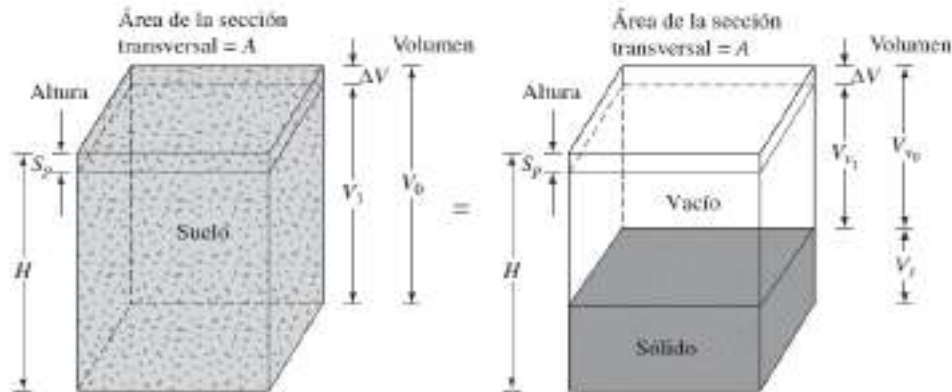
Donde V_{v0} y V_{v1} son los volúmenes vacíos inicial y final, respectivamente. De la definición de índice de vacíos, tenemos:

$$\Delta V_v = \Delta e V_s$$

Donde Δe = variación del índice de vacíos.

$$A = \frac{V_0}{1 + e_0} = \frac{AH}{1 + e_0}$$

Figura 9. Asentamiento causado por una consolidación en una dimensión



Fuente: (Bernate Pineda, 2015)

Donde el índice de vacíos e_0 = índice de vacíos inicial en volumen V_0 .

$$A = SpA = \Delta e V_s \frac{AH}{1 + e_0}$$

$$Sp = H \frac{AH}{1 + e_0}$$

Para arcillas normalmente consolidadas que muestren una relación lineal e-log σ' .

2.12. ÍNDICE DE COMPRESIÓN C_c .

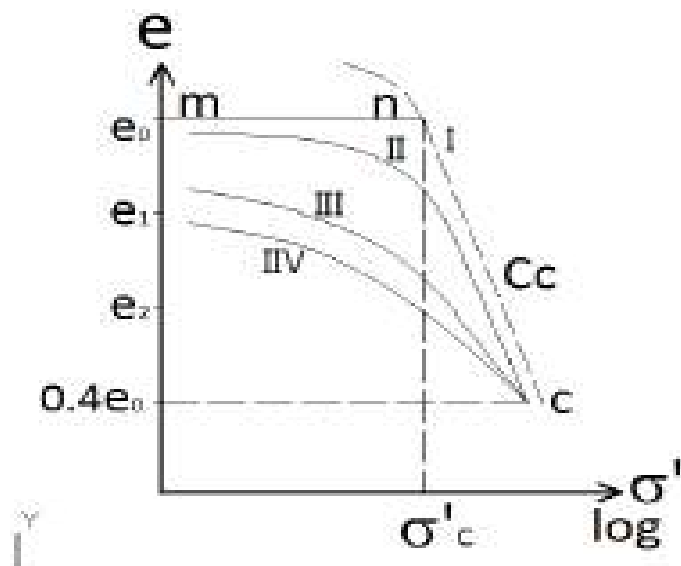
Podemos determinar el índice de compresión para el asentamiento de campo provocado por la consolidación por construcción ver (Figura 10), después de la obtención de resultados de las pruebas de laboratorio para el índice de vacíos y para la presión.

Con base en las observaciones de varias arcillas naturales presentes para el estudio, Rendón-Herrero (1983) dio la relación para el índice de compresión la forma:

$$C_c = 0.141 G_s^{1.2} * \left(\frac{1 + e_0}{G_s}\right)^{2.38}$$

(e) igual forma es la pendiente del tramo recto de la rama de carga de la curva edométrica de II Curva de laboratorio para muestras inalteradas, (Figura 10).

Figura 10. Curva relación de vacíos (e) vs esfuerzo de compresion



Fuente: (Bernate Pineda, 2015).

Se expresa la fórmula:

$$Cc = \left(\frac{e_1 + e_2}{\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)} \right)$$

Dependiendo del tramo seleccionado, se estará obteniendo Cc.

Su relación con el cambio de relación de vacíos, se sabe que su valor típico de Cc en las arcillas normalmente consolidadas es $0.005 < Cc < 0.05$; en las preconsolidadas menos de 0.002.

Arcilla Normalmente Consolidada: Es aquella que nunca en su historia geológica ha soportado las cargas actuales. Ésta es más compresible.

Arcilla preconsolidada: Es aquella que recibe hoy cargas menores de las que en su historia geológica ha tenido. Esta arcilla es más dura.

2.13. MÉTODOS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DRENADA.

2.13.1. Método de Casa Grande.

El método presentado por Casa Grande consiste básicamente en determinar sobre esa curva el tiempo en el cual se desarrolla el 50% de la consolidación primaria. Para lo cual se sigue los siguientes procedimientos y se puede ver en la Figura 11 para poder realizar la gráfica (Bernate J. C., 2015).

El procedimiento para hallar el coeficiente de consolidación es:

1. Buscar el punto máximo de la curva que llamaremos d_1 y le trazamos la horizontal.
2. Ese tiempo d_1 lo multiplicamos por 4, el dato lo representamos en la gráfica y le trazamos una horizontal.
3. La diferencia de distancias de esos dos puntos Δd , si la restamos al punto d_1 encontraremos nuestro punto d_0 .
4. Ahora tendremos que hallar el d_{100} , para esto lo podemos fijar como el punto donde acaba la consolidación primaria y empieza la segunda, o como la intersección de las tangentes de las curvas consolidación primaria y consolidación secundaria.
5. Para hallar nuestro d_{50} es necesario usar la siguiente fórmula:

$$d_{50} = \frac{d_{100} + d_0}{2}$$

Lo que hallamos es el punto donde va el 50% de la consolidación. Le trazamos una horizontal y buscamos en qué punto corta la curva, y así hallamos el t_{50} .

Con esta fórmula podemos hallar nuestro coeficiente de consolidación C_v :

$$Cv = \frac{0.197 * Hdr^2}{t_{50}}$$

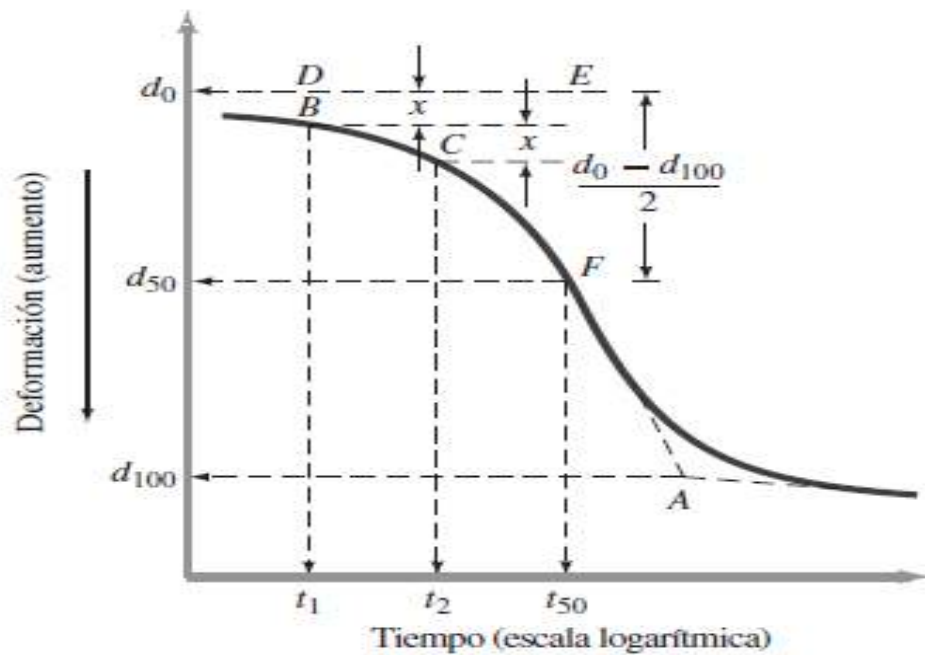
Donde:

Hdr= Altura promedio de la muestra.

t_{50} = Tiempo en el que ocurre el 50 % de la consolidación.

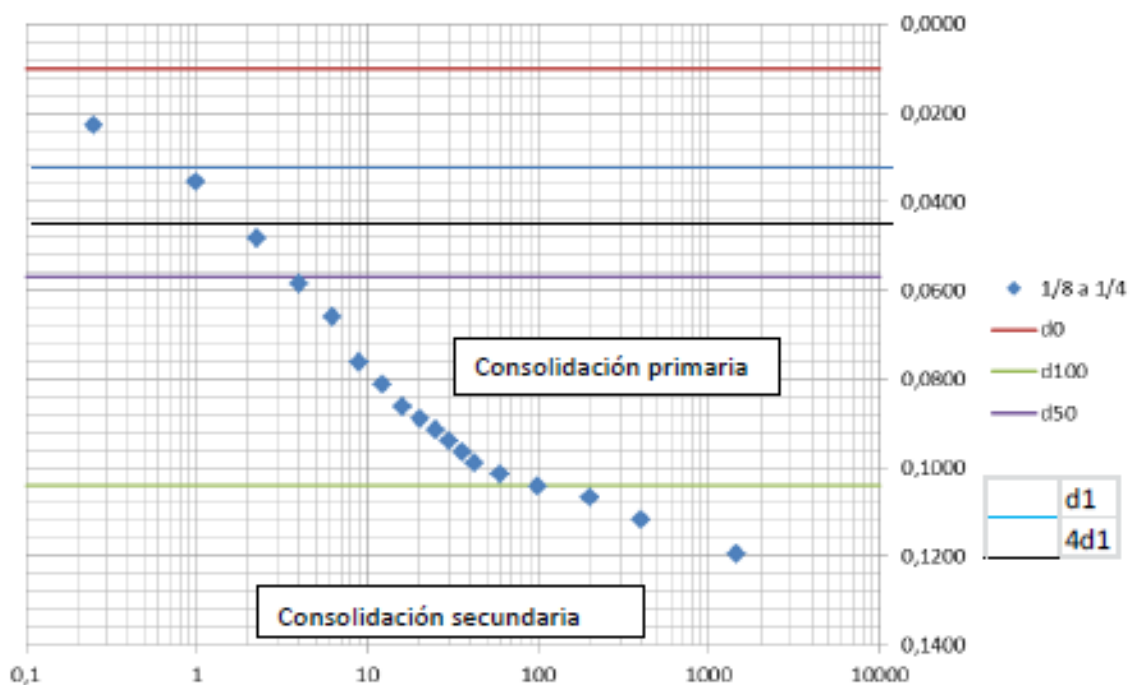
El método de Casagrande consiste en realizar una gráfica deformación versus logaritmo del tiempo, mediante la cual se obtiene el tiempo en el cual ocurre el cincuenta por ciento de la consolidación t_{50} como se muestra en la (figura 11).

Figura 11. Método de Casagrande



Fuente: (Bernate Pineda, 2015)

Figura 12. Método de Casagrande, ϵ contra $\log \sigma'$



Fuente: (Bernate Pineda, 2015)

2.13.2. Metodo de Taylor

De la construcción de la gráfica deformación versus raíz del tiempo, aplicando el método de Taylor se obtuvo el tiempo en el cual ocurre el noventa por ciento de la consolidación t_{90} como se observa en la figura 12.

El procedimiento para determinar el coeficiente de consolidación es:

1. Graficar la lectura del dial o la deformación vertical (según como se quiera tomar) contra la raíz del tiempo en que se da esas lecturas.
2. Hallar la mejor línea recta en el principio de la curva, como se observa en la Figura 10, ésta tiende a ser recta, la prolongamos hasta que llegue al eje de las abscisas, la llamaremos recta inicial y tendrá color azul.

3. En el dato donde pegue esa recta con el eje de las abscisas lo multiplicamos por 1,15.
4. Trazamos otra recta pero esta vez desde el punto donde inició nuestra recta inicial, hasta el punto de las abscisas represente el dato de la multiplicación del dato anterior por 1,15, como se ve en la Figura 12 la llamaremos recta t_{90} y será de color rojo.
5. El punto donde corte la curva de nuestra Gráfica 10 y la recta t_{90} será nuestro d_{90} y t_{90} .
6. Verificamos que el proceso de consolidación llegó a su 100 % de esta forma

$$d_{100} = d_0 - \frac{10}{9}(d_0 - d_{90})$$

Donde el d_{100} es la lectura del dial o la deformación vertical, donde se llega al 100% de la consolidación para esa carga.

d_0 va a ser nuestro punto inicial donde será el origen de nuestra recta inicial.

d_{90} es el punto donde corta la recta t_{90} con la curva de nuestra Figura 12

La ecuación para hallar el coeficiente de consolidación C_v es:

$$C_v = \frac{0.848 * Hdr^2}{t_{90}}$$

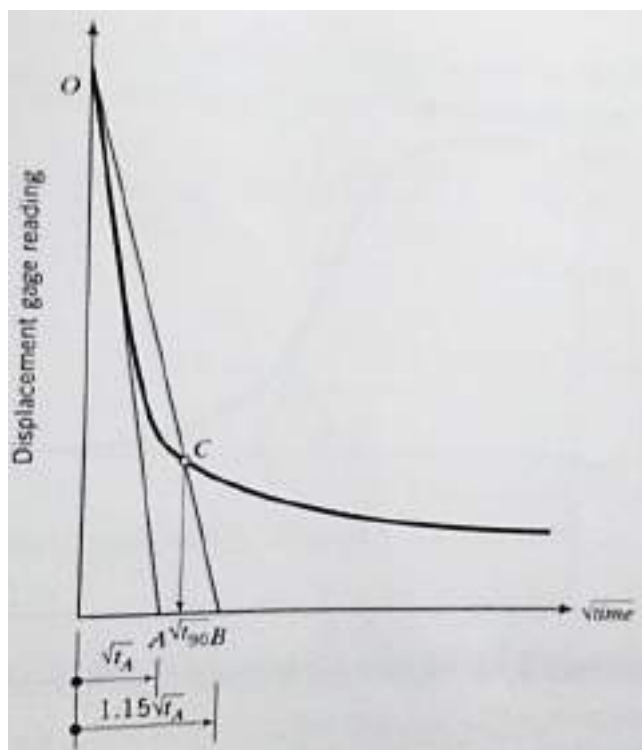
Donde:

Hdr= Altura promedio de la muestra.

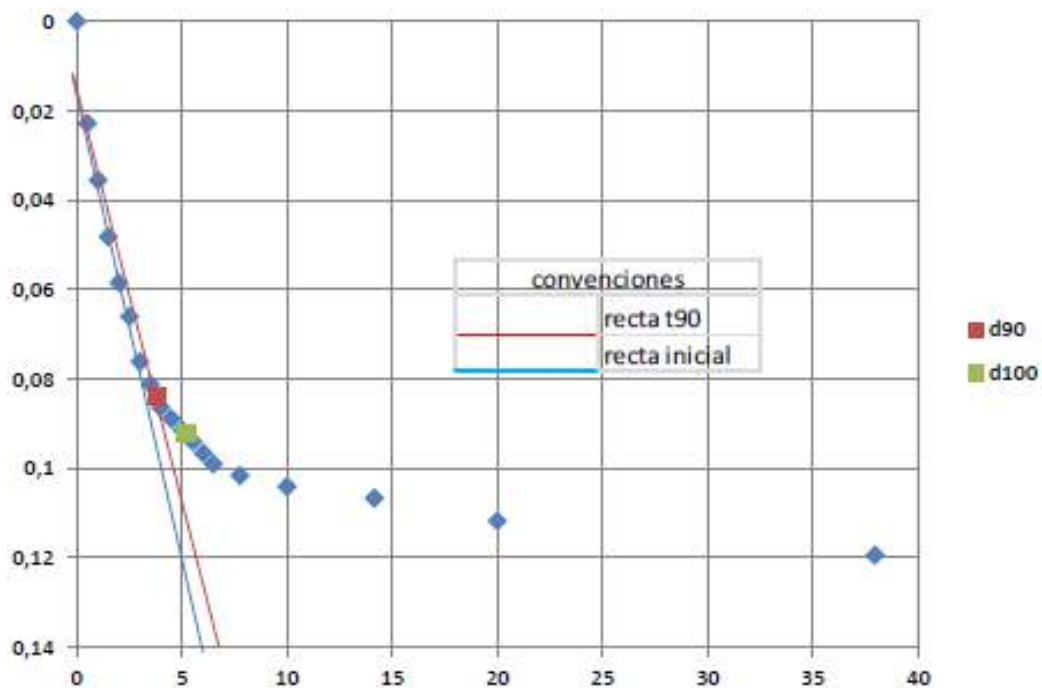
t_{90} = Tiempo en el que ocurre el 90 % de la consolidación.

t_{90} el dato que obtuvimos previamente, pero elevado a la dos.

Figura 13. Método de Taylor



Fuente: (Bernate Pineda, 2015)

Figura 14. Método de Taylor, ε contra \sqrt{t} 

Fuente: (Bernate Pineda, 2015)

2.14. CONDICIONES DE CONSOLIDACIÓN DRENADA Y NO DRENADA.

Las condiciones de consolidación drenada, es cuando la presión intersticial es disipada en el proceso de aplicación de los esfuerzos de corte en el suelo (Bernate J. C., 2015).

Se dice que una condición es drenada cuando el agua es capaz de fluir hacia afuera o hacia adentro de la masa del suelo, si es sometida a una carga y no se producen presiones de poros (Suarez, 2000).

