

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION

Las obras civiles están presentes en cualquier lugar del mundo, independientemente de su envergadura llevan consigo un análisis geotécnico correspondiente al material sobre el cual serán emplazadas. Dentro de los materiales de comportamiento anómalo para el emplazamiento de cualquier obra civil están las arcillas. Estos materiales tienen un comportamiento de expansión-contracción.

En esta investigación, se estudiará las condiciones necesarias del cambio volumétrico de las arcillas inorgánicas, lo cual se conseguirá mediante ensayos de laboratorios aplicados a las arcillas inorgánicas CL-OL-ML para poder realizar una comparación de resultados obtenidos en laboratorio. Los ensayos son ensayos de hinchamiento y consolidación, que se aplican al material seco, saturado según condiciones o en límite plástico. Estos ensayos son conocidos como "Edómetro con carga" y "Edómetro sin carga".

El criterio de este trabajo pretende analizar las condiciones de los cambios volumétricos producidos en las arcillas inorgánicas, con la finalidad, se puedan observar los efectos que se producen mediante la obtención de resultados y las respectivas comparaciones de los mismos, para así poder establecer alternativas de prevención.

Es necesario estudiar estas características del suelo, debido a que en general estos sufren deformaciones superiores a las de la estructura que le transmite la carga y no siempre se produce instantáneamente ante la aplicación misma de la carga, sino que puede esperar un lapso de tiempo. Los estudios verificaran mediante el análisis el comportamiento del cambio volumétrico de las arcillas, lo que nos permitirá tener referencias garantizadas, y las mismas nos ayudarán a establecer normas para así tomar las prevenciones necesarias al momento de realizar la cimentación de una obra en uno de estos tipos de suelos, evitando posteriores asentamientos y deterioros que afecten la tranquilidad y seguridad de la sociedad.

Justificación Técnica

Debido a la presencia de patologías en las obras civiles, ya sean grietas, fisuras o asentamientos. Resulta de gran importancia conocer los índices de compresión y expansión de suelos con presencia más habitual en la construcción, y a partir de ahí, adoptar las medidas que permitan mitigar o prevenir las grietas, fisuras o asentamientos, garantizando las construcciones emplazadas en estos tipos de suelos.

Se demostrará que aplicando ensayos de consolidación se puede determinar los cambios volumétricos de compresión y expansión en las arcillas inorgánicas

Justificación Social

La investigación busca proporcionar información que será útil a la comunidad del área de la construcción civil y el área social, para mejorar el conocimiento sobre el alcance e influencia del problema en la construcción y las formas de prevenirlo, al momento de realizar algún emplazamiento de una obra civil .

Justificación Académica

Debido a que no se cuenta con suficientes estudios de alcance nacional sobre del cambio volumétrico de las arcillas inorgánicas, y sus estrategias de prevención, el presente trabajo es conveniente para afianzar un mayor conocimiento sobre la ocurrencia de cada tipo de cambio volumétrico de arcilla, según el tipo de suelo elegido, sus características y estrategias para evitarlo o prevenirlo.

Por otra parte, la investigación contribuye a la comunidad académica, para que puedan contrastarlos con otros estudios similares, y analizar las posibles variantes según el tipo de suelo y su procedencia.

1.1 DISEÑO TEORICO

1.1.1 Planteamiento del problema

1.1.1.1 Situación problemática

Cuando se producen estos cambios volumétricos, se provoca la deformación de los suelos lo que repercute con la creación de patologías en las obras civiles que fueron cimentadas en estos suelos, ejemplo: grietas, fisuras y asentamientos.

Los cambios volumétricos en las arcillas inorgánicas, provocan asentamientos, grietas u otras fallas en las estructuras, esto debido a la aplicación de cargas en algunas ocasiones, o simplemente por la variación volumétrica del suelo.

Es necesario realizar un análisis de los efectos producidos, para posteriormente poder definir alternativas de prevención.

1.1.1.2 Determinación del problema

Problema de investigación

¿De qué manera, un análisis de las condiciones del cambio volumétrico de las arcillas, nos brindará información para prevenir los efectos negativos de las sub rasantes?

Breve descripción sobre: Delimitación de tiempo, factibilidad y espacio

Para realizar el análisis de los cambios volumétricos de la arcilla inorgánica, se necesita un tiempo mínimo de 12 semanas, para realizar correctamente las diferentes pruebas de ensayo, se trabajara en el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S, con la guía y ayuda de los auxiliares.

La realización del presente tema es factible, se cuentan con los equipos en el laboratorio, dos equipos de Lambe y dos equipos de Edómetro; los cuales durante el tiempo que serán requeridos no son usados por otras materias, permitiendo trabajar con mayor tranquilidad y con la garantía de obtener resultados confiables.

1.1.2 Objetivos

1.1.2.1 Objetivo general

Analizar las condiciones de los cambios volumétricos de las arcillas, utilizando ensayos de consolidación, con la finalidad, se puedan observar los efectos que se producen para establecer alternativas de prevención.

1.1.2.2 Objetivos específicos

- Generar un marco teórico, que contenga todo lo referencial a cambios volumétricos en las arcillas.
- Establecer metodologías que estudien suelos arcillosos con variaciones de volumen.
- Ubicar y muestrear zonas donde se encuentren arcillas.
- Identificar la zona de trabajo.
- Determinar mediante ensayos de laboratorio la plasticidad de las muestras obtenidas.
- Aplicar los resultados obtenidos en la búsqueda de soluciones prácticas, dando utilidad en cimentaciones.

1.1.3 Formulación de la hipótesis

1.1.3.1 Hipótesis

El tipo de suelo es una condición para el cambio volumétrico de las propiedades de contracción y expansión.

1.1.4 Identificación de variables

-Variable independiente, tipo de suelo (arcilla inorgánica)

$$X_1 = CL$$

$$x_3 = ML$$

$$X_2 = OL$$

-Variable dependiente

Cada variable independiente, tendrá dos variables dependientes, las propiedades de **(expansión-contracción)**.

1.1.5 Conceptualización y operacionalización de las variables

- Conceptualización.-

Variable independiente:

$$\mathbf{X_1 = CL}$$

$$\mathbf{x_3 = ML}$$

$$\mathbf{X_2 = OL}$$

Las variables independientes son suelos de grano fino, que pasa más del 50% el tamiz N°200; son limos y arcillas inorgánicas de alta y baja plasticidad, que serán sometidos a ensayos de carga y descarga para poder analizar su comportamiento de expansión y contracción.