Las condiciones no drenada, es cuando la presión intersticial NO es disipada en el proceso de corte en el suelo.

Se dice que una condición es “no-drenada” cuando el agua no es capaz de fluir en el momento en el cual el suelo está sometido a una carga y se produce entonces la presión de poros. Esto se debe a que el agua no se puede mover libremente como respuesta a la tendencia al cambio del volumen de vacíos por acción de la carga (Suarez, 2000).

2.15. MARCO NORMATIVO DE LOS MÉTODOS APLICADOS.

2.15.1. Suelos cohesivos.

Son suelos que poseen características de cohesión y plasticidad. Dichos suelos pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico, que les importen cohesión y plasticidad o pueden ser arcillas o limos orgánicos sin componentes granulares.

2.15.2. Granulometría por tamizado (ASTM D422; AASHTO T88).

Este ensayo determina de forma cuantitativa el tamaño de las partículas del suelo contenido en cada uno de los tamices definidos en la norma y nos sirve para clasificar el suelo de acuerdo a la distribución granulométrica de las partículas que conforman la muestra de suelo que se esté estudiando.

El procedimiento consiste en acomodar los tamices de forma descendente dejando arriba el de mayor abertura y dejar pasar las partículas hasta llegar al de menor abertura para después pesar el suelo retenido en cada tamiz y con estos datos se genera una gráfica que muestra la distribución de los tamaños y el % que pasa y es llamada la curva granulométrica (Bernate J. C., 2015).

2.15.3. Contenido de humedad (ASTM D2216).

Este ensayo determina el contenido de agua por masa de suelo, roca y mezclas de suelo. El procedimiento consiste en determinar el tamaño máximo nominal, se debe a pesar la muestra y el peso del recipiente, se deben registrar los pesos por aparte, luego se toma la muestra y se lleva al horno hasta conseguir que el peso de muestra registre masa constante y se registra el resultado obteniendo el porcentaje de humedad.

2.15.4. Clasificación.

2.15.4.1. Sistemas de clasificación unificada (SUCS).

El sistema de clasificación unificado USCS (Unified Soil Classification System), designación ASTM D-2487, originalmente fue desarrollado por A. Casagrande (1948) para la construcción de aeródromos durante la segunda guerra mundial. Este sistema de clasificación fue posteriormente modificado en 1952 por el mismo autor y el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos quienes hicieron que este sistema sea más aplicable a los propósitos ingenieriles, es decir que ya no era sólo aplicable al campo de la aviación. Este sistema de clasificación actualmente goza de amplia aceptación y es el preferido por la mayor parte de los ingenieros en todo el mundo.

Tabla 7. Tabla de clasificación SUCS.

Divisiones mayores			Símbolo del grupo	Nombre del grupo	
Suelos granulares gruesos más del 50% retenido en el tamiz N°200 (0.075 mm)	Grava > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4 (4.75 mm)	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz N°200	GW	Grava bien graduada, grava fina a gruesa	
			GP	Grava pobremente graduada	
		Grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz N° 200	GM	Grava limosa	
			GC	Grava arcillosa	
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz N°4	Arena limpia	SW	Arena bien graduada, arena fina a gruesa.	
			SP	Arena pobremente graduada	
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz N° 200	SM	Arena limosa	
			SC	Arena arcillosa	
	Suelos de grano fino más del 50% pasa el tamiz N°200	Limos y arcillas límite líquido < 50	Inorgánico	ML	Limo
				CL	Arcilla
Orgánico			OL	Limo orgánico, arcilla orgánica	
Limos y arcillas límite líquido ≥ 50		Inorgánico	MH	Limo de alta plasticidad, limo elástico	
			CH	Arcilla de alta plasticidad	
		Orgánico	OH	Arcilla orgánica, Limo orgánico	
Suelos altamente orgánicos			PT	Turba	

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 7, el sistema de clasificación SUCS está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Este sistema de clasificación también se basa en la gráfica de plasticidad, que fue obtenida por medio de investigaciones realizadas en laboratorio por A. Casagrande (1932).

2.15.5. Ensayo de consolidación unidimensional drenada norma (ASTM D-2435).

El método requiere que una muestra del suelo sea restringida lateralmente y que se cargue axialmente con incrementos constantes de carga, aplicados hasta que todo exceso de la presión de agua en los poros se disipe, para cada incremento. Durante el proceso de compresión se efectuarán medidas de la disminución del espesor de la muestra, datos que se usarán para calcular los parámetros que describen la relación entre el esfuerzo efectivo y la relación de vacíos o deformación, así como la rata a la cual pueda ocurrir ésta.

2.15.6. Marco normativo.

Para la realización de la investigación se tomará en cuenta las siguientes normas.

Tabla 8. Marco normativo.

Norma	Descripción	Síntesis
ASTM D-2435	Comprende un procedimiento para determinar la velocidad y la magnitud de la consolidación del suelo cuando éste está confinado lateralmente y además está cargado y drenado axialmente.	Tal como se determina en este ensayo, es una de las propiedades más útiles que pueden ser obtenidas de los ensayos de laboratorio. Los datos del ensayo de consolidación pueden ser utilizados para desarrollar un estimado de la velocidad y la cantidad de los asentamientos totales y diferenciales de una estructura o un terraplén. De esta manera, los valores calculados son frecuentemente de importancia clave, en primer lugar en la selección del tipo de cimentación y en segundo lugar en la evaluación de su competencia.
ASTM D 4546	Estos métodos de ensayo pueden ser usados para determinar: a) La magnitud del hinchamiento o asentamiento bajo una presión vertical conocida. b) La magnitud de presión vertical necesaria para mantener sin variación el volumen de especímenes axialmente cargados y lateralmente confinados.	Estos métodos de ensayo cubren tres métodos alternativos de laboratorio para determinar la magnitud de hinchamiento o asentamiento de suelos cohesivos relativamente inalterados o compactados
ASTM D 3550	Para este ensayo generalmente se utilizan bloques inalterados grandes.	El almacenamiento de muestras inalteradas deberá ser para que no se pierdan humedad y que no haya evidencia de secamiento parcial ni de contracción de los extremos de la muestra. El tiempo de almacenamiento deberá reducirse al mínimo

Fuente: Elaboración propia.

2.16. ANÁLISIS DEL AUTOR.

Se puede resumir que el método de Casagrande consiste en realizar una gráfica de deformación versus logaritmo del tiempo, mediante la cual se obtiene el tiempo en el cual ocurre el cincuenta por ciento de la consolidación t_{50} .

Mientras que el método Taylor se tiene de la construcción de la gráfica deformación versus raíz del tiempo, aplicando el método de Taylor se obtuvo el tiempo en el cual ocurre el noventa por ciento de la consolidación t_{90} .

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

3.1. GENERALIDADES.

En esta sección se presenta paso a paso todos los procedimientos que se llevan a cabo para realizar los levantamientos de información y de muestras de suelos para después poder realizar los diferentes ensayos que permitirán describir y analizar las propiedades del suelo natural.

Para ello primeramente se debe identificar el tipo de suelo a ser estudiado en la presente investigación lo cual se ha escogido la arcilla y limos, suelos cohesivos. El estudio se focaliza en el área provincia Cercado-Tarija, principalmente por ser la unidad territorial con relieve ondulado con alguna presencia de arcilla limosa y arcillosos en el subsuelo, moderadamente profundo y moderadamente bien drenados por lo cual la retención de líquidos es mínima.

3.1.1. Ubicación.

Las muestras recolectadas para la investigación es un muestreo no probabilístico, la técnica a usar será el muestreo causal o accidental para obtener muestras representativas donde se deberá realizar un sondeo que se hizo de diferentes distritos, barrios de la provincia cercado Tarija con el fin de caracterizar suelos de alta plasticidad y baja plasticidad para así poder obtener muestras de diferentes zonas del área Urbana.

Figura 15. Mapa de la zona de estudio para la extracción de muestras de suelos.



Fuente: (Google Earth, 2019)

3.1.1.1. Distrito Urbano 12, Zona Miraflores.

La zona de Miraflores ubicada en la provincia Cercado del departamento de Tarija que limita al norte con san Lorenzo al sur Tolomosa al este con Santa Ana y al oeste con Guerrahuaico. Se encuentra ubicada a 3 km del centro de la ciudad de Tarija provincia Cercado.

Figura 16. Imagen satelital de la zona de extracción de muestra en Miraflores



Fuente: (Google Earth, 2019)

La ubicación geográfica del punto de extracción son las siguientes coordenadas:

Latitud: $-21^{\circ}33'14.6''S$

Longitud: $-64^{\circ}43'55.4''W$

Elevación: 1891m.s.n.m.

La ubicación Coordenadas (UTM) :

Coordenada Este: 20642.12 m E

Coordenada Norte: 7615535.33 m S

3.1.1.2. Distrito 12, zona San Blas.

La zona de San Blas ubicada en la provincia Cercado del departamento de Tarija que limita al norte con San Lorenzo al sur Chocloca al este con Santa Ana y Cieneguillas y al oeste con Méndez. Se encuentra ubicada a 6.2 km del centro de la ciudad de Tarija provincia Cercado.

Figura 17. Imagen satelital de extracción de muestra en la zona de San Blas



Fuente: (Google Earth, 2019)

La ubicación geográfica del punto de extracción son las siguientes coordenadas:

Latitud: $-21^{\circ}35'25.7''S$

Longitud: $-64^{\circ}42'21.6''W$

Elevación: 1862 m.s.n.m

La ubicación Coordenadas (UTM) :

Coordenada Este: 323384.97 m E

Coordenada Norte: 7611533.17 m S

3.1.1.3. Distrito 9, Barrio Constructor.

El barrio Constructor está ubicado en la provincia Cercado del departamento de Tarija que limita al norte con Carachi Mayu al sur Padcaya al este con Santa Ana y al oeste con Guerrahuaico. Se encuentra ubicada a 3.8 km del centro de la ciudad de Tarija provincia Cercado.

Figura 18. Imagen satelital de extracción de muestras en el barrio Constructor



Fuente: (Google Earth, 2019).

La ubicación geográfica del punto de extracción son las siguientes coordenadas:

Latitud: -21°31'08.0"S

Longitud: -64°42'53.7"W

Elevación: 1899 m.s.n.m

La ubicación Coordenadas (UTM) :

Coordenada Este 322374.48 m E

Coordenada Norte: 7619448.48 m S

3.1.1.4. Distrito 10, Barrio Torrecillas.

El barrio Constructor está ubicado en la provincia Cercado del departamento de Tarija que limita al norte con Sella Méndez al sur Uriondo al este con Santa Ana y al oeste con Méndez. Se encuentra ubicada a 11 km del centro de la ciudad de Tarija provincia Cercado.

Figura 19. Imagen satelital de extracción de muestras en el barrio Torrecillas



Fuente: (Google Earth, 2019)

La ubicación geográfica del punto de extracción son las siguientes coordenadas:

Latitud: -21°33'20.5"S

Longitud: -64°39'55.9"W

Elevación: 1867 m.s.n.m

La ubicación Coordenadas (UTM):

Coordenada Este: 327534.61 m E

Coordenada Norte: 615428.96 m S

3.1.1.5. Distrito 7, Barrio Los Chapacos.

El barrio Los Chapacos está ubicado en la provincia Cercado del departamento de Tarija que limita al norte con San Lorenzo al sur Chocloca al este con Carlazo y al oeste con Iscayachi. Se encuentra ubicada a 5 km del centro de la ciudad de Tarija provincia Cercado.

Figura 20. Imagen satelital de extracción de muestras en el barrio los Chapacos



Fuente: (Google Earth, 2019)

La ubicación geográfica del punto de extracción son las siguientes coordenadas:

Latitud: $-21^{\circ}29'58.1''S$

Longitud: $-64^{\circ}44'14.1''W$

Elevación: 1939 m.s.n.m

La ubicación Coordenadas (UTM):

Coordenada Este: 320036.84 m E

Coordenada Norte: 7621572.68 m S

3.1.1.6. Distrito 10, Barrio San Jorge II.

El barrio San Jorge II está ubicado en la provincia Cercado del departamento de Tarija que limita al norte con Sella Méndez al sur Padcaya al este con Santa Ana y al oeste con Méndez. Se encuentra ubicada a 7 km del centro de la ciudad de Tarija provincia Cercado.

Figura 21. Imagen satelital de extracción de muestras en el barrio San Jorge II



Fuente: (Google Earth, 2019)

La ubicación geográfica del punto de extracción son las siguientes coordenadas:

Zona 6		Coordenadas (UTM)		
		Latitud	Longitud	Elevación
Muestra 6	B/San Jorge II	21°33'27.5"S	64°41'08.9"W	1863 m.s.n.m

Latitud: -21°33'27.5"S

Longitud: -64°41'08.9"W

Elevación: 1863 m.s.n.m.

La ubicación Coordenadas (UTM) :

Coordenada Este: 325436.67 m E

Coordenada Norte: 7615191.10 m S

3.1.1.7. Distrito 10, Barrio Juan Nicolai.

El barrio Juan Nicolai está ubicado en la provincia Cercado departamento de Tarija que limita al norte con Sella Méndez al sur Padcaya al este con Santa Ana y al oeste con Guerrahuaico Se encuentra a 4.5 km del centro de la ciudad de Tarija provincia Cercado.

Figura 22. Imagen satelital de extracción de muestras en el barrio Juan Nicolai



Fuente: (Google Earth, 2019)

La ubicación geográfica del punto de extracción son las siguientes coordenadas:

Latitud: -21°53'62.7"S

Longitud: -64°70'47.5"W

Elevación: 1893 m.s.n.m.

La ubicación Coordenadas (UTM):

Coordenada Este: 323448.00 m E

Coordenada Norte: 7617535.00 m S

3.1.2. Caracterización de las zonas.

El plan de Uso del Suelo (PLUS) es un instrumento técnico normativo del ordenamiento territorial que determinan las opciones de utilización del suelo de manera sostenible, para cada espacio geográfico, en función de su aptitud, potencialidades y limitaciones. Describe lo siguiente:

La provincia cercado Tarija son tierras frágiles debido a: fuertes pendientes, poca profundidad de los suelos, factores climáticos, tales como escasas precipitaciones anuales o muy bajas temperaturas, o una incipiente cobertura vegetal. Estas condiciones indican que estas tierras no son aptas para la actividad agropecuaria o forestal sostenible y sugieren priorizar la protección de los suelos, vegetación y recursos hídricos. La cobertura vegetal en estas tierras generalmente cumple un papel fundamental de regulación ambiental, protegiendo los suelos y recursos hídricos.

La zona urbana de la provincia cercado con distritos y también barrios es caracterizado una zona con relieve levemente ondulado; ligeramente erosionados y levemente pedregosos, predominan suelos moderados a fuerte desarrollo de texturas superficiales arcillosas arenosas en superficie y arcillosa en profundidad a veces compactada y con sustrato de pedregoso a partir de los 60 cm apropiadamente.

3.1.3. Criterios para la obtención de muestras.

Para obtener la estructura de los suelos intactos son muestras relativamente inalteradas para el ensayo de consolidación para no perder su compresibilidad, depende del criterio del ingeniero, en este caso las muestras serán tomadas sin ningún tubo o contacto que tengan los terrones de suelos.

En bloques: Suelo cohesivo que se puede romper en pequeños terrones angulosos resistentes a una rotura adicional.

Homogénea: Un solo color y apariencia uniforme.

Los estratos se habían mantenido a 3 metros hasta 4 metros, en el barrio Torrecillas a 3.5 metros y en los barrios Los Chapacos, San Blas, San Jorge II, Juan Nicolai, El Constructor y Miraflores los estratos se mantienen. Las muestras extraídas fueron a profundidades de 4 metros unas de menos y otras de más, estaban removiendo suelo a partir de ahí se accedió por la parte superficial para hacer una excavación de 1 metro, hasta encontrar muestras sólidas. Se ha unificado todo a 1 metro basándome a la Norma de presión admisible.

Presiones admisibles en el terreno de cimentación.

Tabla 9. Estimación de altura de profundidades

Naturaleza del terreno	Presión admisible en kg/cm ² , para profundidad de cimentación en m de:				
	0	0.5	1	2	≥3
1. Rocas (1)					
No estratificadas	30	40	50	60	60
Estratificadas	10	12	16	20	20
2. Terrenos sin cohesión (2)					
Graveros	-	4	5	6.3	8
Arenosos gruesos	-	2.5	3.2	4	5
Arenoso finos	-	1.6	2	2.5	3.2
3. Terrenos coherentes					
Arcillosos duros	-	-	4	4	4
Arcillosos semiduros	-	-	2	2	2
Arcillosos blandos	-	-	1	1	1
Arcillosos fluidos	-	-	0.5	0.5	0.5
4. Terrenos deficientes	En general resistencia nula, salvo que se determine experimentalmente el valor admisible.				
Fangos					
Terrenos orgánicos					
Rellenos sin consolidar					

Fuente: (Olivella, 2013)

3.1.3.1. Muestreo de suelos.

La primera fase de la investigación consiste en realizar el muestreo del suelo objeto de estudio siguiendo los lineamientos del programa de muestreo y exploración de suelo expuesto en el libro de fundamentos de la mecánica de suelos Juares Badillo y Rico Rodríguez.

El muestreo del suelo es tan importante como cualquier otro ensayo de una investigación, ya que por medio de esto se obtienen muestras representativas que sirven para conocer las propiedades físicas del suelo.

3.1.3.2. Selección de técnicas de muestreo.

Se utilizará un muestreo no probabilístico, la técnica a usar será el muestreo causal o accidental, porque se identificó lugares donde se pueden extraer las muestras necesarias para la investigación cuando ocurría un proceso de excavaciones con maquinaria, lo cual ayudó para extraer terrones de suelos.