Variable dependiente:

Expansión

Contracción

Son propiedades que adquirirá el suelo cuando se le apliquen condiciones de carga y humedad, la expansión-contracción será determinada para cada variable independiente.

Tabla N° 1 : Operación de variables.

Variable	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Arcillas	Procedencia	Tipo de arcilla	Clasificación según métodos conocidos
	Procedimiento manual	Tamaño máximo	Método lavado
		Tamaño máximo	Hidrómetro
Expansión	Absorción de agua	ml	Edómetro
	Repulsión de partículas	Kg/f	Equipo de corte
Contracción	Límite de contracción	%	Método límites de ATTERBERG
	Absorción de agua	ml	Edómetro
	Repulsión de partículas	Kg/f	Equipo de corte

Fuente: Elaboración Propia

1.1.6 Alcance de la investigación

Es una investigación con alcance explicativo o causal, que tiene un diseño experimental en la categoría cuasi experimento.

En esta investigación se trabaja con tres arcillas inorgánicas diferentes, para poder comparar las deformaciones que se generan aplicando cargas, estableciendo según estudios de clasificación de suelos las zonas de extracción de los tres tipos de arcillas inorgánicas requeridas (CL-OL-ML), se extraerán de cada zona cantidades suficientes para realizar los ensayos de expansión y contracción (carga-descarga), determinando así el comportamiento que presenta cada una.

Se realizará el análisis de los 3 tipos de arcillas inorgánicas para analizar su comportamiento al ser sometidas a carga y descarga, como también calcular el asentamiento realizando ensayos de consolidación y de acuerdo a los resultados obtenidos se realizará un análisis estadístico de las deformaciones generadas.

Inicialmente el **Capítulo I** contiene una breve introducción de generalidades sobre “**ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES NECESARIAS DEL CAMBIO VOLUMÉTRICO DE ARCILLAS INORGÁNICAS**”, en donde se define la problemática sobre la que se basa el presente trabajo, el problema al que se quiere dar solución, la justificación del porqué se realizó el presente trabajo de investigación, los objetivos que se desea alcanzar con la investigación realizada, la hipótesis de la investigación y las variables dependiente e independiente.

Posteriormente, en el **Capítulo II** se desarrollará el marco teórico, reflejando la teoría referida a lo que es asentamientos por consolidación y los parámetros que se obtienen luego de realizado el ensayo de consolidación para el cálculo de asentamientos como el coeficiente de compresión, la carga de pre consolidación, el esfuerzo efectivo, el incremento de presión causado por el tipo de fundación asumida.

En el **Capítulo III**, está el desarrollo experimental del trabajo de investigación, es decir el proceso de obtención de muestras de suelo para el posterior análisis de las mismas en el laboratorio de suelos y con los ensayos de consolidación de suelos, como también otros ensayos necesarios para el desarrollo de la investigación como ser el peso específico relativo de los suelos, los resultados de los mismos y el cálculo de los asentamientos por consolidación.

Finalmente en el **Capítulo IV**, se expondrán las conclusiones que hemos llegado y que están función de los resultados obtenidos y se mencionara recomendaciones referentes al tema y al desarrollo del mismo.

En los **Anexos**, se colocarán todos los ensayos realizados.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 DISEÑO TEORICO

2.1.1 DETERMINACION DE LA LINEA DE INVESTIGACIÓN

2.1.1.1 Determinación de línea de estudio. Argumentos.

Se identificó el problema presente en la cimentación de obras civiles, en las edificaciones o viviendas se puede apreciar la presencia de fisuras, en las carreteras existen hundimientos, problemas provocados por asentamientos.

Los asentamientos se generan en suelos plásticos (Arcillas Inorgánicas), comportamiento de los suelos que tienen, frente a diferentes cambios de humedad es muy variable, y genera especial interés para los ingenieros civiles, cuando sobre estos materiales se construye la cimentación de una obra en particular.

Los efectos negativos de los suelos plásticos o suelos que poseen cierta plasticidad sobre las estructuras, han sido generalmente traducidos a problemas de agrietamiento.

El problema estriba en el comportamiento de los suelos plásticos (específicamente la fracción de arcilla presente en estos). Estos materiales molecularmente son láminas sobrepuestas, cuando el agua penetra entre las láminas, la masa de suelo se expande según la cantidad de agua presente. Esto hace que se generen cambios en su volumen y con ello subpresiones sobre las estructuras.

2.1.1.2 Breve descripción de causales identificados.

Lógica de Causales:

- No proporciona la información necesaria para determinar las condiciones necesarias del cambio volumétrico de los suelos.
- Existe dificultad al momento de seleccionar la metodología adecuada.
- No existen elementos que afecten al cambio volumétrico de un suelo.

Selección de causales y ajuste de la negación.

- No se proporciona la información necesaria para determinar las características necesarias del cambio volumétrico de los suelos.

- No existe dificultad para seleccionar la metodología adecuada.
- No existen elementos que afecten en el cambio volumétrico.

Configurando el cambio del NO por el SI

- Si se proporciona la información necesaria para determinar las condiciones necesarias del cambio volumétrico de los suelos.
- Si existe dificultad para seleccionar la metodología adecuada.
- Si existen elementos que afecten en el cambio volumétrico.

2.1.1.3 Identificación del Objeto de estudio.

p	3	4	5	4	3	5
q	4	3	3	5	5	4
sentido	F	V	V	F	V	F

El sentido de verdad determinado es:

3OK!!!

Objeto de Estudio:

- Condiciones necesarias del cambio volumétrico de Arcillas Inorgánicas.

2.1.1.4 Determinación de la perspectiva de solución.

- Analizar

2.2 CONSOLIDACIÓN DE LOS SUELOS

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 asientos, es decir, hundimientos verticales, en las construcciones que pueden llegar a romper si se producen con gran amplitud.

Al observar los depósitos de material muy blandos situados en el fondo de una masa de agua, por ejemplo un lago, se nota que el suelo reduce su volumen conforme pasa el tiempo y aumentan las cargas sobre el suelo, se les llama proceso de consolidación.

Frecuentemente ocurre que durante el proceso de consolidación permanece esencialmente igual la posición relativa de las partículas sólidas sobre un mismo plano horizontal. Así, el movimiento de las partículas de suelo puede ocurrir solo en la dirección vertical, proceso denominado consolidación unidimensional.

La consolidación de un suelo es un proceso lento, puede durar meses y hasta años. Es un proceso asintótico, es decir, que al comienzo es más veloz, y se va haciendo cada vez más lento, hasta que el suelo llega a una nueva situación de equilibrio en la que ya no se mueve.

El no tomar en cuenta este posible movimiento del suelo al proyectar una estructura sobre él puede llevar a consecuencias catastróficas tales como la inclinación, fisuración e incluso el colapso de la misma. En muchos casos es necesario pre-consolidar el suelo antes de proceder a la construcción de una obra importante, como puede ser, por ejemplo, un edificio o una carretera. La pre consolidación se hace el terreno con un peso semejante o mayor que el que deberá soportar una vez construida la obra, para esto se deposita en la zona interesada una cantidad de tierra con el peso equivalente de la obra.

El asentamiento total de las masas de suelo tiene las siguientes 3 componentes:

Asentamiento inmediato, es causado por la deformación elástica del suelo puede darse en suelos húmedos, secos y saturados y no habrá ningún cambio de humedad. Se hace basada en la teoría de elasticidad. Se observa mejor en los suelos granulares.

El asentamiento por consolidación, es el cambio de volumen en suelos cohesivos saturados debido a la expulsión del agua que ocupa los poros. Los suelos cohesivos saturados pueden ser suelos arcillosos y arcillosos saturados.

Depende de la permeabilidad del suelo. Es una deformación dependiente del tiempo y ocurre en suelos de grava fina saturados con baja permeabilidad.

El asentamiento por compresión secundaria, se llama secundaria por qué parte de una deformación que ya sucedió y ocurrió con un esfuerzo efectivo constante con ningún cambio de agua en los poros y es dependiente del tiempo. Resulta del ajuste de la estructuras del suelo. Ya no hay esfuerzo ni compresión de poros.

Al someter una masa de suelo saturado a un incremento de carga, esta es soportada inicialmente por el agua contenida en los poros, ya que ella es incompresible en comparación con la estructura del suelo. La presión que resulta en el agua a causa del incremento de la carga es llamada exceso de presión hidrostática. A medida que el agua drena de los poros del suelo, el incremento de carga es transmitido a la estructura del suelo. La transferencia de carga es acompañada por un cambio en el volumen del suelo igual al volumen de agua drenada. Este proceso es conocido como consolidación.

Este es un proceso que tiene un tiempo acotado de ocurrencia, comienza cuando se aplica el incremento de carga, y finaliza cuando la presión de los poros es igual a la hidrostática, o lo que es lo mismo, cuando se ha producido la totalidad de la transferencia de carga del agua a la estructura de suelo. Terminado este proceso llamado consolidación primaria, el suelo continua deformándose, aunque en menor magnitud, debido a un reajuste de los granos. A este último proceso se lo denomina consolidación secundaria.

El asiento total, suponiendo que el último valor medido coincide con el momento en que desaparece toda la sobrepresión intersticial creada al aplicar la carga, es una medida de la deformación del esqueleto del suelo. Si se realizan varios escalones de carga, se obtendrá una curva de compresibilidad, que relaciona la presión efectiva (en escala logarítmica) con la deformación del esqueleto mineral, expresada por el índice de poros o relación de vacíos. El propósito fundamental del ensayo de consolidación es determinar ciertos parámetros que se utilizan para predecir la velocidad y la magnitud del asentamiento de estructuras fundadas sobre arcillas. Además, el ensayo permite obtener información acerca de la historia de presiones a que ha sido sometido el suelo. (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das).

2.3 ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN

2.3.1 Analogía del muelle (resorte)

El proceso de consolidación suele ser explicado con el modelo idealizado de un sistema compuesto por un muelle (resorte), un cilindro con un agujero y relleno de agua. En este sistema el muelle representa la compresibilidad o la estructura propia del suelo, y el agua es el fluido que se encuentra en los vacíos entre los poros. El modelo fue propuesto por

Terzaghi como una modificación de un modelo originalmente sugerido por Lord Kelvin para otros fines.

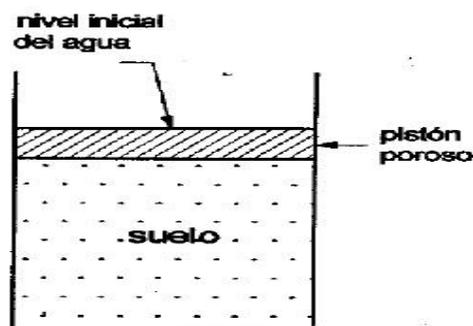
El cilindro está completamente lleno de agua, y el agujero está cerrado (Suelo saturado)

Una carga es aplicada sobre el muelle mientras el orificio sigue cerrado. En esta etapa, el agua resiste la carga aplicada. (Desarrollo de presiones excesivas en los poros de agua)

Cuando se abre el orificio, el agua comienza a drenar y el muelle se acorta. (Drenaje excesivo de los poros de agua)

Después de cierto tiempo, el drenaje de agua termina. Ahora el muelle resiste por sí solo la carga aplicada. (Total disipación del exceso de presión de agua en los poros. Fin de la consolidación.)

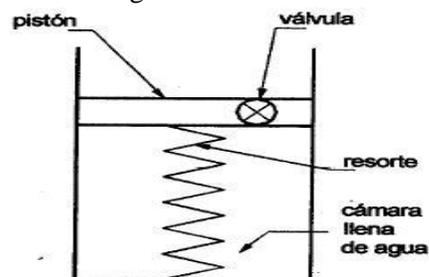
Figura N°1 : Muelle resorte-ejemplo físico.



Fuente: Mecánica de suelos Tomo1.