3.1.4. Extracción de muestras.

3.1.4.1. Equipo.

Para la recolección de muestra se utilizarán los siguientes equipos:

Picota.- Instrumento que servirá para realizar la excavación y poder extraer el suelo con mayor facilidad.

Pala.- Instrumento que servirá para recolectar el suelo y poder almacenar las muestras en las bolsas plásticas o papel estañado para conservar la humedad natural del suelo.

Bolsas de hule.- Estas bolsas tienen la ventaja que son duras para el transporte y así poder contener el contenido de humedad natural de la muestra.

3.1.4.2. Memoria fotográfica de la extracción de las muestras.

3.1.4.2.1. Muestra 1 zona Miraflores.

Inspección del lugar antes de hacer la extracción de muestras de suelos

Figura 23. Inspección visual para la extracción de suelos zona Miraflores



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Extracción de la muestra 1 en la zona de Miraflores



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.2.2. Muestra 2 Zona San Blas.

Extracción de la muestra y levantamiento de la muestra en la zona San Blas.

Figura 25. Inspección visual para la extracción de suelos en la zona de San Blas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Extracción de la muestra 2 en la zona de San Blas



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.2.3. Muestra 3, barrio Constructor.

Inspección del lugar antes de hacer la extracción de muestras de suelos y extracción de la muestra 3.

Figura 27. Inspección visual para la extracción de suelos en el barrio Constructor



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.2.4. Muestra 4, barrio Torrecillas

Inspección del lugar antes de hacer la extracción de muestras de suelos y extracción de la muestra 4.

Figura 28. Extracción de la muestra 4 en el barrio Constructor



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.2.5. Muestra 5 del barrio Los Chapacos.

Extracción de las muestras de suelos en el barrio de Los Chapacos.

Figura 29. Extracción de la muestra 5 en el barrio Los Chapacos



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.2.6. Muestra 6 del barrio San Jorge II.

Extracción de la muestra de suelos en el barrio San Jorge II.

Figura 30. Extracción de la muestra 6 en el barrio San Jorge II



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Preparación para la extracción de la muestra 6 en el barrio San Jorge II



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.2.7. Muestra 7 del barrio Juan Nicolai.

Extracción de la muestra de suelos en el barrio Juan Nicolai.

Figura 32. Extracción de la muestra 7 en el barrio Juan Nicolai



Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Procedimiento experimental.

El desarrollo del procedimiento experimental a continuación descrito viene analizando los tipos de suelos utilizados para el presente trabajo de investigación la misma es la adquisición de datos desde los ensayos convencionales como ser desde contenido de humedad, hasta el ensayo consolidación (edómetro).

Tabla 10. Ensayos a desarrollar

Ensayos	Norma
Contenido de humedad	ASTM D-2216
Peso específica	ASTM D-854
Análisis Granulométrico	ASTM D-136
Análisis Granulométrico por hidrómetro	ASTM D-522
Limites líquido y plástico	ASTM D-4318

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Obtención de datos experimentales.

Después de definir el sitio para extraer el material, se procede a clasificarlo de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos, realizando los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico y contenido de humedad con el objetivo de comprobar que el material corresponde al que se necesitará para realización del proyecto, a continuación, se describen los ensayos realizados para caracterización mecánica de los distintos materiales de suelos.

3.1.6.1. Determinación del contenido de humedad (ASTM D2216).

Este ensayo determina el contenido de humedad (o contenido de agua) de los suelos, y la forma en que la cantidad de agua en los suelos puede influir en su comportamiento.

La medición del contenido de humedad, tanto en el estado natural como bajo ciertas condiciones de prueba definidas, puede proporcionar un método extremadamente útil para clasificar los suelos cohesivos y evaluar sus propiedades de ingeniería.

El concepto de humedades en los suelos, se define como la cantidad de agua que se encuentra dentro de una muestra de suelo y se expresa en porcentaje.

$$W(\%) = \frac{Pa}{Pss} * 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad (%).

Pa = Peso del agua presente en el agua (gr).

Pss = Peso del suelo secado al horno (gr).

Dentro del suelo, el agua se presenta en dos formas; libre y retenida.

El agua libre: Es el agua que circula a través del suelo sin dificultad alguna y por la acción de la gravedad puede ser drenada.

El agua retenida: Se encuentra retenida dentro del suelo y la causa de su formación se define como:

Agua higroscópica: Es la que absorbe el suelo de la humedad del aire.

Agua capilar: Es la retenida por efecto de la tensión superficial.

La muestra que se tome para la determinación de la humedad deberá ser representativa del suelo cuya humedad se desea conocer. Si dicha muestra de humedad va ser tomada en el campo y transportada al laboratorio para hacer la determinación correspondiente, deberá colocarse en un recipiente que tenga un cierre hermético para evitar la pérdida de humedad por los cambios de temperatura durante el transporte.

Para el empleo dentro de los ensayos se procedió a usar una porción pequeña se suelo, aproximadamente unos 50gr a 150gr. Y lo cual describimos a continuación:

Figura 33. Ensayo de contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Contenido de humedad

Contenido de humedad natural %							
Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
% W	3.15	4.29	2.19	1.43	3.11	7.27	7.25

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6.2 Determinación del peso específico (ASTM D-854 AASHTO T-100).

Clasificación SUSC, cálculos de peso específico de las muestras:

Tabla 12. Peso específico

Peso específico relativo (gr/cm ³)							
Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
W (gr/cm ³)	2.627	2.573	2.548	2.688	2.254	2.263	2.341

Fuente: Elaboración propia.

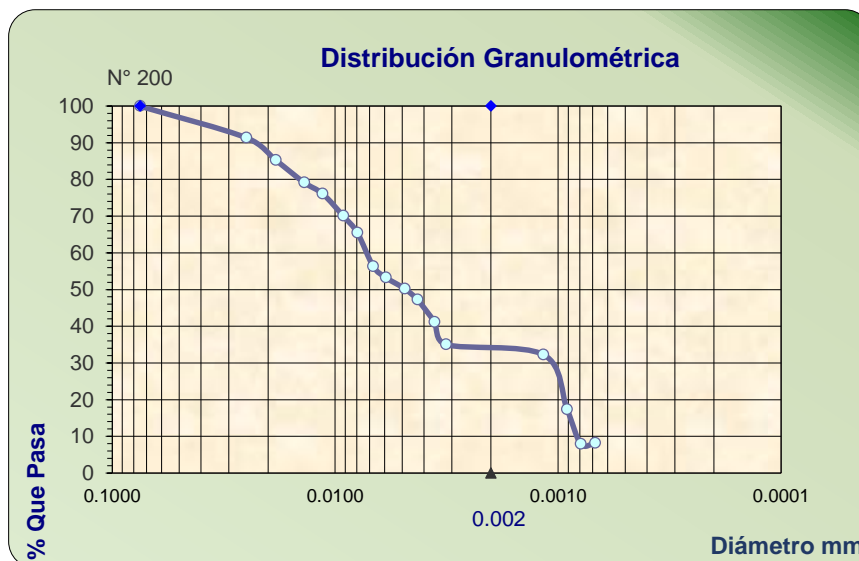
Figura 34. Ensayo peso específico

Fuente: Elaboración propia

3.1.6.3. Análisis granulométrico por el método de hidrómetro (ASTM D422).

Este análisis está regulado por la norma ASTM D 422, en la cual tomamos una cantidad de suelo seco colocándolo en un recipiente junto con un agente dispersante durante un tiempo mínimo de 12 horas. Transcurrido el tiempo, el compuesto es transferido al recipiente de un agitador mecánico, en el cual es mezclado por 1 minuto. Seguidamente, colocamos la muestra en un cilindro de sedimentación graduado y agregamos agua destilada hasta una medida indicada. Tapando con la mano o un tapón adecuado agitamos vigorosamente por 60 segundos. Ponemos en marcha el cronómetro e introducimos lentamente el hidrómetro en la muestra en suspensión. Procedemos a tomar lecturas con el hidrómetro a diferentes intervalos, y luego lo extraemos colocándolo en un cilindro con agua limpia. Como parte del ensayo, registramos la temperatura con un termómetro. Una vez obtenidos los datos se hacen los cálculos, correcciones y gráficos correspondientes. Los resultados se expresan mediante una curva granulométrica, en la que se tenga en cuenta también la fracción de suelo evaluada mediante el método de tamizado. En la curva granulométrica deben leerse el porcentaje de limo más arcilla y el porcentaje de arcilla.

Gráfica 3. Muestra 1 de la zona Miraflores



Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que el porcentaje de granos es superior a 50% lo cual quiere decir que es un suelo fino con alto contenido de arcilla, para clasificar es necesario el resultado de los ensayos de límites de Atterberg.

Resultados de la muestra 1 de barrio Miraflores

% Pasa 200 =	100
% Limo Parcial =	54.46
% Arcilla Parcial =	45.54
% Pasa 200 del Total =	95.75
% Limo del Total =	52.14
% Arcilla del Total =	43.61

Figura 35. Ensayo de granulometría por el método de lavado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Ensayo hidrómetro

Fuente: Elaboración propia

Se presentan a continuación los resultados de los 7 ensayos de granulometría realizados donde se consignan los valores porcentuales.

Tabla 13. Porcentajes de arcillas de las muestras estudiadas

% de Arcillas total							
Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
% W	43.61	46.54	18.6	38.63	30.4	17.62	34.91

Fuente: Elaboración propia

3.1.6.4. Determinación del límite líquido y plástico (ASTM D-4318)

La muestra se procesa para eliminar cualquier material retenido en una de 425 micras (núm. 40) tamiz. El límite líquido se determina mediante la realización de ensayos en los que se lleva una parte de la muestra en una copa de bronce, dividido en dos por una herramienta de ranurado, y luego se deja fluir juntos hasta chocar causada por los golpes

repetidos ocasionadas en la copa en un dispositivo mecánico estándar. El límite líquido multipunto, el método A, se requieren tres o más ensayos en un rango de contenido de agua a realizar y los datos de los ensayos de trazado o calculados para hacer una relación de la que se determina el límite líquido. El límite líquido de un punto, Método B, utiliza los datos de dos ensayos con un contenido de agua multiplicado por un factor de corrección para determinar el límite líquido.

El límite plástico se determina presionando alternativamente juntos y rodar en un cilindro de 3.2 mm (1/8 pulg.) de diámetro una pequeña porción de suelo de plástico hasta que su contenido de agua se reduce a un punto en el que el hilo se desmorona y no puede ya ser presionado y laminados de nuevo. El contenido de agua del suelo en este punto se presenta como el límite plástico. 4.3 El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Figura 37. Ensayos de límites líquidos y límites plásticos



Fuente: Elaboración propia

Se presentan a continuación los resultados de los 7 ensayos de límite líquido y límite plástico en lo que consiste medir la cohesión del terreno y su contenido de humedad las muestras se procesan con el material que pasa por el tamiz de 425mm (N°40).

Tabla 14. Ensayos de límites líquidos y plásticos

Límites líquidos y límites plásticos							
Muestras	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
	1	2	3	4	5	6	7
LL(%)	28	27	31	27	55	59	53
LP(%)	28	27	21	21	28	30	27

Fuente: Elaboración propia

El material ensayado posee un límite líquido de 28% a 59%, un límite plástico de 28% a 30% y un índice de plasticidad de 0 a 30.

3.1.7. Resumen de resultados de caracterización.

Tabla 15. Resumen de caracterización de suelos

Muestra N°	Clasificación (SUSC)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Contenido de Humedad	Peso específico	% Arcilla
1	ML	28	28	0	3.15	2.627	43.61
2	ML	27	27	4	4.29	2.573	46.54
3	CL	31	21	10	2.19	2.548	18.6
4	ML-CL	27	21	6	1.43	2.688	38.63
5	CH	55	28	26	3.11	2.254	30.4
6	CH	59	30	30	7.27	2.263	17.62
7	CH	53	27	26	7.25	2.341	34.91

Fuente: Elaboración propia

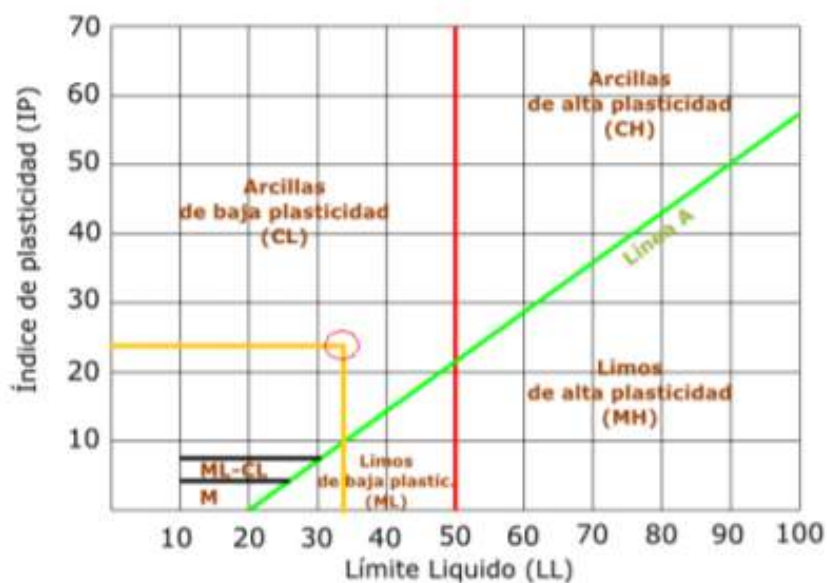
Teniendo los resultados de granulometría y límites se obtiene la clasificación del material dispuesto para el proyecto de grado.

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUSC).

Se observa que los 7 ensayos de granulometría pasan más de 50% pasa el tamiz N°200 por lo tanto es un suelo limo arcilloso.

Para la clasificación según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUSC), necesitamos los datos de límite líquido e índice de plasticidad.

Figura 38. Gráfica de plasticidad SUSC



Fuente: Elaboración propia

3.1.8. Ensayos de pruebas de consolidación de laboratorio unidimensional. (ASTM D-2435)

El procedimiento de prueba de consolidación unidimensional consiste en aplicar una carga creciente, la carga de la probeta es aplicada a través de un brazo de palanca y la compresión se mide con micrómetro calibrado, durante la prueba, la muestra de suelo se coloca dentro de un anillo de metal con dos piedras porosas, una en la parte superior de la probeta y la otra en la parte inferior. La muestra se mantiene bajo agua, después de eso la carga por lo general se duplica, duplicando así la presión sobre la muestra. Al final de la prueba, se

determina el peso seco de la muestra de ensayo. La gráfica de deformación de la muestra está en función del tiempo para un incremento de carga dada.

Para un incremento de carga determinado en una muestra, hay dos métodos gráficos comúnmente utilizados para determinar C_v a partir de pruebas de laboratorio de consolidación unidimensional se llevará a cabo la comparación de los tiempos de consolidación T_{50} , T_{90} y coeficiente de consolidación C_v , obtenidos por los métodos de Casa Grande y Taylor.

Figura 39. Equipos de consolidación.



Fuente: Elaboración propia

Las muestras fueron talladas en forma de cilindro con un diámetro de 6.200 cm las mismas que se confinaron de un anillo para evitar la deformación transversal. Este anillo se colocó en medio de dos piedras porosas para permitir el drenaje.

Figura 40. Tamaño y forma de la muestra

Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Muestra protegida para mantenerse en su estado natural

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Muestra saturada retirada del equipo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Muestra seca retirada de horno a 110° C



Fuente: Elaboración propia

3.1.8.1. Ensayo de método de Taylor.

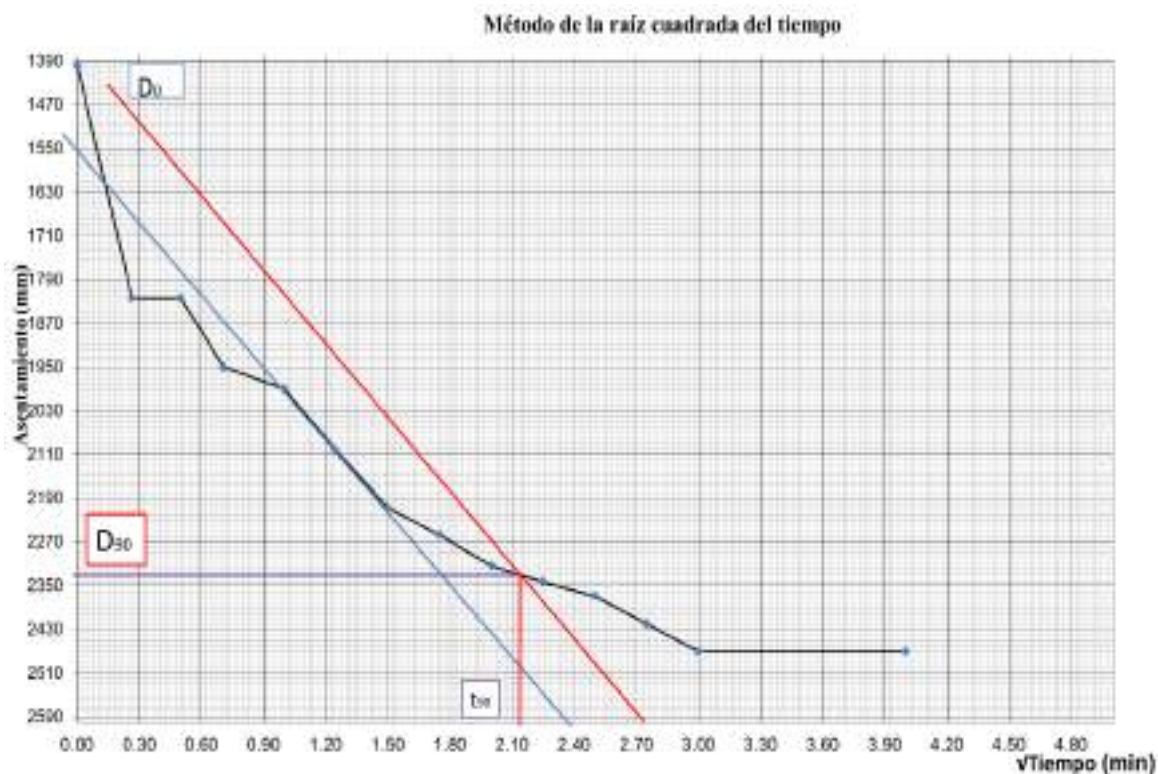
El método de Taylor consiste en realizar una gráfica deformación versus raíz del tiempo mediante la cual se obtiene el tiempo en el cual ocurre el noventa por ciento de la consolidación t_{90} como se muestra en la figura 44. A continuación los datos medidos para la muestra 1, zona Miraflores.