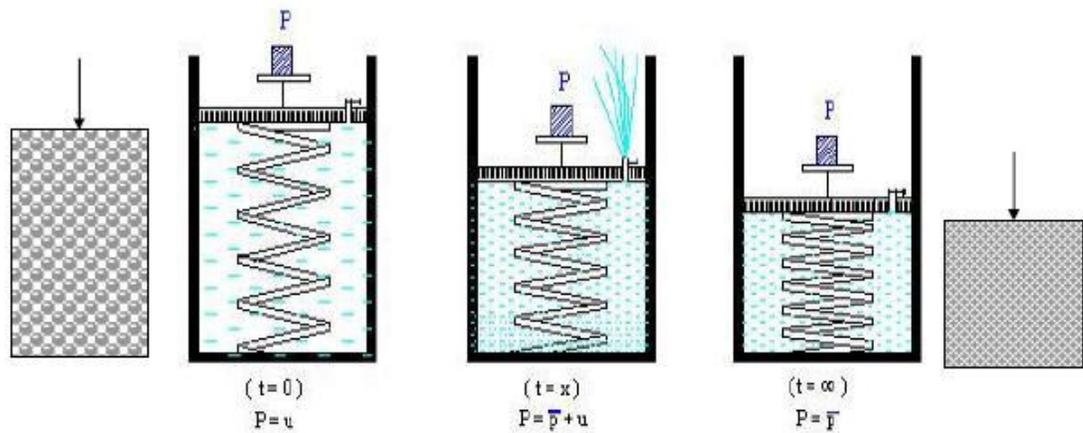
Una analogía hidromecánica en la que las propiedades del suelo se han idealizado y que se representan de la siguiente forma:

Figura N°2 : Analogía hidromecánica del estado inicial.



Fuente: Mecánica de suelos Tomo1.

Figura N°3 : Analogía del muelle resorte.

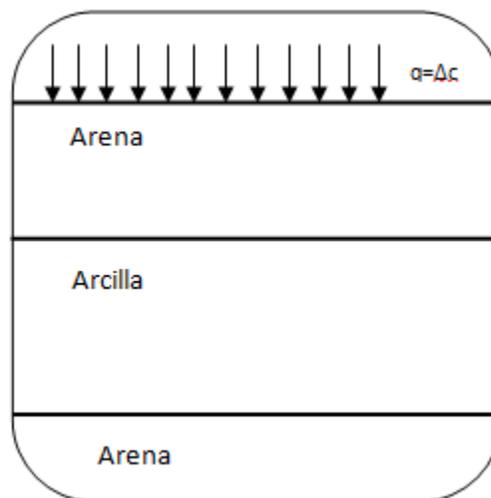


El modelo anterior, nos muestra la forma de cambiar de ecuación general de fuerzas, que necesariamente mantienen el equilibrio, pero que sus componentes, la fuerza del agua y la fuerza del resorte, cambian durante el proceso de evacuación del agua.

El término de los esfuerzos, hay que recordar la ecuación general de los esfuerzos en la masa de suelo, sin incrementar la presión, es la siguiente:

$$\sigma = \sigma' + \mu$$

Consideremos el estrato siguiente, como un modelo, pero esta vez con una carga q , que representa el incremento de carga de cada uno de estos parámetros.



En este caso se habla de un incremento de esfuerzos, entonces la anterior se representa de la siguiente manera:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta\mu$$

Dónde:

$\Delta\sigma$ = Incremento del esfuerzo total.

$\Delta\sigma'$ = Incremento del esfuerzo efectivo.

$\Delta\mu$ = Incremento en la presión de poro del agua.

2.3.2 Comportamiento de las presiones respecto del tiempo

Para un tiempo $t=0$, en el suelo que es sometido a la compresión, es el agua quien soporta al incremento del esfuerzo total, en este caso el esqueleto mineral no está reaccionando con ningún esfuerzo, por lo que se define en este punto:

$$\Delta\sigma = \Delta\mu$$

Donde la presión inter granular $\Delta\sigma' = 0$, debido a que el agua es incomprensible.

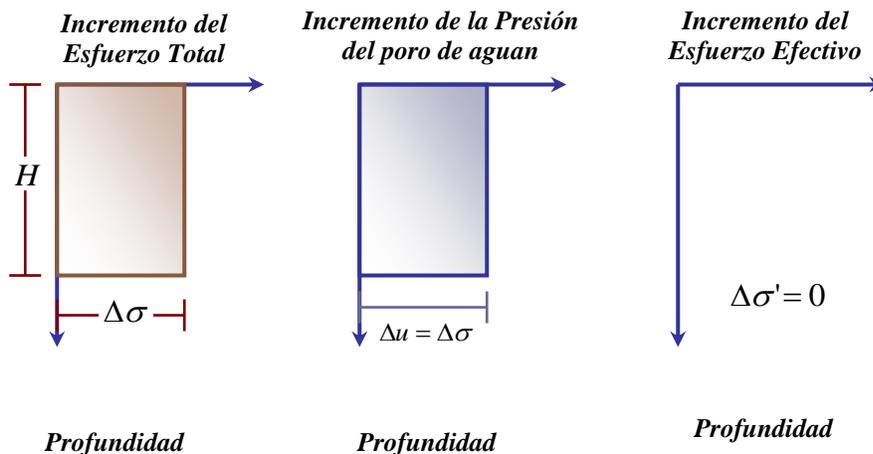
Para un tiempo $0 < t < \alpha$, la presión de poro comienza a disminuir, debido a que el agua siempre busca alguna manera de drenar dejando la carga a las partículas del suelo, por lo tanto la presión inter granular comienza a crecer:

$$\Delta\sigma' > 0$$

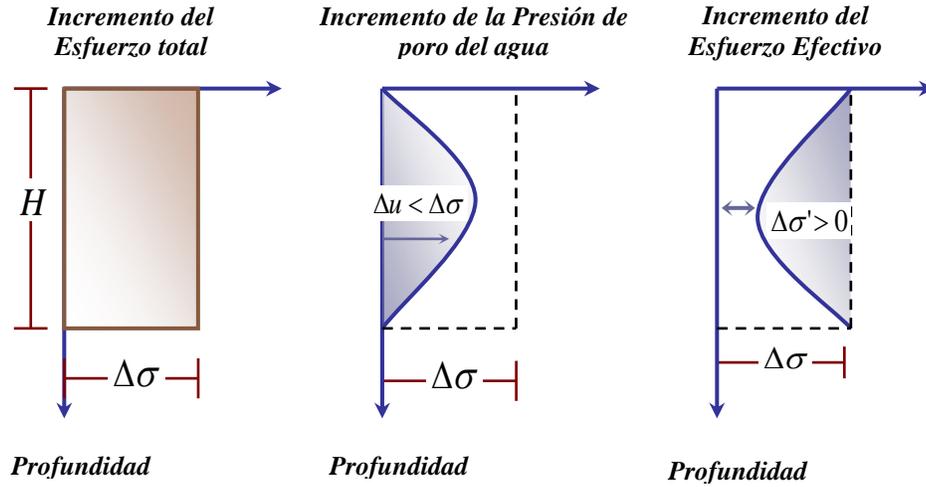
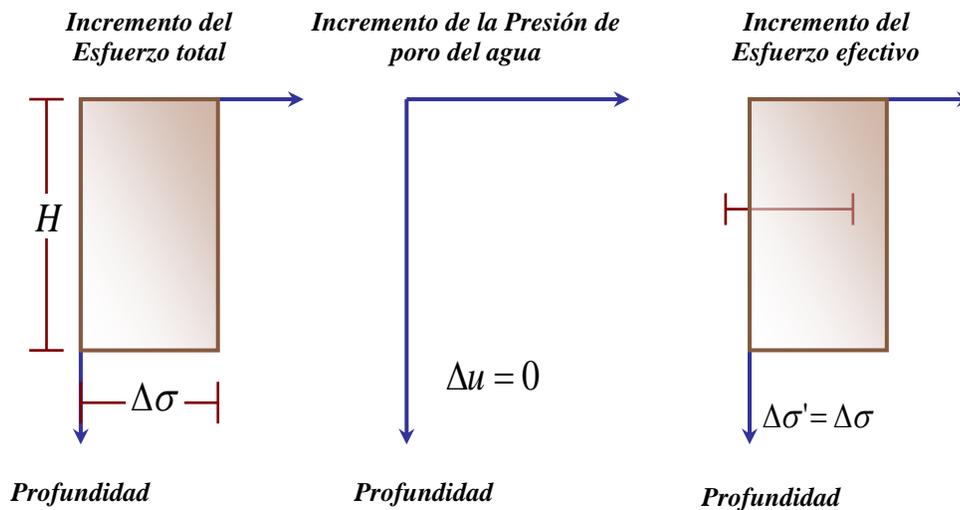
Para un tiempo $t = \alpha$, la presión inter granular es igual a la presión total; $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$ (Mecánica de suelos II. Msc. Ing. Luis Alberto Flores Yurquina).

Gráfico que muestra la variación de las presiones respecto del tiempo

Figura 4



(b) En el tiempo $t = 0$

(c) En el Tiempo $0 < t < \infty$ (d) En el Tiempo $t = \infty$

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica de Braja M. Das 2001

2.3.3 Consolidación primaria

Este método asume que la consolidación ocurre en una sola dimensión. Los datos de laboratorio utilizados han permitido construir una interpolación entre la deformación o el índice de vacíos y la tensión efectiva en una escala logarítmica. La pendiente de la interpolación es el índice de compresión. La ecuación para el asiento de consolidación de un suelo normalmente consolidado puede ser determinada entonces como:

$$\delta_c = \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left(\frac{\sigma'_{zf}}{\sigma'_{z0}} \right)$$

Donde:

δ_c = Asiento debido a la consolidación.

C_c = Índice de compresión.

E_0 = Índice de vacíos inicial.

H = Altura de suelo consolidable.

Σ_{zf} = Tensión vertical final.

Σ_{z0} = Tensión vertical inicial.

C_c puede ser reemplazada por C_r (índice de re compresión) para usar en suelos sobre consolidados donde la tensión final efectiva es menores que la tensión de pre consolidación, o lo que es lo mismo, para suelos que hubieran sido consolidados con más intensidad en el pasado. Cuando la tensión final efectiva sea mayor que la tensión de pre consolidación, las dos ecuaciones deben ser usadas en combinación de un modelo conjunto como sigue:

$$\delta_c = \frac{C_r}{1 + e_0} H \log\left(\frac{\sigma'_{zc}}{\sigma'_{z0}}\right) + \frac{C_c}{1 + e_0} H \log\left(\frac{\sigma'_{zf}}{\sigma'_{zc}}\right)$$

Dónde:

σ_{zc} = Tensión de pre consolidación del suelo.

2.3.4 Consolidación secundaria

La consolidación secundaria tiene lugar después de la consolidación primaria a consecuencia de procesos más complejos que el simple flujo de agua como pueden ser la reptación, la viscosidad, la materia orgánica, la fluencia o el agua unida mediante enlace químico algunas arcillas. En arenas el asiento secundario es imperceptible, pero puede llegar a ser muy importante para otros materiales como la turba.

La consolidación secundaria se puede aproximar mediante la siguiente fórmula:

$$S_s = \frac{H_0}{1 + e_0} C_a \log\left(\frac{t}{t_{90}}\right)$$

Dónde:

H_0 = Altura de consolidación media.

e_0 = Índice inicial de vacíos.

C_a = Índice secundario de compresión.

2.4 CAUSAS DE LOS CAMBIOS DE VOLUMEN

Cuando un estrato de suelo saturado está sometido a un incremento de esfuerzos, la presión del poro del agua aumenta repentinamente. En suelos arenosos que son altamente permeables, el drenaje causado por el incremento en la presión del poro del agua se lleva a cabo inmediatamente. El drenaje del agua de los poros va acompañado por una reducción en el volumen de la masa del suelo, generándose un asentamiento. Debido al rápido drenaje del agua de los poros en los suelos arenosos, el asentamiento inmediato y la consolidación se efectúan simultáneamente. Sin embargo, no es el caso para suelos arcillosos, que tienen baja permeabilidad. El asentamiento por consolidación depende del tiempo.

Así es como analizaremos la deformación de un estrato de arcilla sometida a un incremento de esfuerzos. Un estrato de arcilla saturada de espesor H está confinado entre dos estratos de arena y sometido a un incremento instantáneo en el esfuerzo total de $\Delta\sigma$.

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$$

Dónde:

$\Delta\sigma'$ = Incremento en el esfuerzo efectivo.

Δu = Incremento en la presión de poro de agua.