Tabla 16. Obtención de datos muestra 1

TIEMPO (min)	RAIZ DEL TIEMPO (min)	LECTURAS DEL EXTENSOMETRO (mm)					
		DEFORMACIONES/CARGA (kg)					
		(10 Kg./cm ²).mm	(20 Kg./cm ²).mm	(40 Kg./cm ²).mm	(80Kg./cm ²).m m	(160 Kg./cm ²).mm	(320 Kg./cm ²).mm
0	0.000	0.000	200.000	360.000	550.000	785.000	1399.000
0.07	0.265	28.000	210.000	380.000	580.000	910.000	1824.000
0.25	0.500	30.000	230.000	420.000	605.000	1015.000	1824.000
0.5	0.707	43.000	242.000	425.000	626.000	1120.000	1950.000
1	1.000	55.000	266.000	433.000	655.000	1167.000	1990.000
1.56	1.249	85.000	271.000	434.000	753.000	1202.000	2102.000
2.25	1.500	100.000	278.000	440.000	757.000	1217.000	2208.000
3.06	1.749	140.000	284.000	454.000	759.000	1245.000	2257.000
4	2.000	151.000	300.000	459.000	762.000	1265.000	2313.500
5.06	2.249	155.000	320.000	464.000	765.500	1270.000	2343.000
6.25	2.500	160.000	330.000	478.000	770	1290.000	2369.000
7.56	2.750	165.000	343.000	482.000	774.000	1310.000	2420.000
9	3.000	170.000	349.000	485.000	780.000	1350.000	2470.000
16	4.000	170.000	360.000	550.000	780.000	1399.000	2470.000

Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Curva de deformación (vs) raíz cuadrada del tiempo



Fuente: Elaboración propia.

t₉₀=	2.15
D₉₀=	2330

Los datos se obtienen de la gráfica deformación (vs) raíz cuadrada del tiempo.

$$D_0 = 1399 \text{ mm}$$

$$D_{90} = 2330 \text{ mm}$$

$$t_{90} = 2.150 \text{ min}$$

Altura de la muestra = 2.6 cm.

Diámetro de la muestra = 78.494 cm³.

$$D_{100} = D_0 + \left(\frac{10}{9}\right) * (D_{90} - D_0)$$

$$D_{100} = 2433 \text{ mm.}$$

$$H = 12.350 \text{ mm.}$$

$$H = 1.235 \text{ cm.}$$

$$H_{mm} = \left(\frac{\sigma_f - \sigma_0}{2}\right) * 0.01$$

$$H_{dr} = H (\text{muestra}) - H(\text{cm})$$

Donde:

H_{dr} = Trayectoria promedio de drenaje más larga durante la consolidación.

H = Asentamiento por consolidación.

$$H_{dr} = 1.365 \text{ cm.}$$

Para obtener el coeficiente de consolidación por el método de Taylor se utiliza la ecuación:

$$C_v = \left(\frac{0.848 * \left(\frac{H_{dr}}{2}\right)^2}{t_{90} * 60}\right)$$

Donde:

C_v = Coeficiente de consolidación.

t_{90} = Tiempo en el que ocurre el 90% de consolidación.

Tabla 17. Coeficiente de consolidación por el método de Taylor

C_v (cm ² /seg)	C_v (m ² /seg)
4.778E-03	4.778E-07
3.702E-03	3.702E-07
3.971E-03	3.971E-07
5.032E-03	5.032E-07
4.295E-03	4.295E-07
3.062E-03	3.062E-07

Fuente: Elaboración propia.

$$C_v = 3.062E-07 \text{ (m}^2\text{/seg)}$$

3.1.8.2. Ensayo de método Casagrande.

El método de Casagrande consiste en realizar una gráfica de deformación versus logaritmo de tiempo, mediante la cual se obtiene el tiempo en el cual ocurre el cincuenta por ciento de la consolidación t_{50} como se muestra en la (Figura 45).

El ensayo desarrollado es la muestra N°1 del barrio Miraflores, posteriormente los cálculos realizados para las siguientes muestras están desarrollados en (ANEXOS D).

Tabla 18. Datos obtenidos en laboratorio para el método de Casagrande

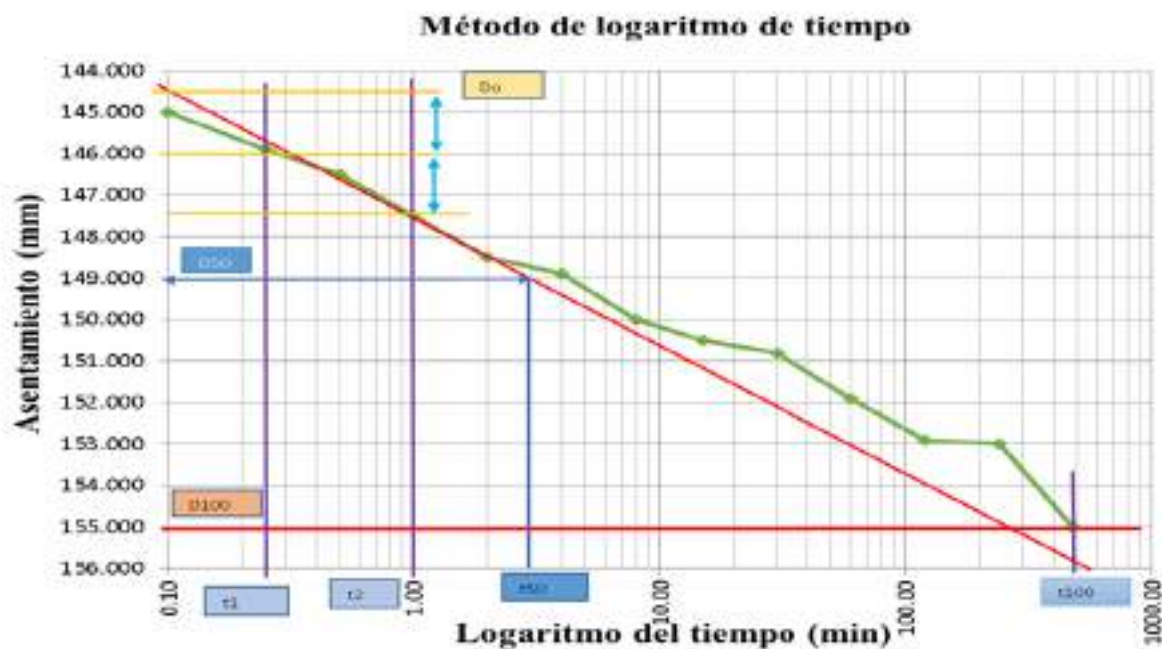
Muestras	Altura inicial(cm)	Diámetro (cm)	Peso Seco (gr)	Peso húmedo (gr)
Muestras 1	2.3	6.3	118.95	154.61
Muestras 2	2	6.3	126.5	164.2
Muestras 3	2.3	6.3	144.29	173.52
Muestras 4	2.3	6.3	83.17	103.8
Muestras 5	2.3	6.3	123.27	150.55
Muestras 6	2.3	6.3	98.75	127.5
Muestras 7	2.3	6.3	111.66	175.4

Tabla 19. Datos obtenidos en laboratorio método Casagrande

TIEMPO (t)		LECTURAS DEL EXTENSÓMETRO (mm)					
Minutos	Log. de (t)	DEFORMACIONES/CARGA (kg)					
		(10Kg./cm ²).mm	(20Kg./cm ²).mm	(40Kg./cm ²).mm	(80Kg./cm ²).mm	(160Kg./cm ²).mm	(320Kg./cm ²).mm
0.10	0.316	10.000	20.000	35.000	75.000	118.000	145.000
0.25	0.500	10.900	20.500	35.500	75.500	118.850	145.900
0.50	0.707	11.500	21.000	37.000	77.000	119.500	146.500
1.00	1.000	12.500	22.000	40.000	80.000	120.000	147.500
2.00	1.414	13.500	23.000	45.000	84.000	121.500	148.500
4.00	2.000	13.900	24.500	50.000	90.000	121.900	148.900
8.00	2.828	14.000	25.000	52.000	92.000	122.000	150.000
15.00	3.873	14.500	26.500	55.000	95.000	122.500	150.500
30.00	5.477	14.800	26.900	58.000	98.000	122.800	150.800
60.00	7.746	14.900	27.500	61.100	101.100	125.000	151.900
120.00	10.954	15.900	28.500	65.000	104.000	126.000	152.900
240.00	15.492	16.000	29.000	65.500	104.400	127.000	153.000
480.00	21.909	17.000	30.000	69.000	107.000	129.000	155.000

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Curva de deformación (vs) logaritmo de tiempo



Fuente: Elaboración propia.

Los datos se obtienen de la gráfica deformación (vs) raíz cuadrada del tiempo.

Altura de la muestra = 2.3 cm.

t_{50} = 2.000 min.

Con la ecuación se obtiene el coeficiente de consolidación por el método de Casagrande.

$$C_v = \left(\frac{0,197 * (H_{dr})^2}{t_{50} * 60} \right)$$

Donde:

C_v = Coeficiente de consolidación.

t_{50} = Tiempo en el que ocurre el 50% de consolidación.

Tabla 20. Proceso para determinar la altura de asentamiento

Cargas	t_{50}	H(mm)	H(cm)	H _{dr} (cm)
10	4	0.135	0.014	2.286
20	2	0.250	0.025	2.275
40	4	0.520	0.052	2.248
80	3.5	0.910	0.091	2.209
160	2.5	1.235	0.124	2.176
320	2	1.500	0.150	2.150

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Resultados del coeficiente de consolidación por el método Casagrande

C_v (cm ² /seg)	C_v (m ² /seg)
1.073E-03	1.073E-07
2.124E-03	2.124E-07
1.037E-03	1.037E-07
1.144E-03	1.144E-07
1.555E-03	1.555E-07
1.897E-03	1.897E-07

Fuente: Elaboración propia.

C_v = 1.897E-07 m²/seg

3.1.8.3. Relación de vacíos.

Después de obtener las gráficas de deformación en función del tiempo para diversas cargas en el laboratorio, es necesario estudiar el cambio en el índice de vacíos de la muestra con presión, el procedimiento es el siguiente:

1. Altura de sólidos, H_s , en la muestra de suelo

$$H_s = \frac{W_s}{A * G_s * \gamma_w}$$

Donde:

W_s = peso seco de la muestra.

A = área de la muestra.

G_s = gravedad específica de sólidos del suelo.

γ_w = peso unitario de agua.

$$H_s = \frac{158.5}{30.190 * 1 * 19.809}$$

$$H_s = 1.999 \text{ cm}$$

2. Altura inicial de vacíos, H_v :

$$H_v = H - H_s$$

$$H_v = 2.6 \text{ cm} - 1.999 \text{ cm}$$

$$H_v = 0.601 \text{ cm}$$

3. Índice de vacíos inicial

$$e_o = \frac{H_v}{H_s}$$

$$e_o = \frac{0.601}{1.999}$$

$$e_o = 0.301$$

4. Cambio de la relación de vacíos

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s}$$

$$\Delta e_1 = \frac{0.142}{1.999}$$

$$\Delta e_1 = 0.071$$

5. Nuevo índice de vacíos e_1 , después de la consolidación causada por el incremento de presión.

$$e_1 = e_o - \Delta e_1$$

$$e_1 = 0.301 - 0.071$$

$$e_1 = 0.230$$

Relación de vacíos e_2 al final de la consolidación.

$$e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_s}$$

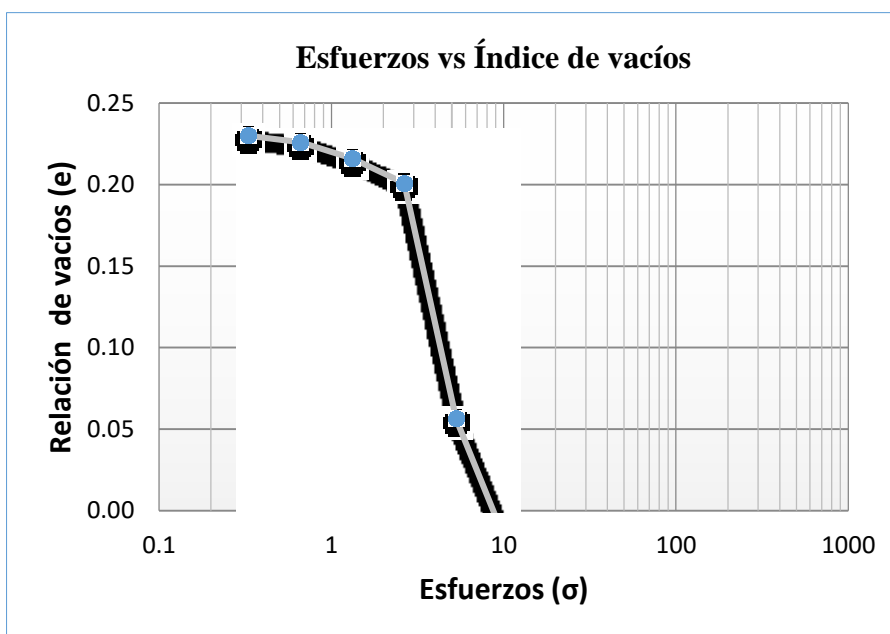
$$e_2 = 0.230 - \frac{0.150}{1.999}$$

$$e_2 = 0.155$$

Tabla 22. Resultados de relación de vacíos

Relación de vacíos (e_0)	Esfuerzos (σ) kg/cm ²
0.230	0.331
0.226	0.6622
0.216	1.324
0.201	2.649
0.056	5.299
-0.022	10.599

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Curva relación de vacíos en función esfuerzo de logaritmo

Fuente: Elaboración propia.

3.1.8.4 Índice de compresión.

Con base en las observaciones de varias arcillas naturales, Rendón - Herrei (1983) dio la relación para el índice de compresión la forma es:

$$C_c = 0.141 * G_s^{1.2} \left(\frac{1 + e_0}{G_s} \right)^{2.38}$$

$$C_c = 0.043$$

Tabla 23. Proceso para determinar el índice de compresibilidad

ΔH	Relación de vacíos (eo)	Δe	Índice de compresión (Cc)	Sp(mm)
0.142	0.230	0.071	0.074	1.502
0.150	0.226	0.075	0.073	1.592
0.170	0.216	0.085	0.072	1.819
0.200	0.201	0.100	0.070	2.167
0.489	0.056	0.245	0.051	6.023
0.646	-0.022	0.323	0.043	8.596

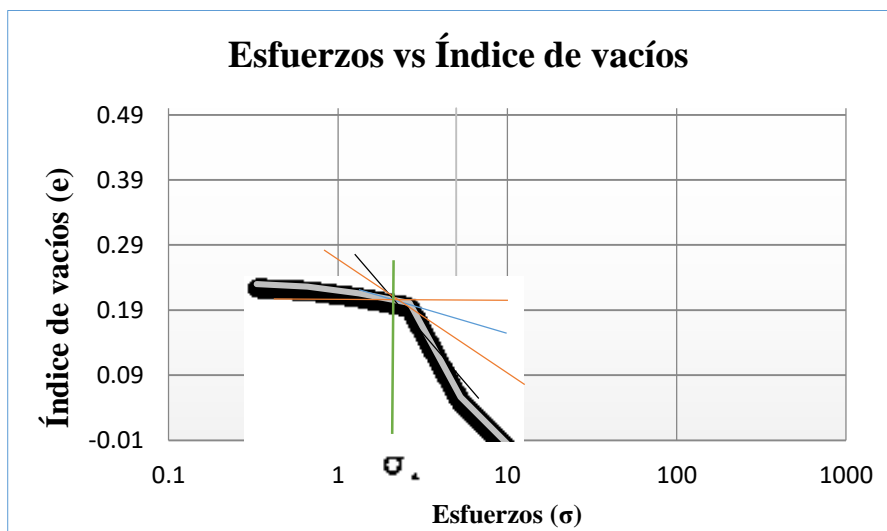
Fuente: Elaboración propia.

Índice de compresión es la pendiente del tramo recto de la rama de carga de la curva edométrica de la Gráfica 4) se expresa por la fórmula:

$$C_c = \frac{e_1 + e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1}$$

$$C_c = \frac{e_1 + e_2}{\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)}$$

$$C_c = 0.261$$

Gráfica 5. Presión de pre consolidación de una muestra

Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo de pre consolidación para la muestra N°1 es:

$$(\sigma) = 2.68$$

Tabla 24. Tabla de resultados de los ensayos propuestos

CARACTERIZACIÓN Y RESULTADO DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS											
Muestra N°	Zona	LL	LP	% de Arcilla	Malla N°200	Clasificación	Coef. de consolidación Taylor Cv(m²/seg)	Coef. de Consolidación Casa Grande Cv (m²/seg)	Relación de vacíos	Esfuerzo de Preconsolidación	Indice de compresión Cc
						SUSC					
1	B/ Miraflores	28	28	43.61	95.75	ML	3.062E-07	1.897E-07	0.056	2.680	0.261
2	B/ Miraflores	28	28	43.61	95.75	ML	2.862E-07	2.427E-07	0.151	2.700	0.514
3	B/ San Blas	27	27	46.54	97.45	ML	1.056E-07	9.517E-08	0.205	0.680	0.114
4	B/ San Blas	27	27	46.54	97.45	ML	2.000E-07	1.504E-07	0.164	0.700	0.132
5	B/ San Blas	27	27	46.54	97.45	ML	1.157E-07	1.512E-07	0.164	0.600	0.012
6	B/ Constructor	31	21	18.6	99.03	CL	5.007E-07	2.945E-07	0.133	0.800	0.199
7	B/ Constructor	31	21	18.6	99.03	CL	5.341E-07	3.613E-07	0.111	0.700	0.136
8	B/ Torrecillas	27	21	38.63	80.44	ML-CL	2.752E-07	1.912E-07	0.209	0.800	0.024
9	B/ Torrecillas	27	21	38.63	80.44	ML-CL	2.727E-07	1.828E-07	0.208	1.000	0.008
10	B/ Torrecillas	27	21	38.63	80.44	ML-CL	2.746E-07	1.908E-07	0.125	1.200	0.004
11	B/ Los Chapacos	55	28	30.4	99.62	CH	5.840E-07	2.019E-07	0.158	2.500	0.080
12	B/ Los Chapacos	55	28	30.4	99.62	CH	4.852E-07	3.374E-07	0.119	2.500	0.031
13	B/ San Jorge II	59	30	17.62	99.24	CH	5.280E-07	1.352E-08	0.226	0.670	0.174
14	B/ San Jorge II	59	30	17.62	99.24	CH	5.239E-07	1.257E-06	0.139	0.700	0.142
15	B/ Juan Nicolai	53	27	34.91	98.65	CH	4.173E-07	3.420E-08	0.197	0.400	0.166
16	B/ Juan Nicolai	53	27	34.91	98.65	CH	3.502E-07	3.516E-08	0.282	0.300	0.261

Fuente: Elaboración propia.

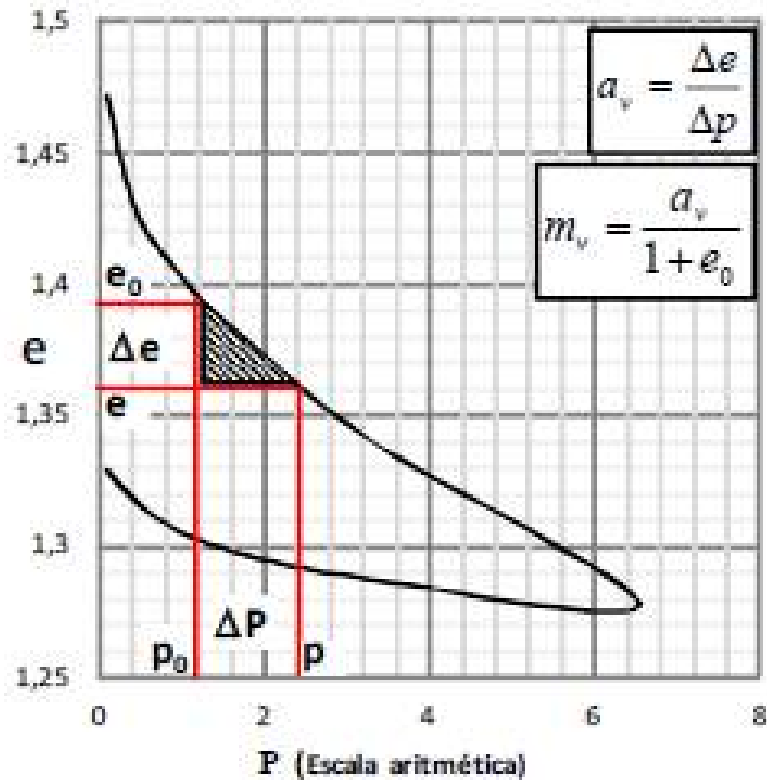
3.1.8.5 Cálculos de consolidación y permeabilidad del suelo compresible

Son más permeables las caolinitas ($K=2 \times 10^{-6}$ cm/seg) que las montmorillonitas ($K=5 \times 10^{-8}$ cm/seg), los limos tienen ($K=1.5 \times 10^{-5}$ cm/seg).

$$K = C_v * m_v * \gamma_w$$

En donde la permeabilidad se expresa en función del coeficiente de consolidación y del coeficiente de deformación volumétrica (m_v).

Figura 46. Curvas relación de vacíos (vs) presión vertical



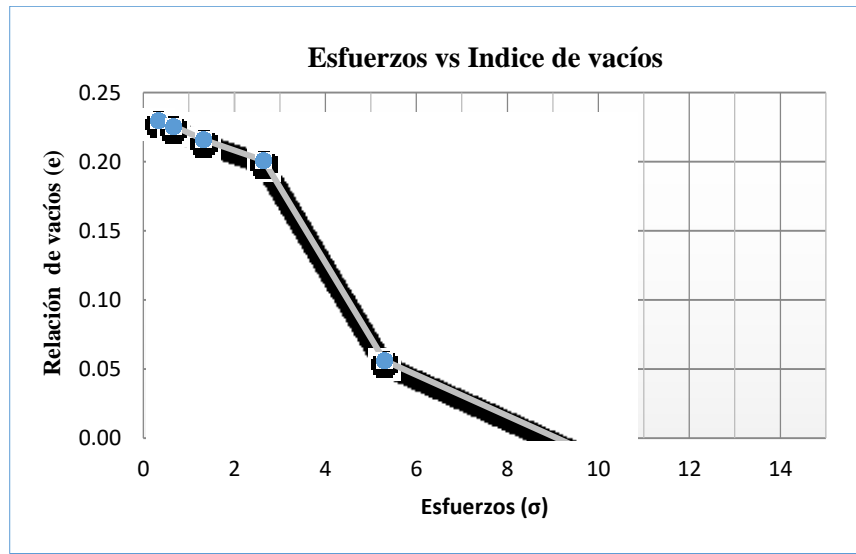
Coefficiente de compresibilidad:

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P}$$

Coefficiente de compresibilidad volumétrica: en el que e_0 es la relación de vacíos del suelo antes de un incremento de carga específico.

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

Gráfica 6. Escala aritmética relación de vacíos (vs) presión vertical



Cálculo de Coeficiente de permeabilidad:

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P}$$

$$a_v = 0.0625$$

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

$$m_v = 0.048041079$$

$$K = C_v * m_v * \gamma_w$$

$$C_v = 1.90 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$\text{Peso unitario } 1.000 \text{ E-03 kg/cm}^3$$

$$k = 1.186 \text{ E-07 cm/seg}$$

Lo podemos comparar con la siguiente tabla:

Tabla 25. Valores típicos de permeabilidad en suelos

Material de suelo	k [cm/s]
Grava arenosa	10^{-1}
Arena	10^{-2}
Arena fina	10^{-3}
Limo grueso	10^{-4}
Limo fino	$10^{-6} \dots 10^{-8}$
Limo arcilloso	10^{-7}
Arcilla	$10^{-8} \dots 10^{-9}$

Fuente: (Bernate J. , 2015)

Esto nos indica que puede tratarse de una arcilla, aunque podría también tratarse de un limo arcilloso.

Tabla 26. Resultados del coeficiente de permeabilidad

Muestra N°	Zona	Coef. Permeabilidad (cm/seg)
1	B/ Miraflores	1.186E-07
2	B/ Miraflores	1.246E-07
3	B/ San Blas	7.127E-08
4	B/ San Blas	8.893E-09
5	B/ San Blas	3.075E-09
6	B/ Constructor	1.784E-08
7	B/ Constructor	2.312E-08
8	B/ Torrecillas	5.811E-09
9	B/ Torrecillas	5.314E-10
10	B/ Torrecillas	1.107E-09
11	B/ Los Chapacos	4.103E-08
12	B/ Los Chapacos	3.765E-08
13	B/ San Jorge II	5.103E-10
14	B/ San Jorge II	6.931E-08
15	B/ Juan Nicolai	9.332E-09
16	B/ Juan Nicolai	6.175E-09

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN

4.1. ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DRENADA.

Para realizar el ensayo para cada muestra, dada las características de los suelos de diferentes puntos de distritos urbanos (Miraflores, San Blas, Constructor, Torrecillas, Los Chapacos, San Jorge II y Juan Nicolai) se levantaron 32 muestras remodeladas hasta obtener condiciones uniformes a una forma cilíndrica con un diámetro 6.2 cm y 2.6 cm a 2.3 cm de altura; siendo un total de 32 pruebas realizadas en laboratorio tales muestras fueron 16 para un ensayo de laboratorio por el método de Taylor y 16 para el método de Casa Grande.

El equipo utilizado para este ensayo fue el Edómetro o llamado consolidómetro y aplica el principio introducido por Terzaghi de la compresión de una muestra, confinada lateralmente por un anillo rígido y colocado entre discos.

Tabla 27. Datos obtenidos de coeficiente de consolidación C_v

Muestra N°	Zona	Clasificación (SUSC)	Coef. de consolidación Taylor $C_v(m^2/seg)$	Coef. de Consolidación Casa Grande $C_v (m^2/seg)$
1	B/ Miraflores	ML	3.062E-07	1.897E-07
2	B/ Miraflores	ML	2.862E-07	2.427E-07
3	B/ San Blas	ML	1.056E-07	9.517E-08
4	B/ San Blas	ML	2.000E-07	1.504E-07
5	B/ San Blas	ML	1.157E-07	1.512E-07
6	B/ Constructor	CL	5.007E-07	2.945E-07
7	B/ Constructor	CL	5.341E-07	3.613E-07
8	B/ Torrecillas	ML-CL	2.752E-07	1.912E-07
9	B/ Torrecillas	ML-CL	2.727E-07	1.828E-07
10	B/ Torrecillas	ML-CL	2.746E-07	1.908E-07
11	B/ Los Chapacos	CH	5.840E-07	2.019E-07
12	B/ Los Chapacos	CH	4.852E-07	3.374E-07
13	B/ San Jorge II	CH	5.280E-07	1.352E-08
14	B/ San Jorge II	CH	5.239E-07	1.257E-06
15	B/ Juan Nicolai	CH	4.173E-07	3.420E-08
16	B/ Juan Nicolai	CH	3.502E-07	3.516E-08

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Preparación de las muestras remoldeadas para el ensayo de consolidación.

Las muestras se encuentran en estado inalterado, remoldeadas cuidadosamente para mantener sus condiciones físicas.

Pesar el material y colocar en las bases de piedras porosas para humedecer la muestra, y dejando por encima un pistón metálico como apoyo. Dejar la muestra con agua por 24 horas de saturación.

4.1.2. Espécimen en la recámara del ensayo de consolidación.

Se introduce el espécimen en la recámara del aparato de consolidómetro.

Se colocan los pesos para el asentamiento del espécimen.

Se coloca en cero el deformímetro vertical que mide la deformación del suelo.

Una vez que el deformímetro se mantenga constante podemos decir que el espécimen está asentado y se procede a descargar las pesas.

Se ajusta el deformímetro de desplazamiento horizontal.

Se coloca el primer peso para el esfuerzo normal. La carga inicial es de 10 kg. (se realiza una duplicación con cargas y 20 kg, 40 kg, 80 kg, 160kg y 320 kg. Aumentando a cada 24 horas la siguiente carga propuesta.

Después de llegar el espécimen a su máxima carga 320 kg.

Se retira las cargas a su posición inicial y se extrae el espécimen.

Después se pesa el espécimen y se introduce al horno para conocer su humedad.

4.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.

Los ensayos se llevaron a cabo en un equipo edómetro, los cuales aplicaron un asentamiento en mm debido a presión de cargas. Se realizaron 16 ensayos para método Taylor y 16 ensayos para método Casa Grande.

Tabla 28. Resultados del ensayo de consolidación unidimensional drenada.

Muestra N°	Clasificación (SUSC)	Coef. de consolidación Taylor $C_v(m^2/seg)$	Coef. de Consolidación Casa Grande $C_v (m^2/seg)$
1	ML	3.062E-07	1.897E-07
2	ML	2.862E-07	2.427E-07
3	ML	1.056E-07	9.517E-08
4	ML	2.000E-07	1.504E-07
5	ML	1.157E-07	1.512E-07
6	CL	5.007E-07	2.945E-07
7	CL	5.341E-07	3.613E-07
8	ML-CL	2.752E-07	1.912E-07
9	ML-CL	2.727E-07	1.828E-07
10	ML-CL	2.746E-07	1.908E-07
11	CH	5.840E-07	2.019E-07
12	CH	4.852E-07	3.374E-07
13	CH	5.280E-07	1.352E-08
14	CH	5.239E-07	1.257E-06
15	CH	4.173E-07	3.420E-08
16	CH	3.502E-07	3.516E-08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Resumen de resultados de los parámetros de compresibilidad

Muestra N°	Zona	Relación de vacíos	Esfuerzo de Preconsolidación	Índice de compresión Cc	Clasificación
					SUSC
1	B/ Miraflores	0.056	2.68	0.262	ML
2	B/ Miraflores	0.151	2.7	0.514	ML
3	B/ San Blas	0.205	0.68	0.114	ML
4	B/ San Blas	0.164	0.7	0.132	ML
5	B/ San Blas	0.164	0.6	0.012	ML
6	B/ Constructor	0.133	0.8	0.199	CL
7	B/ Constructor	0.111	0.7	0.136	CL
8	B/ Torrecillas	0.209	0.8	0.024	ML-CL
9	B/ Torrecillas	0.208	1	0.008	ML-CL
10	B/ Torrecillas	0.125	1.2	0.004	ML-CL
11	B/ Los Chapacos	0.158	2.5	0.080	CH
12	B/ Los Chapacos	0.119	2.5	0.031	CH
13	B/ San Jorge II	0.226	0.67	0.174	CH
14	B/ San Jorge II	0.139	0.7	0.142	CH
15	B/ Juan Nicolai	0.197	0.4	0.166	CH
16	B/ Juan Nicolai	0.282	0.3	0.261	CH

Fuente: Elaboración propia.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

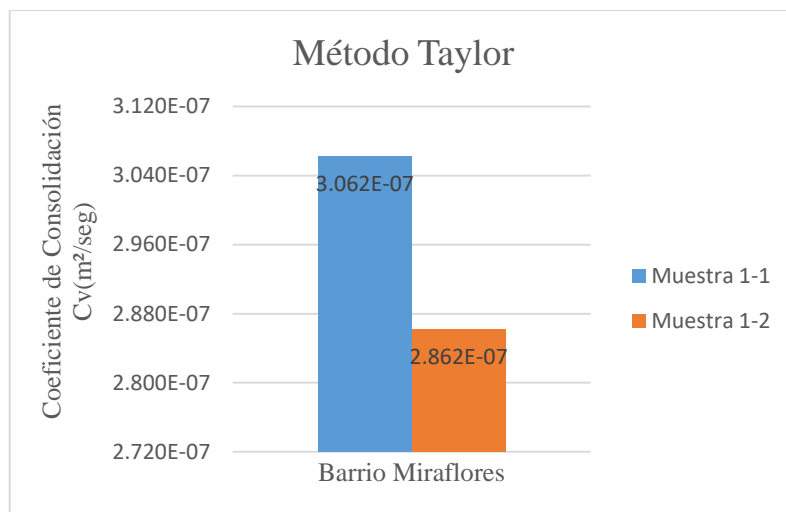
4.3.1. Análisis de una variable Taylor.

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis.

Tabla 30. Método de Taylor muestra 1

Muestra 1	Coefficiente de consolidación Taylor Cv(m ² /seg)
B/ Miraflores M1-1	3.062E-07
B/ Miraflores M1-2	2.862E-07

Fuente: Evaporación propia.

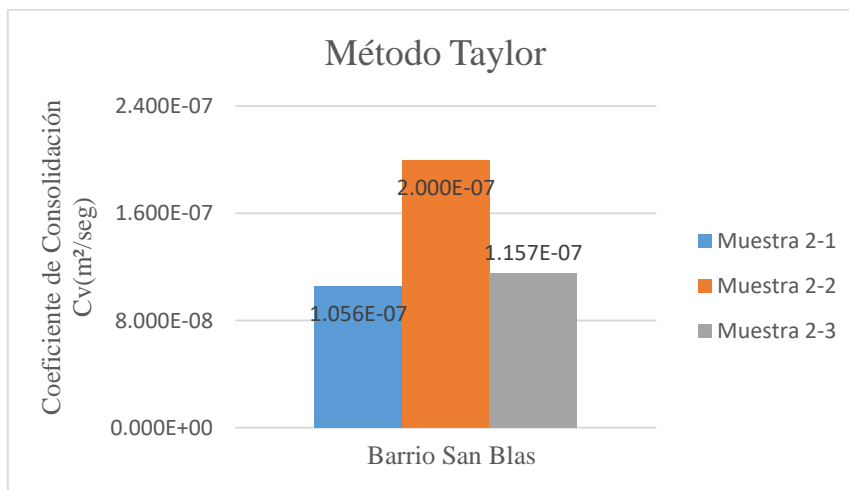
Gráfica 7. Método de Taylor muestra 1

Fuente: Evaporación propia.

Tabla 31. Método de Taylor muestra 2

Muestra 2	Coeficiente de consolidación Taylor C_v (m ² /seg)
B/ San Blas M2-1	1.056E-07
B/ San Blas M2-2	2.000E-07
B/ San Blas M2-3	1.157E-07

Fuente: Evaporación propia.