Como la arcilla tiene muy baja permeabilidad y el agua es incompresible comparada con el esqueleto del suelo, en el tiempo $t=0$, el esfuerzo incrementado total, $\Delta\sigma$, será tomado por el agua ($\Delta\sigma = \Delta u$) a toda profundidad. Ningún esfuerzo será tomado por el esqueleto del suelo (es decir, el esfuerzo efectivo incrementado $\Delta\sigma' = 0$).

Después de la aplicación del esfuerzo incrementado $\Delta\sigma$ al estrato de arcilla, el agua en los espacios vacíos empezará a ser expulsada y se drenará en ambas direcciones hacia los estratos de arena. Por medio de este proceso, el exceso de presión de poro del agua en cualquier profundidad sobre el estrato de arcilla, decrecerá gradualmente y el

esfuerzo tomado por los sólidos del suelo (esfuerzo efectivo) se incrementara. Asi entonces, en el tiempo $0 < t < \varphi$,

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \quad (\Delta\sigma' > 0 \text{ y } \Delta u < \Delta\sigma)$$

Sin embargo, las magnitudes de $\Delta\sigma'$ y Δu a diversas profundidades cambiara, dependiendo de la distancia minima de la trayectoria de drenaje a cualquiera de los estratos de arena, superior o inferior.

Teóricamente, en el tiempo $t = \varphi$, la presión de poro completa en exceso se disipara por drenaje desde todos los puntos del estrato de arcilla, dando $\Delta u = 0$. El incremento de esfuerzo total $\Delta\sigma$ se tomará entonces por la estructura del suelo, por lo que:

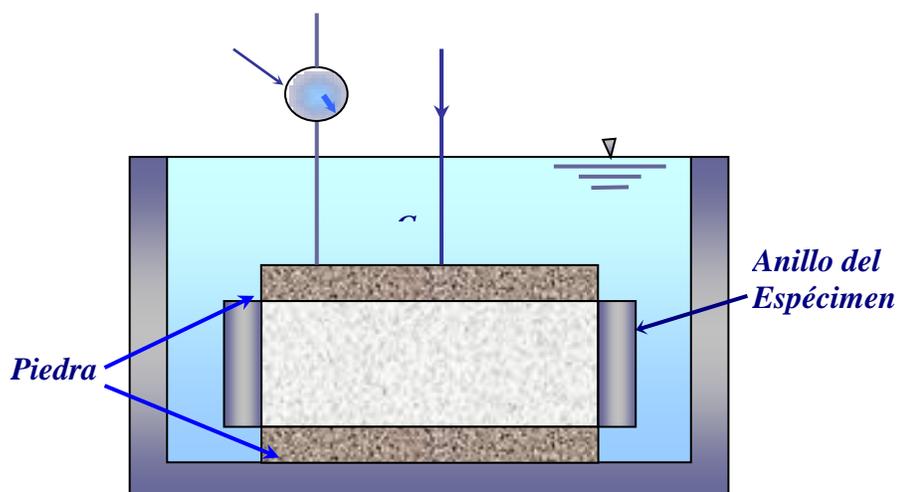
$$\Delta\sigma = \Delta\sigma'$$

Este proceso gradual de drenaje, bajo la aplicación de una carga adicional y la transferencia asociada de presión de poro en exceso al esfuerzo efectivo, ocasiona el asentamiento dependiente del tiempo (consolidación) en el estrato de suelo arcilloso. (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M Das).

2.5 ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN EN LABORATORIO

El procedimiento de prueba de la consolidación unidimensional fue primero sugerido por Terzaghi (1925), la cual en un consolidometro (llamado a veces odómetro). El espécimen de suelo se coloca dentro de un anillo metálico con dos piedras porosas, una en la parte superior del espécimen y otra en el fondo. Los especímenes son usualmente de 63.5mm de diámetro y 25.4mm de espesor. La carga sobre el espécimen se aplica por medio de un brazo de palanca y la compresión se mide por medio de un micrómetro calibrado. El espécimen se mantiene bajo agua durante la prueba. Cada carga se mantiene usualmente durante 24horas. Después se duplica la presión sobre el espécimen y se continúa la medición dela compresión. Al final se determina el peso seco del espécimen de la prueba.

Figura N°5 : Diagrama de consolidometro.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica de Braja M. Das 2001.

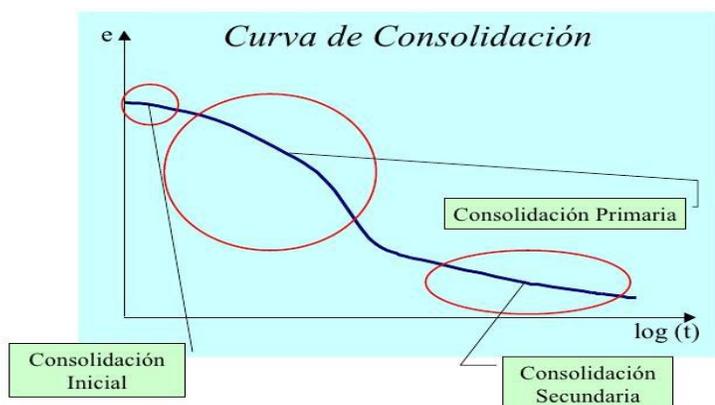
La forma general de la gráfica de deformación del espécimen versus tiempo para un incremento dado de carga se muestra en la Gráfica N°1, en la gráfica se observan tres etapas distintas, que se describen como sigue:

Etapa I: Compresión inicial, causada principalmente por la precarga.

Etapa II: Consolidación primaria, durante la cual el exceso de presión de poro por agua es gradualmente transferido a esfuerzos efectivos por la expulsión del agua de poro.

Etapa III: Consolidación secundaria, ocurre después de la total disipación del exceso de presión de poro del agua cuando alguna deformación del espécimen tiene lugar debido al reajuste plástico de la estructura del suelo.

Figura N°6 : Tiempo-deformación durante la consolidación.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das).

Características de la curva de consolidación:

- Consolidación inicial: Reducción de vacíos por eliminación de aire.
- Consolidación Primaria: Reducción de vacíos por eliminación de agua.
- Consolidación Secundaria: Reacomodo de las partículas solidas bajo tensión efectiva constante.
- La velocidad de consolidación se expresa mediante el Coeficiente de Consolidación (C_v).
- C_v no es constante durante la consolidación y depende de la sobrecarga aplicada y de la conductividad hidráulica del suelo.