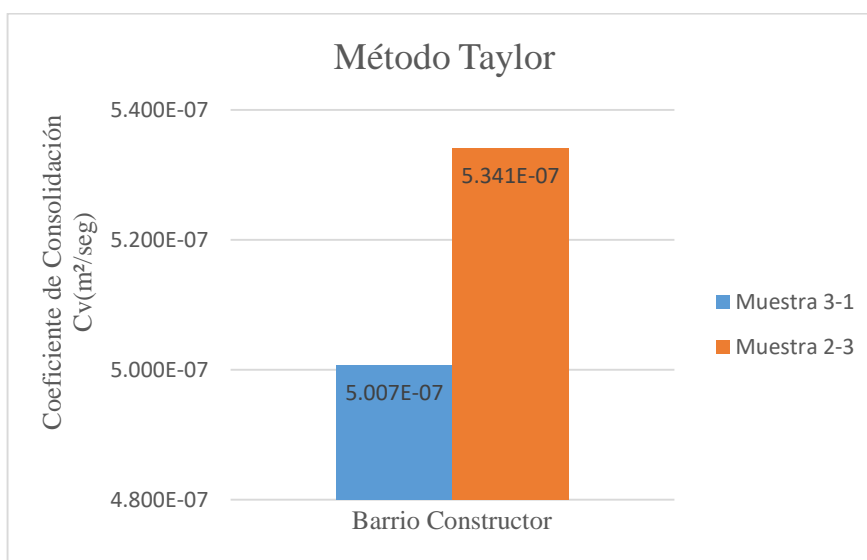
Gráfica 8. Método de Taylor muestra 2

Fuente: Evaporación propia

Tabla 32. Método de Taylor muestra 3

Muestra 3	Coefficiente de consolidación Taylor $C_v(m^2/seg)$
B/ Constructor M3-1	5.007E-07
B/ Constructor M3-2	5.341E-07

Fuente: Evaporación propia

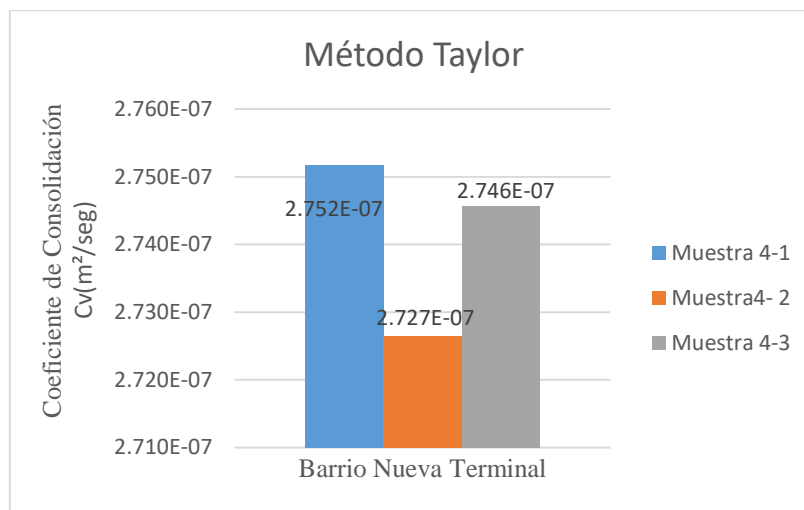
Gráfica 9. Método de Taylor muestra 3

Fuente: Evaporación propia

Tabla 33. Método de Taylor muestra 4

Muestra 4	Coefficiente de consolidación Taylor $C_v(m^2/seg)$
B/ Torrecillas M4-1	2.752E-07
B/ Torrecillas M4-2	2.727E-07
B/ Torrecillas M4-3	2.746E-07

Fuente: Evaporación propia

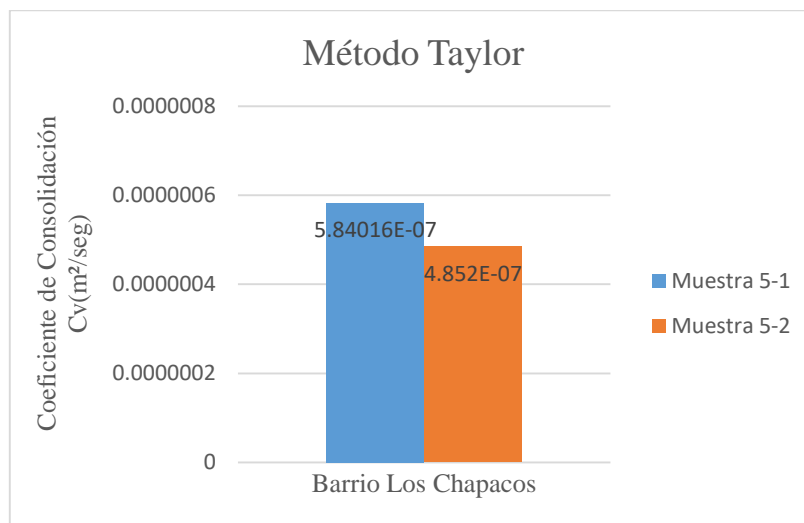
Gráfica 10. Método de Taylor muestra 4

Fuente: Evaporación propia

Tabla 34. Método de Taylor muestra 5

Muestra 5	Coeficiente de consolidación Taylor Cv (m ² /seg)
B/ Los Chapacos M5-1	5.84016E-07
B/ Los Chapacos M5-2	4.852E-07

Fuente: Evaporación propia

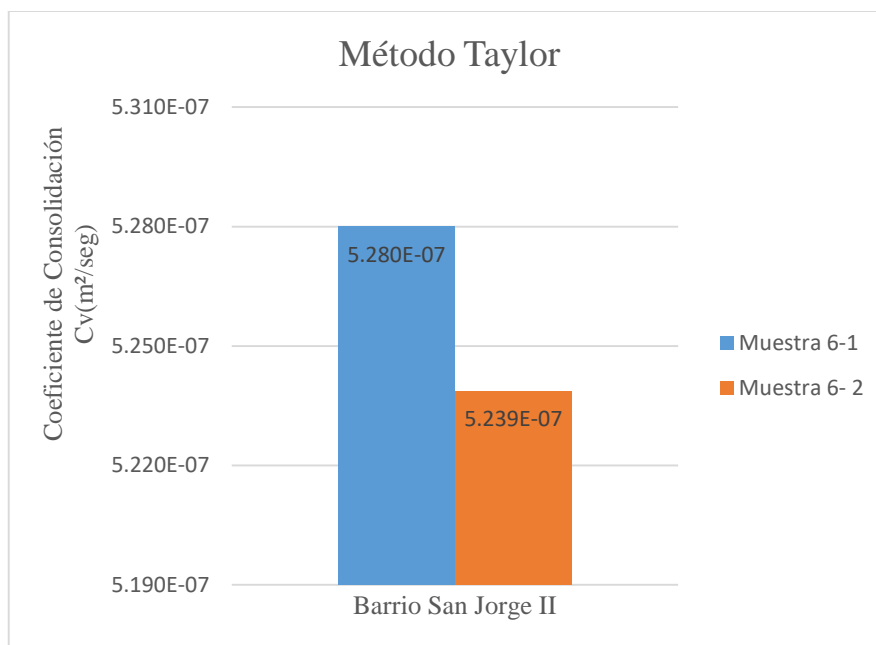
Gráfica 11. Método de Taylor muestra 5

Fuente: Evaporación propia

Tabla 35. Método de Taylor muestra 6

Muestra 6	Coefficiente de consolidación Taylor $C_v(m^2/seg)$
B/ San Jorge II M6-1	5.280E-07
B/ San Jorge II M6-2	5.239E-07

Fuente: Evaporación propia

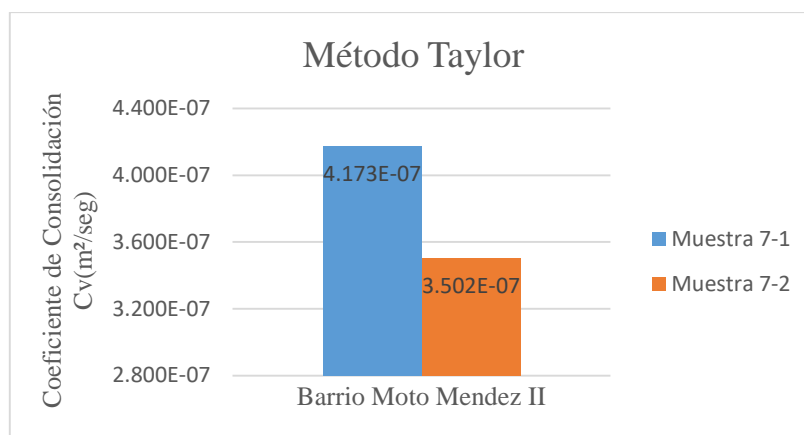
Gráfica 12. Método de Taylor muestra 6

Fuente: Evaporación propia.

Tabla 36. Método de Taylor muestra 7

Muestra 7	Coefficiente de consolidación Taylor $C_v(m^2/seg)$
B/ Moto Méndez II M7-1	4.173E-07
B/ Moto Méndez II M7-2	3.502E-07

Fuente: Evaporación propia

Gráfica 13. Método de Taylor muestra 7

Fuente: Evaporación propia.

Se puede evidenciar con gráficas para el método de Taylor que los suelos finos entre tanto arcillas, tienen un comportamiento de asentamiento más producido a través del tiempo, debido a las cargas que soporta a la medida de 24 horas. La diferencia de dos muestras de un mismo tipo de suelo, puede variar por el hecho del equipo utilizado o una variación del equipo calibrado edómetro.

A continuación un resumen estadístico para validar los resultados de Método Taylor.

Tabla 37. Resumen estadístico para Taylor

Resumen	Resultados
Recuento	16.000
Promedio	0.003
Desviación estándar	0.001
Coeficiente de variación	40.439%
Mínimo	0.001
Máximo	0.006
Rango	0.005
Sesgo estandarizado	-0.098
Curtois estandarizada	-1.034

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para Taylor. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la Curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal.

El valor de Curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Media = 0.00372313 Desviación Estándar = 0.00150562.

Tabla 38. Tabla de frecuencias para Taylor

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	0		0	0.0000	0	0.000
1	0	0.0006	0.00030	0	0.0000	0	0.000
2	0.0006	0.0012	0.00092	1	0.062	1	0.062
3	0.0012	0.0018	0.0015	0	0.000	1	0.062
4	0.0018	0.0024	0.0021	2	0.125	3	0.187
5	0.0024	0.0030	0.0027	3	0.187	6	0.375
6	0.0030	0.0036	0.0033	3	0.187	9	0.562
7	0.0036	0.0043	0.004	0	0.000	9	0.562
8	0.0043	0.0049	0.0046	1	0.062	10	0.625
9	0.0049	0.0055	0.0052	4	0.250	14	0.875
10	0.0055	0.0061	0.0058	2	0.125	16	1.000
11	0.0061	0.0067	0.0064	0	0.000	16	1.000
12	0.0067	0.0073	0.0070	0	0.000	16	1.000
13	0.0073	0.008	0.0076	0	0.000	16	1.000
	mayor de	0.008		0	0.000	16	1.000

Fuente: Elaboración propia

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de Taylor en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo.

4.3.2. Intervalos de confianza para método de Taylor.

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 0.00372313 +/- 0.000802288.

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar:

Prueba de hipótesis para Taylor.

Media muestral = 0.00372313

Mediana muestral = 0.00334577

Desviación Estándar de la Muestra = 0.00150562

Prueba chi-cuadrada:

Hipótesis Nula: $\sigma = 1.000$

Alternativa: no igual

Chi-cuadrado calculado = 0.000

Valor-P = 0.000

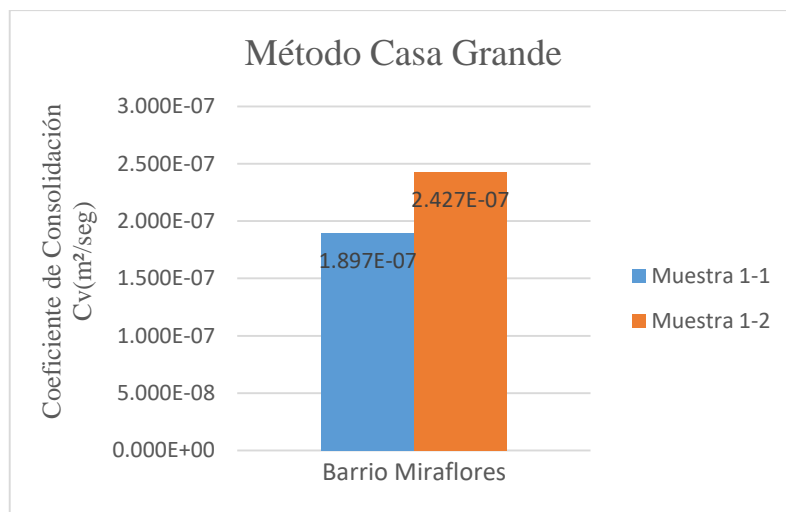
4.3.3. Análisis de una variable Casa Grande.

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis.

Tabla 39. Método de Casa Grande muestra 1

Muestra1	Coficiente de consolidación C. Grande Cv(m ² /seg)
B/ Miraflores M1-1	1.897E-07
B/ Miraflores M1-2	2.427E-07

Fuente: Elaboración propia

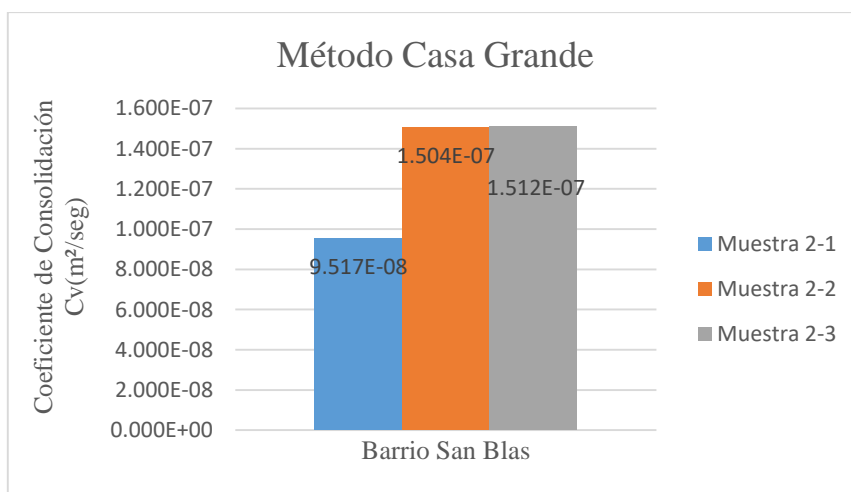
Gráfica 14. Método de Casa Grande muestra 1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Método de Casa Grande muestra 2

Muestra 2	Coefficiente de consolidación C. Grande Cv(m²/seg)
B/ San Blas M2-1	9.517E-08
B/ San Blas M2-2	1.504E-07
B/ San Blas M2-3	1.512E-07

Fuente: Elaboración propia.

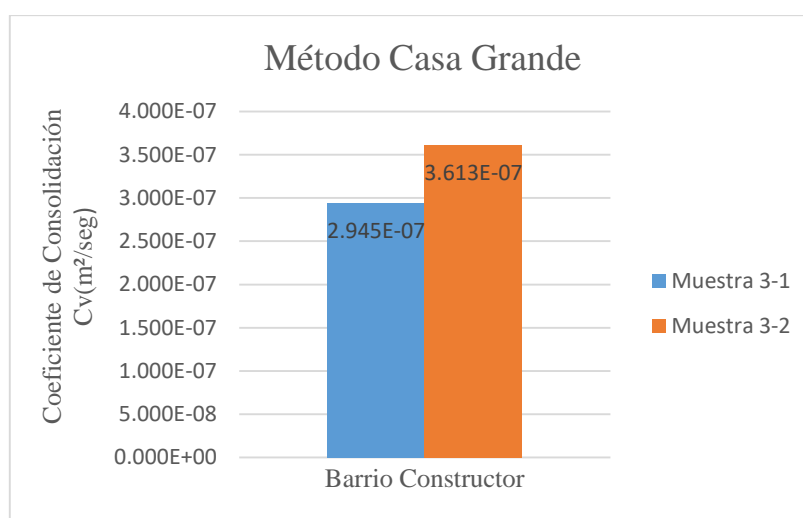
Gráfica 15. Método de Casa Grande muestra 2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Método de Casa Grande muestra 3

Muestra 3	Coefficiente de consolidación C. Grande Cv(m²/seg)
B/ Constructor M3-1	2.945E-07
B/ Constructor M3-2	3.613E-07

Fuente: Elaboración propia

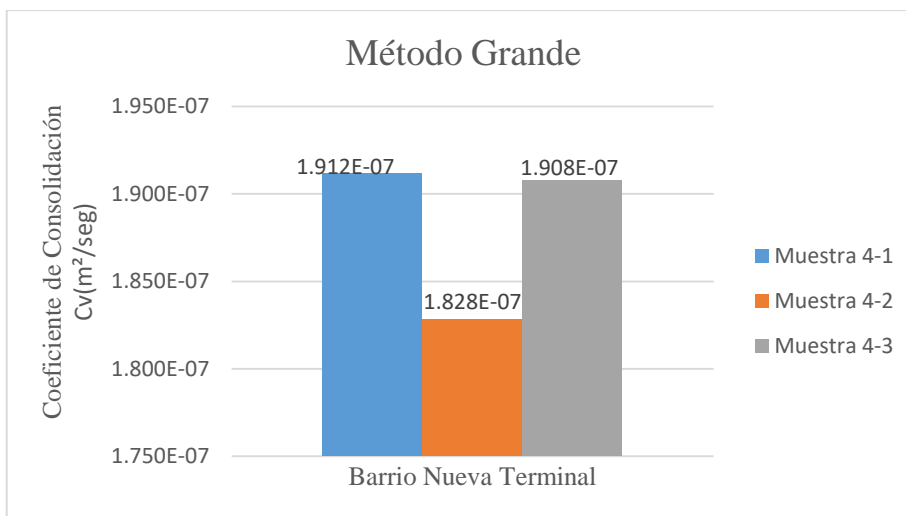
Gráfica 16. Método de Casa Grande muestra 3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Método de Casa Grande muestra 4

Muestra 4	Coefficiente de consolidación C. Grande Cv(m²/seg)
B/ Torrecillas M4-1	1.912E-07
B/ Torrecillas M4-2	1.828E-07
B/ Torrecillas M4-3	1.908E-07

Fuente: Elaboración propia

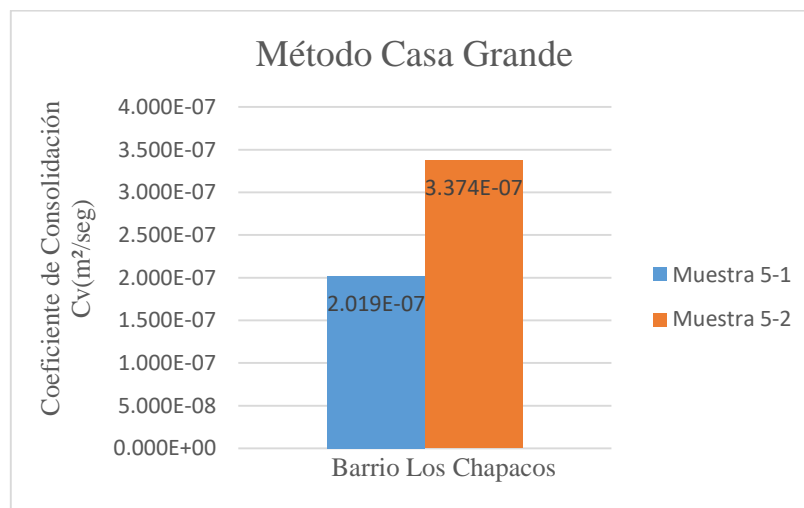
Gráfica 17. Método de Casa Grande muestra 4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Método de Casa Grande muestra 5

Muestra 5	Coefficiente de consolidación C. Grande Cv(m ² /seg)
B/ Los Chapacos M1	2.019E-07
B/ Los Chapacos M2	3.374E-07

Fuente: Elaboración propia

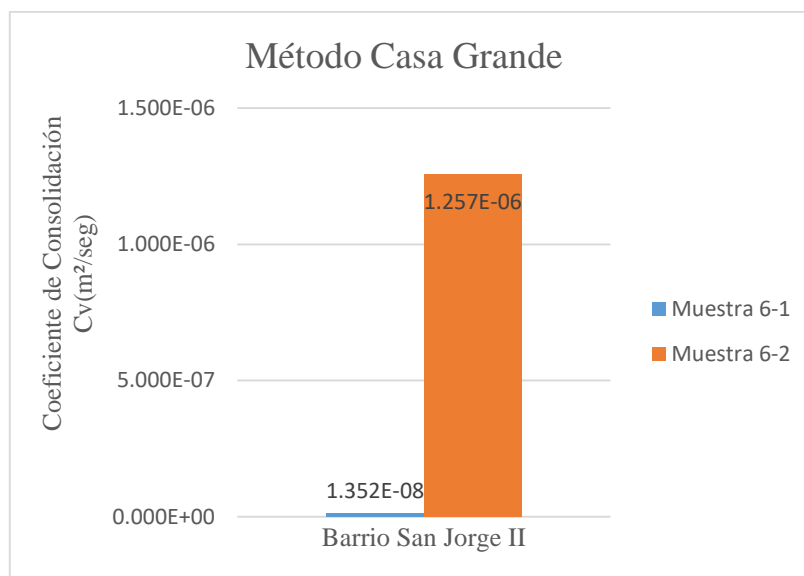
Gráfica 18. Método de Casa Grande muestra 5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Método de Casa Grande muestra 6

Muestra 6	Coefficiente de consolidación C. Grande $C_v(m^2/seg)$
B/ San Jorge II M1	1.352E-08
B/ San Jorge II M2	1.257E-06

Fuente: Elaboración propia

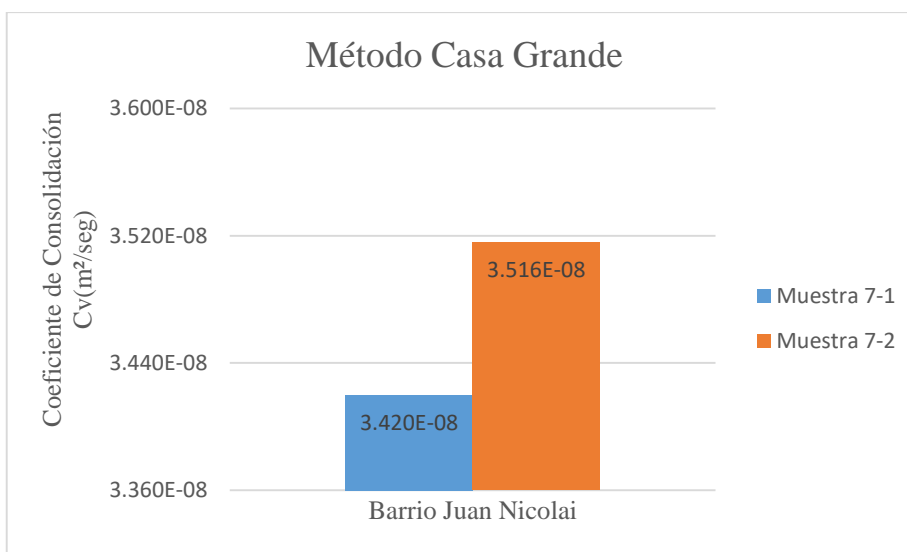
Gráfica 19. Método de Casa Grande muestra 6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Método de Casa Grande muestra 7

Muestra 7	Coefficiente de consolidación C. Grande $C_v(m^2/seg)$
B/ Juan Nicolai M1	3.420E-08
B/ Juan Nicolai M2	3.516E-08

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 20. Método de Casa Grande muestra 7

Fuente: Elaboración propia.

En el método de Casa Grande, las gráficas anteriormente elaboradas demuestran el comportamiento de los suelos arcillosos al asentamiento de altura un tanto menor, esto se debe a que mientras las cargas vayan aumentando cada 24 horas por 7 días, la altura de asentamiento es notoria siendo un método aplicable para analizar el tiempo en que se tiene la deformación de los suelos cohesivos.

A continuación un resumen estadístico para método de Casa Grande:

Tabla 46. Resumen estadístico para Casa Grande

Resumen	Resultado
Recuento	16
Promedio	0.0018
Desviación Estándar	0.0012
Coefficiente de Variación	67.770%
Mínimo	0.0001
Máximo	0.004
Rango	0.004
Sesgo Estandarizado	0.415
Curtosis Estandarizada	-0.510

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para Casa Grande. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la Curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de Curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Media = 0.0018 Desviación Estándar = 0.0012

Tabla 47. Tabla de frecuencias para Casa Grande

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia rel. acum.
	menor o igual	-0.0001		0	0.0000	0	0.0000
1	-0.0001	0.0002	0.00009	3	0.187	3	0.187
2	0.0002	0.0006	0.0004	1	0.062	4	0.250
3	0.0006	0.0015	0.0008	0	0.000	4	0.250
4	0.0010	0.0014	0.0012	1	0.062	5	0.312
5	0.0014	0.0018	0.0016	3	0.187	8	0.500
6	0.0018	0.00220	0.0020	4	0.250	12	0.750
7	0.0022	0.00259	0.0024	0	0.000	12	0.750
8	0.0025	0.00297	0.0027	1	0.062	13	0.812
9	0.0029	0.00336	0.0031	0	0.000	13	0.812
10	0.0033	0.00374	0.0035	2	0.125	15	0.937
11	0.0037	0.00413	0.0039	0	0.000	15	0.935
12	0.00413	0.00451	0.0043	1	0.062	16	1.000
13	0.00451	0.0049	0.0047	0	0.000	16	1.000
	mayor de	0.0049		0	0.0000	16	1.0000

Fuente: Elaboración propia.

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de Casa Grande en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo.

4.3.4. Intervalos de confianza para Casa Grande

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 0.00188744 +/- 0.000681601

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [0.000944899; 0.0019797]

4.3.5. Prueba de hipótesis para Casa Grande.

Media muestral = 0.0018

Mediana muestral = 0.0019

Desviación estándar de la muestra = 0.0012

Prueba chi-cuadrada

Hipótesis nula: $\sigma = 1.000$

Chi-cuadrado calculado = 0.000024

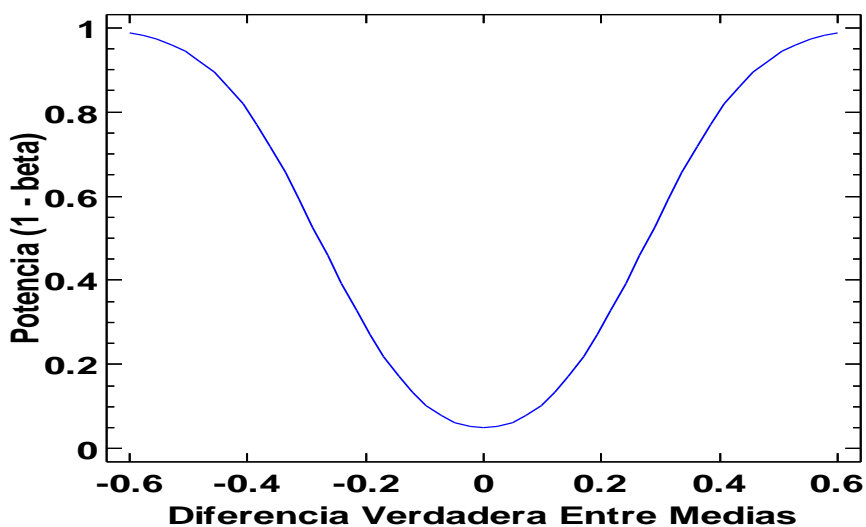
Valor-P = 0.000

4.3.6. Prueba de hipótesis para método de Casagrande y Taylor.

Dada una muestra de 100 observaciones con una media de 0.0 y una desviación estándar de 1.0 y una segunda muestra de 100 observaciones con una media de 0.0 y una desviación estándar de 1.0, el estadístico t calculado es igual a 0.0. Puesto que el valor-P para la prueba es mayor o igual que 0.05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95.0% de nivel de confianza. El intervalo de confianza muestra que los valores soportados por los datos caen entre -0.278886 y 0.278886.

Gráfica 21. Prueba de hipótesis

Curva de Potencia
alfa = 0.05, sigma = 1.0



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Comparación de varias muestras Casa Grande y Taylor

Método	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo
Casa Grande	16	0.001	0.001	67.770%	0.0001
Taylor	16	0.003	0.0015	40.435%	0.001
Total	32	0.002	0.0016	59.201%	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Comparación de varias muestras Casa Grande y Taylor**Resumen estadístico**

Método	Máximo	Rango	Sesgo estandarizado	Curtosis estandarizada
Casa Grande	0.00431	0.0041	0.4157	-0.5107
Taylor	0.00584	0.004784	-0.0988	-1.034
Total	0.005840	0.005702	0.5261	-0.903

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50. Prueba de la mediana de Mood

Muestra	Tamaño de Muestra	n<=	n>	Mediana	LC inferior 95.0%	LC superior 95.0%
Casa Grande	16	12	4	0.0019	0.00030	0.00318
Taylor	16	4	12	0.0033	0.0023	0.00533

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 2 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 0.0026845. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

Tabla 51. Pruebas de múltiples rangos

Métodos	Casos	Media	Grupos homogéneos
Casa Grande	16	0.001887	X
Taylor	16	0.003723	X

Fuente: Elaboración propia.

No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima.

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para el ensayo de consolidación se utilizó el espacio otorgado por la facultad de ciencias y tecnologías de la carrera de ingeniería civil, laboratorio de suelos, donde se aprovechó del espacio con los equipos de consolidómetros pertenecientes de laboratorio y posteriormente se llevó a cabo datos medidos aplicando dos métodos Casagrande y Taylor para el ensayo de Casagrande llega hasta la consolidación secundaria, lo que indica que los esfuerzos de consolidación actuaran sobre el esqueleto de las partículas sólidas, se hace lecturas de los diales que van hasta las 24 horas para Método de Taylor y para el Método de Casa Grande 7 días.

Tabla 52. Materiales de consolidación (Cv)

Material	Cv (m ² /seg)
Limo fino	10 ⁻⁴
Arcilla limosa	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁶
Caolinita	10 ⁻⁷
Montmorillonita	10 ⁻⁸
Turba	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶

Fuente: (Terzaghi, Mecánica de suelos en la práctica de ingeniería, 1967).

Comparando nuestros valores decimos que está entre una arcilla caolinita, ha demostrado su comportamiento que son materiales de arcilla caolinita y Montmorillonita, como se muestra en la tabla 51 las siete muestras de suelo cohesivos estudiadas, lo que significará que la consolidación de suelos es producida a su debido tiempo por cargas eventuales siendo una curva pronunciada de la deformación, el coeficiente de consolidación está en entre 0.00000001 m²/seg.

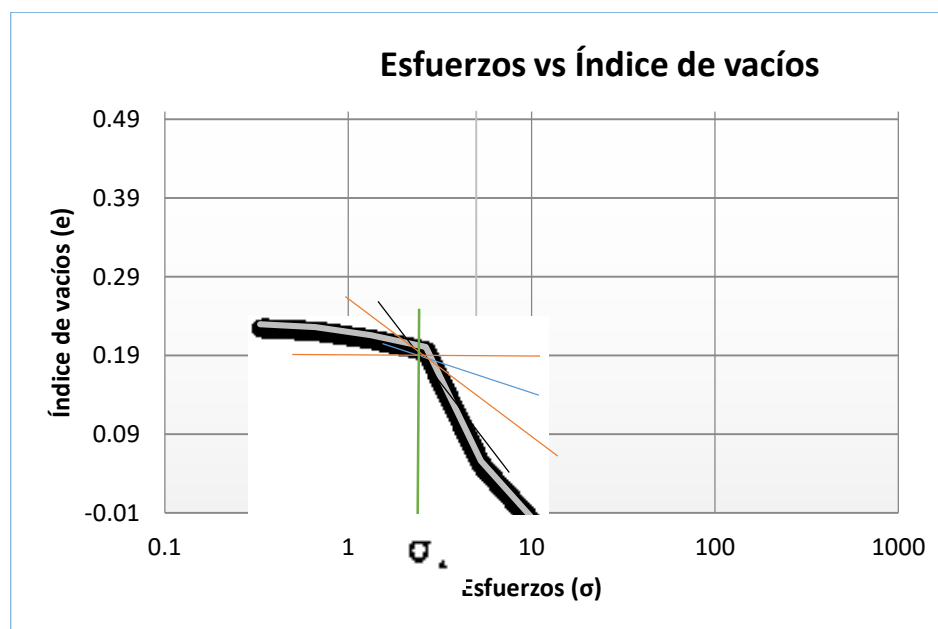
Tabla 53. Valores típicos del índice de compresión

Arcillas duras preconsolidadas	0.03 - 0.09
Arcillas media.....	0.09 - 0.15
Arcillas blandas.....	0.15 - 0.30

Fuente: (Bonilla, 2015)

Los parámetros de compresibilidad C_c coeficiente de compresibilidad demuestra un comportamiento entre $C_c = 0.03$ a 0.09 , 0.09 a 0.15 y 0.15 a 0.30 tratándose de arcillas pre consolidadas, arcillas medias y arcillas blandas.

La tabla 54, muestra los coeficientes de índice de compresión, quiere decir que un suelo en el campo a una cierta profundidad ha sido sometido a una cierta presión efectiva en su historia, esta presión puede ser igual o mayor que la presión de sobrecarga existente en el tiempo de muestreo. Esto quiere decir que en las 7 muestras de suelos cohesivos estudiadas presentan la presión de sobrecarga. La presión máxima efectiva pasada se llama presión consolidada con un esfuerzo de máximo de 2.68 a 0.3 de esfuerzo de pre consolidación.