Después de que las gráficas tiempo-deformación para varias cargas se obtienen en el laboratorio, es necesario estudiar el cambio de la relación de vacíos en el espécimen con la presión. A continuación se da un procedimiento paso a paso:

1. Calcule la altura de los sólidos H_s en el espécimen de suelo (gráfica N°2):

$$H_s = \frac{W_s}{AG_s\gamma_w}$$

Dónde:

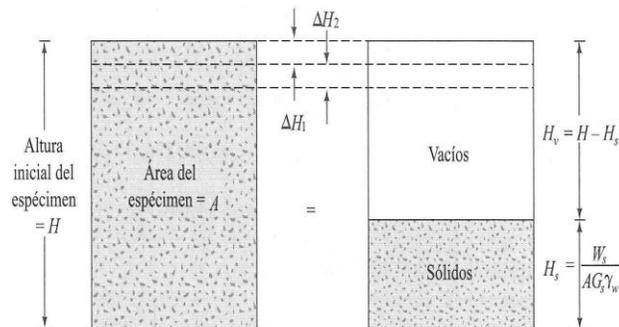
W_s = Peso seco del espécimen.

A = Area del espécimen.

G_s = Densidad de los sólidos del suelo..

γ_w = Peso específico del agua.

Figura N°7 : Cambio de altura del espécimen en una prueba de consolidación unidimensional.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das)

2. Calcule la altura inicial de vacíos H_v :

$$H_v = H - H_s$$

Dónde:

H= Altura inicial del espécimen

3. Calcule la relación de vacíos inicial e_0 del espécimen:

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v A}{H_s A} = \frac{H_v}{H_s}$$

4. Para la primera carga incrementada σ_1 (carga total/área unitaria del espécimen) que causa la deformación ΔH_1 , calcule el cambio en la relación de vacíos Δe_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 tiempo, la presión efectiva sobre el espécimen es:

$$\sigma' = \sigma_1 = \sigma'_1.$$

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

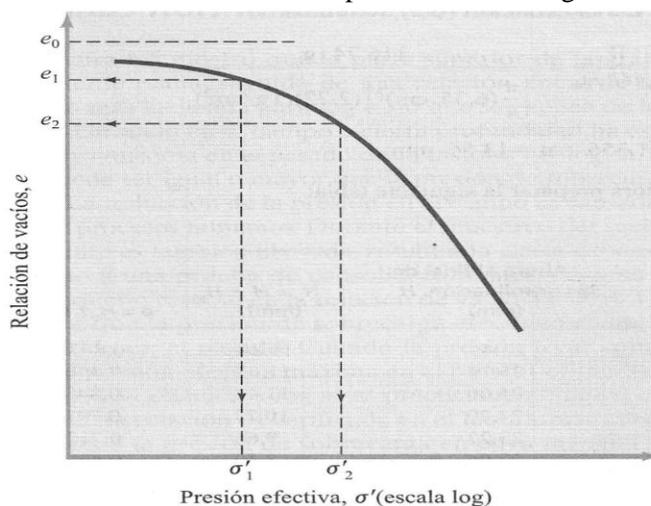
$$e_1 = e_0 - \Delta e_1$$

Para la siguiente carga σ_2 (nota: σ_2 es igual a la carga acumulada por área unitaria del espécimen) , que causa la deformación adicional ΔH_2 , la relación de vacíos e_2 al final de la consolidación se calcula como:

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

Note que en este tiempo, la presión efectiva sobre el espécimen es $\sigma' = \sigma_2 = \sigma'_2$

Gráfica N°1 : Gráfica típica de e versus $\log \sigma'$.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das).

Procedimiento de manera similar, obtendremos las relaciones de vacíos al final de la consolidación para todos los incrementos de carga.

Las presiones efectivas ($\sigma = \sigma'$) y las correspondientes relaciones de vacíos (e) al final de la consolidación son graficadas sobre papel de grafica semilogaritmica. La forma típica de tal grafica se muestra en la Gráfica N°3 (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das).

Los parámetros más importantes que se obtienen del suelo al realizar el ensayo son:

El coeficiente de consolidación (c_v), que indica el grado de asentamiento del suelo bajo un cierto incremento de carga y vinculado a la velocidad del mismo (no es necesario para el cálculo de los asentamientos por consolidación).

La determinación del índice de expansión es importante en la estimación del asentamiento por consolidación de las arcillas sobre consolidadas

El índice de compresibilidad (C_c), es la pendiente de la porción recta de la curva.

El índice de expansión (C_s), es una parte del índice de compresión.

La presión de pre consolidación (P_c), es la máxima sobrecarga efectiva a la que el suelo estuvo sometido en el pasado. Se determina usando un simple procedimiento gráfico propuesto por Casagrande (1936).

Los depósitos naturales de suelo pueden estar normalmente consolidados o sobre consolidados (o pre consolidados). Si la presión actual efectiva de sobrecarga es igual a la presión de pre consolidación, el suelo esta normalmente consolidado. (Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Ángel Muelas Rodríguez).

2.6 CICLOS DE CARGA Y DESCARGA DEL ENSAYO, AMBOS MÉTODOS

El procedimiento descrito con anterioridad, corresponde a medir el incremento de carga y las deformaciones al 100% correspondiente.

Cuando de la última carga se tiene el 100% de la deformación, entonces puede comenzar el proceso de la descarga y consiste en quita el último paso y leer las deformaciones, que en este caso se desarrollan a la inversa que cuando estaban cargándose.

Una vez que las deformaciones son constantes, se procede a quitar la penúltima pesa y proceder de nuevo con las lecturas, hasta que esta sea constante de nuevo.