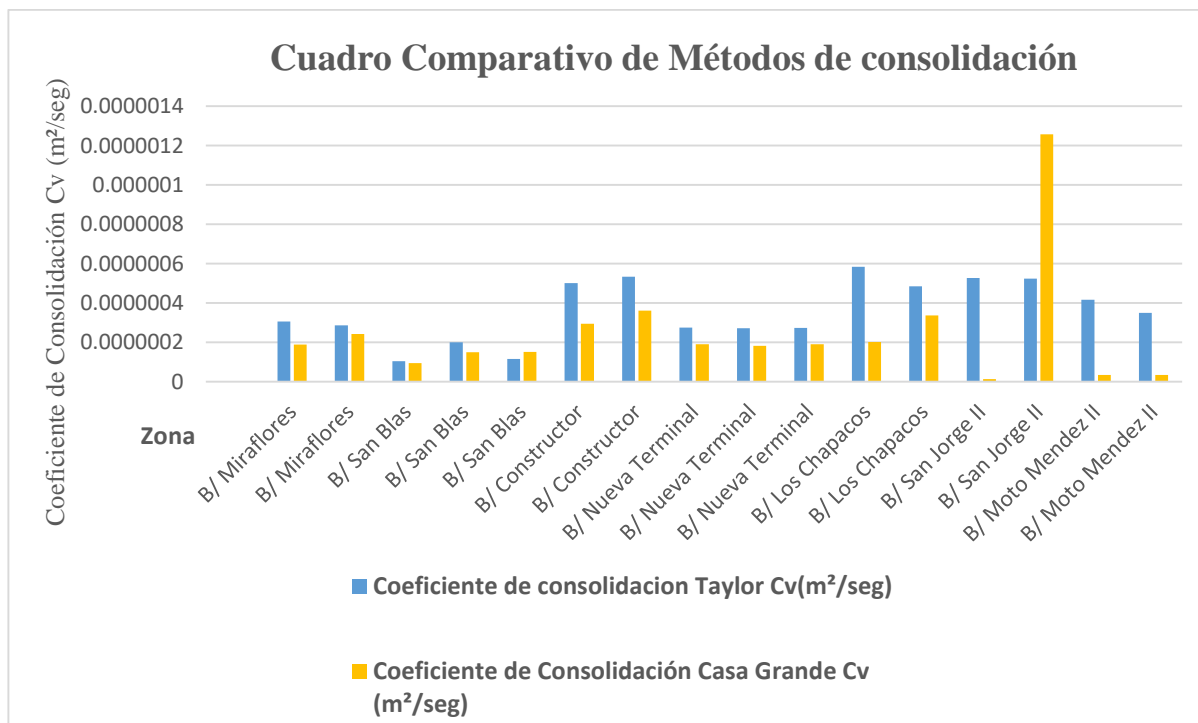
Gráfica 22. Procedimiento gráfico para la presión de preconsolidación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54. Comparación de resultados consolidación unidimensional drenada

Muestra N°	Zona	LL	LP	% de Arcilla	Malla N°200	Clasificación	Coef. de consolidacion Taylor Cv(m ² /seg)	Coef. de Consolidación Casa Grande Cv (m ² /seg)
						SUSC		
1	B/ Miraflores	28	28	43.61	95.75	ML	3.062E-07	1.897E-07
2	B/ Miraflores	28	28	43.61	95.75	ML	2.862E-07	2.427E-07
3	B/ San Blas	27	27	46.54	97.45	ML	1.056E-07	9.517E-08
4	B/ San Blas	27	27	46.54	97.45	ML	2.000E-07	1.504E-07
5	B/ San Blas	27	27	46.54	97.45	ML	1.157E-07	1.512E-07
6	B/ Constructor	31	21	18.6	99.03	CL	5.007E-07	2.945E-07
7	B/ Constructor	31	21	18.6	99.03	CL	5.341E-07	3.613E-07
8	B/ Torrecillas	27	21	38.63	80.44	ML-CL	2.752E-07	1.912E-07
9	B/ Torrecillas	27	21	38.63	80.44	ML-CL	2.727E-07	1.828E-07
10	B/ Torrecillas	27	21	38.63	80.44	ML-CL	2.746E-07	1.908E-07
11	B/ Los Chapacos	55	28	30.4	99.62	CH	5.840E-07	2.019E-07
12	B/ Los Chapacos	55	28	30.4	99.62	CH	4.852E-07	3.374E-07
13	B/ San Jorge II	59	30	17.62	99.24	CH	5.280E-07	1.352E-08
14	B/ San Jorge II	59	30	17.62	99.24	CH	5.239E-07	1.257E-06
15	B/ Juan Nicolai	53	27	34.91	98.65	CH	4.173E-07	3.420E-08
16	B/ Juan Nicolai	53	27	34.91	98.65	CH	3.502E-07	3.516E-08

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 23. Resultados de Taylor y Casa grande

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de consolidación es inversamente proporcional al tiempo que tarda en producirse la consolidación primaria, en las gráficas de (ANEXOS C) de consolidación que el mismo valor varía para diferentes presiones y con los métodos usados para estimarlos siendo los obtenidos por el método de casa grande de mayor valor, por lo tanto, se escogerá el valor medio para la representación en condiciones de campo.

Analizando la comparación en el método de casa grande se obtuvo un comportamiento típico, en cambio en el método de Taylor un comportamiento de igual forma, el coeficiente de consolidación C_v , ver (ANEXOS C) consolidación de Taylor, propone una aplicación más frecuente como ventajas. La consolidación C_v disminuye generalmente a medida que aumenta el límite líquido del suelo, a mayor arcilla que contenga la muestra el coeficiente es mínimo. Los suelos CH Y CL, el rango de variación de C_v para un límite líquido de suelo que portaría más arcilla a limo.

El método de casa grande presenta valores más pequeños y un nivel de confianza más alto y que brindan mayor seguridad en los cálculos en función al método de Taylor, por otra parte, presenta un nivel de bondad muy bajo en el método de Taylor, pero valores más semejantes en sus resultados.

La validación de resultados entre el método Casa Grande y Taylor demuestran una clara evidencia que ambos son aplicables para estudios geotécnicos, la diferencia de tiempo es efectiva para su comprobación en los asentamientos producidos, para un estudio completo y seguro. Cuando ocurre fenómeno de contracción disminuye generalmente a medida que aumenta el límite líquido del suelo, se puede evidenciar con los suelos CH Y CL, el rango de variación de C_v para un límite líquido de suelo es más bien amplio.

EL CONTROL DE LAS VARIABLES EXTRAÑAS DURANTE EL PROCESO DE ENSAYOS.

Que variables extrañas pueden estar presentes en la situación experimental: las que afectan a las variables dependientes.

Variable dependiente: El procedimiento de saturación, tiempo de drenaje y otros.

Consolidó metro

Piedras porosas Almacenamiento

Cuarto húmedo para la preparación de la muestra:

Temperatura

Balanza

Horno

Deformímetro

Equipo misceláneo

Recipientes para el contenido de humedad

Consolidómetro Un dispositivo para mantener la muestra dentro de un anillo el cual puede estar fijado a la base con piedras porosas sobre cada cara de la muestra.

El consolidómetro deberá proporcionar también medios para sumergir la muestra, aplicar la carga vertical, y medir el cambio de espesor de la misma. El anillo del consolidómetro deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El diámetro mínimo de la muestra (anillo), deberá ser de 62 mm y al menos 6 mm menor que el diámetro interior.
- b) El espesor mínimo de la muestra deberá ser de 26 mm pero deberá ser menor de 10 veces el diámetro de la partícula de mayor tamaño.
- c) La rigidez del anillo deberá ser tal, bajo las condiciones de la presión hidrostática de la muestra, que el cambio del diámetro del anillo no pasará del 0,3 % del diámetro bajo la mayor carga que se aplique.

Aunque es posible controlar esta variable, dependerá del personal especializado el procesamiento de datos obtenidos en el ensayo.

Piedras porosas: Las piedras porosas podrán ser de carburo de sílice, o de óxido de aluminio, o de un metal que no sea atacado ni por el suelo, ni por la humedad del mismo. La constitución de su porosidad deberá ser lo suficientemente fina para evitar la intrusión del suelo dentro de sus poros. Si fuera necesario, podrá usarse papel de filtro para evitarlo.

Es altamente posible controlar las variables, sin embargo, la permeabilidad de éstas y del papel de filtro, cuando se use, deberá ser suficientemente alta para evitar retardo en el drenaje de la muestra. Las piedras deberán estar limpias y libres de grietas, astillas e irregularidades.

Es altamente posible controlar las dimensiones del anillo, llegan fabricadas a su cierta medida según el tipo de consolidómetro y se recomienda el uso de piedras ahusadas con el diámetro mayor en contacto con el suelo.

El espesor de la piedra deberá ser suficiente para evitar su rotura. La piedra superior deberá cargarse a través de una platina resistente a la corrosión que deberá ser suficientemente rígida para evitar el rompimiento de la piedra.

Aunque es posible controlar esta variable, es altamente imposible conocer en ese momento cuánto podrá soportar la piedra, si ocurre un rompimiento, a causa del asentamiento del suelo junto con la piedra.

Almacenamiento: El almacenamiento de muestras selladas deberá ser tal que no pierdan humedad durante el mismo y que no haya evidencia de secamiento parcial ni de contracción de los extremos de la muestra. El tiempo de almacenamiento deberá reducirse al mínimo, particularmente cuando se espera que el suelo o la humedad reaccionen con los anillos de muestreo. Es posible controlar esta variable.

Cuarto húmedo para la preparación de la muestra: Las muestras deberán prepararse en un cuarto donde el cambio de la humedad no sea mayor de 0,2 %. Debe emplearse preferiblemente una cámara con humedad elevada. No es posible controlar esta variable a causa del lugar de preparación de la muestra no teníamos un espacio cerrado para

guardarlas, en cambio se encontró maneras de protegerlas con papel estañado a todas las muestras, intentando conservar la humedad natural de los suelos.

Temperatura: Los ensayos deberán efectuarse en un ambiente donde las fluctuaciones de la temperatura no sean mayores que es decir donde no haya contacto directo con la luz del sol.

Si se puede controlar esta variable, con el permiso de los técnicos para instalar el equipo de consolidómetro en un área que no haya contacto directo con la luz.

Balanza: con precisión de 0,1 g o a 0,1% del peso total de la muestra.

No se puede controlar esta variable, aunque la sensibilidad tiene un valor mínimo de la magnitud que es capaz de medir.

Horno: que pueda mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ} \text{F}$).

No se puede controlar esta variable, los equipos de horno cambian la temperatura gradualmente a causa que retiran muestras de otros ensayos y accidentalmente son removidas de un lugar a otro.

Deformímetro: para medir el cambio de espesor de la muestra con una precisión de 0,0025 mm (0.0001"). No se puede controlar esta variable la sensibilidad está relacionada con el valor mínimo de la magnitud que es capaz de medir. Errores instrumentales y errores personales como ser los problemas de tipo visual y el error de calibrado de los instrumentos.

Equipo misceláneo: incluye espátulas, navajas y sierras de alambre para la preparación de la muestra. Además, cronómetro.

Si es controlable esta variable.

Recipientes para el contenido de humedad: Un trapo húmedo, papel parafinado o papel estañado para proteger la muestra de pérdida de humedad debido a la evaporación.

Si se puede controlar esta variable, con la ayuda de un papel que protegerá la muestra de suelo.

Variable dependiente: El coeficiente de consolidación; resultado final por ambos métodos.

Los incrementos de carga en las cuales se hicieron lecturas de tiempo-asentamiento para suelos inorgánicos, u otros suelos con apreciable consolidación secundaria, son recomendable que el gráfico del log del tiempo, se extienda de manera que quede incluida la zona de la consolidación secundaria.

Deberán anotarse todas las desviaciones a partir del procedimiento delineado de la curva de logaritmo de tiempo y raíz cuadrada del tiempo incluyendo secuencias especiales de cargas. Por ejemplo, puede ser deseable inundar y cargar la muestra de acuerdo con la trayectoria de humedecimiento y carga esperada en el terreno.

Las relaciones más pequeñas que los incrementos normales de carga pueden ser deseables también para suelos altamente sensibles o cuyo comportamiento dependa en gran parte de la tasa de deformación. En algunos ensayos de consolidación si ocurrió una trayectoria inesperada la muestra del barrio San Jorge II, unas causas extrañas suelen ser accidentales, el mover el equipo, el dejar la muestra saturada por más días, no tener el control del deformímetro como ser el problema de contacto visual.

Precisión: La precisión con la cual los resultados de ensayo puedan aplicarse al terreno varía de un caso a otro y depende de:

- a) Calidad de las muestras empleadas.
- b) Del número de muestras ensayadas.
- c) De la distribución vertical y horizontal de las muestras ensayadas.
- d) De la heterogeneidad del perfil de suelos en el sitio.

Es necesario un método estadístico que incluya tanto el programa de muestreo como los resultados del ensayo para establecer de manera significativa la precisión con la cual pueden aplicarse los resultados en el campo.

Consecuencias:

Incremento en el esfuerzo efectivo.

Reducción en el volumen de vacíos.

Reducción en el volumen total.

Asentamientos en el terreno.

Asentamientos en la estructura.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Se realizó una búsqueda en diferentes lugares donde se consideraba la posibilidad de conseguir un material cohesivo y se optó por 7 lugares realizar la extracción de muestras inalteradas.
- De acuerdo con los ensayos de granulometría y límites de Atterberg realizados a las muestras de suelos escogidos, se concluyó que se contaba con un suelo arcilloso de baja compresibilidad CL, CH, ML y ML-CL. Según el sistema unificado de clasificación de suelos SUSC.
- Se observó, que después de los ensayos de caracterización, la mayoría de las muestras son inorgánicos de media y alta plasticidad, pero se realizó la comparación entre todas las muestras de suelos cohesivos investigadas, ya que la mayoría de los suelos en la provincia Cercado – Tarija presentaron ser limos arcillosos y es aplicable la metodología tanto de Taylor como de Casa grande.
- Para un incremento de presión en una muestra, existen dos métodos gráficos que han sido empleados en la consolidación teórica, método Casagrande y Taylor utilizados para determinar de C_v en pruebas de laboratorio de consolidación unidimensional, lo cual son métodos aplicables con un futuro de seguir estudiándolos a profundidad para sus estudios académicos en materias de laboratorio y también como estudio geotécnico.
- El coeficiente de consolidación expresa la velocidad de consolidación. Es un parámetro que no se mantiene constante, depende del tiempo, de la sobrecarga y conductividad hidráulica del suelo, después de ensayar las muestras que se han comparado todos los datos obtenidos durante el ensayo de consolidación en laboratorio y teóricamente, y por medio del método de los mínimos cuadrados se

establece la bondad de ajuste de todas las muestras ensayadas resolviendo esfuerzos efectivos que si se pudieron aplicar en laboratorio.

- Los distintos ensayos de consolidación realizados con cargas que correspondiente, permitieron concluir que para hallar los valores del coeficiente de consolidación (C_v) es necesario hacer uso de la gráfica que relaciona la deformación con la raíz cuadrada del tiempo y de esta manera hallar el valor del t_{90} (tiempo en el que transcurre el 90% de la consolidación primaria) ya que ninguna de las gráficas permite identificar el valor de C_v haciendo uso del t_{50} .
- Con los resultados obtenidos de los dos ensayos de consolidación unidimensional drenada, verificamos que es un método muy importante en la ingeniería ya que nos podemos dar cuenta de que tan resistente podría ser el suelo cohesivo sometido a esfuerzos de presión de preconsolidación y cómo serán sus desplazamientos con el curso del tiempo. Haciendo una comparación con el fin de conocer ambos comportamientos sometidos a una igual carga.
- Al realizar la comparación en el método de casa grande se obtuvo un comportamiento típico, en cambio en el método de Taylor un comportamiento de igual forma, el coeficiente de consolidación C_v , disminuye generalmente a medida que aumenta el límite líquido del suelo, a mayor arcilla que contenga la muestra el coeficiente es mínimo. Los suelos CH Y CL, el rango de variación de C_v para un límite líquido de suelo que portaría más arcilla a limo.
- Se encontró que hay una variación del $1.24348 \times 10^{-6}\%$ en un ensayo de San Jorge II suelo CH lo cual permite llegar a la conclusión de que si hay una correspondencia entre la estimación del asentamiento que ocurre realmente en el ensayo de Casagrande, esto puede ocurrir por la activación de variables extrañas y no son posibles de controlar.
- Se logró establecer una relación entre los ensayos de consolidación método Casagrande y Taylor en condiciones similares con una confiabilidad de 95.00% por la

dispersión de resultados que existe entre los ensayos, fueron diferentes muestras y cada una de ellas un suelo CL, CH Y ML.

- La comparación entre los métodos de cálculo para determinar el valor estimado de asentamiento total, permite concluir que el método que utiliza logaritmo de tiempo Casa grande a lo largo de la altura del estrato es mucho más acertado a la hora de predecir las deformaciones.
- Con la base de observaciones de varias arcillas naturales encontradas en la provincia cercado Tarija se determina con amplitud la relación entre el índice de compresión, relación de vacíos y coeficiente de consolidación y los demás parámetros de compresibilidad. Que son de aporte para un completo estudio geotécnico de suelos.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Es recomendable tomar en cuenta todos los decimales para tomar en cuenta los puntos elaborados en las curvas que son sucesivos muestran un aumento de carga el cual representa el incremento del esfuerzo efectivo. Se puede observar que cuando existe mayor esfuerzo efectivo debido a los aumentos de carga disminuye la relación de vacíos.
- Bajo el análisis del trabajo de campo, se recomienda que el ensayo se debe realizar por personal especializado, en el área técnica como el procesamiento de datos obtenidos en el ensayo, debido a la interpretación de datos según el equipo que manejamos en laboratorio.
- Con el fin de evitar incertidumbres en las gráficas de consolidación se recomienda la adquisición de deformímetros digitales, los cuales permitan obtener datos con un mayor número de cifras significativas, lo cual ayude a obtener una percepción más acertada de las deformaciones ocurridas a lo largo de los ensayos.

- Realizar ensayos de consolidación para obras como cimentaciones, muros de contención etc. En estructuras de gran envergadura para garantizar la seguridad de las obras, es preferible tener resultados garantizados asemejados a los que tenemos en libros de guías y rescatar las normas para cumplirlas.
- Utilizar los equipos delicadamente para la manipulación y preparación de la muestra, previos a la realización así poder tener exactitud y precisión en la toma de datos de Edómetro.
- La investigación de consolidación es muy compleja cuando se presentan otros factores de comportamiento de los suelos.
- Se recomienda contar con la señalización necesaria con el fin de evitar alteraciones tanto en los ensayos de laboratorio como en los ensayos de consolidación, ya que las herramientas con las cuales se realizan las mediciones son mis sensibles y se presentaron algunos problemas a lo largo del desarrollo del presente proyecto con algunas afectaciones por la manipulación indebida de terceros, lo cual hizo que se descartaran unos ensayos realizados en el laboratorio.