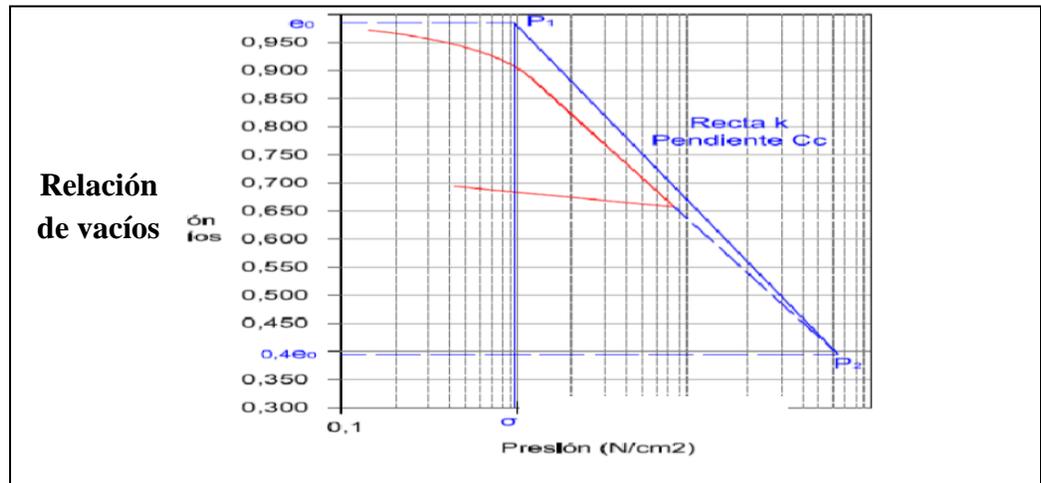
Seguidamente se procede a cargar la penúltima pesa y medir las deformaciones de forma normal al proceso de cargado, continuando con la última carga; de esa manera se da un proceso de carga y descarga. (Mecánica de suelos II. Msc. Ing. Luis Alberto Yurquina).

2.6.1 Determinación del índice de compresibilidad (C_c)

Índice de compresión (C_c): Es la relación numérica entre la deformación media de un espécimen y el logaritmo de la relación entre la tensión inicial y final que produce dicha deformación, para valores de tensión superiores a la de pre consolidación; equivale a la pendiente de la curva de consolidación de campo en un plano cartesiano.

Podemos determinar el índice de compresión para un asentamiento en campo causado por consolidación por medio de una construcción grafica (como muestra la Gráfica N°8), después de obtener los resultados de pruebas de laboratorio para la relación de vacíos y la presión.

Gráfica N°2 : Determinación del índice de compresión.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das).

Terzaghi y Peck (1967) propusieron expresiones empíricas para el índice de compresión.

Para arcillas inalteradas:

$$C_c = 0.009(LL - 10)$$

Para arcillas remoldeadas:

$$C_c = 0.007(LL - 10)$$

Dónde LL= límite líquido (%). En ausencia de datos sobre consolidados de laboratorio, la ecuación se usa frecuentemente para un cálculo aproximado de la consolidación primaria en el campo. Se dispone ahora también de otras varias correlaciones para el índice de compresión.

Con base en observaciones de varias arcillas naturales, Rendon-Herrero (1983) dan la relación para el índice de compresión en la forma:

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

Nagaraj y Murty (1985) expresaron el índice de compresión como:

$$C_c = 0.2343 \left(\frac{LL(\%)}{100} \right) G_s$$

(Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das)

El índice de compresión también se establece por la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\text{Log} \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)}$$

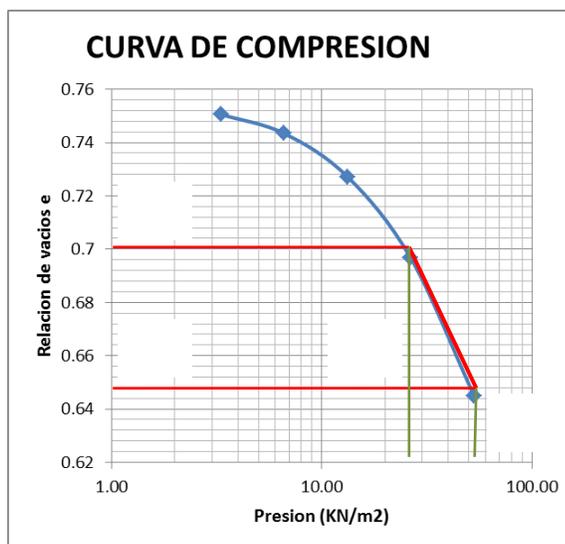
Dónde:

e_1 y e_2 = Últimos puntos de la curva.

σ_1 y σ_2 = Últimos puntos de la curva.

(Mecánica de suelos. Msc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores.).

Gráfica N°3 : Curva de carga.



Fuente: Elaboración propia.

2.6.2 Determinación del índice de expansión (C_s)

$$C_s = \frac{1}{5} a \frac{1}{10} C_c$$

Es apreciablemente menor en magnitud al índice de compresión y es determinado generalmente en pruebas de laboratorio, muchas veces se lo expresa como una parte de este último.

El índice de expansión fue expresado por Nagaraj y Murty 1985 como:

$$C_s = 0.0463 \left(\frac{LL (\%)}{100} \right) G_s$$

El índice de expansión también puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$Cc = \frac{e_1 - e_2}{\text{Log} \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)}$$

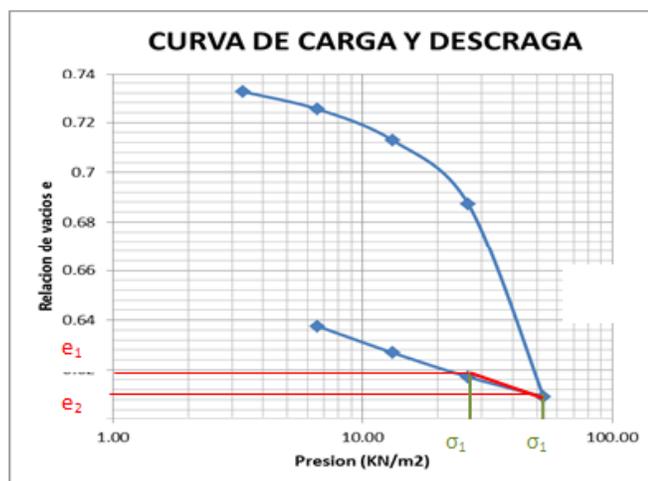
Dónde:

e_1 y e_2 = Primeros puntos de la curva de descarga.

σ_1 y σ_2 = Primeros puntos de la curva de descarga.

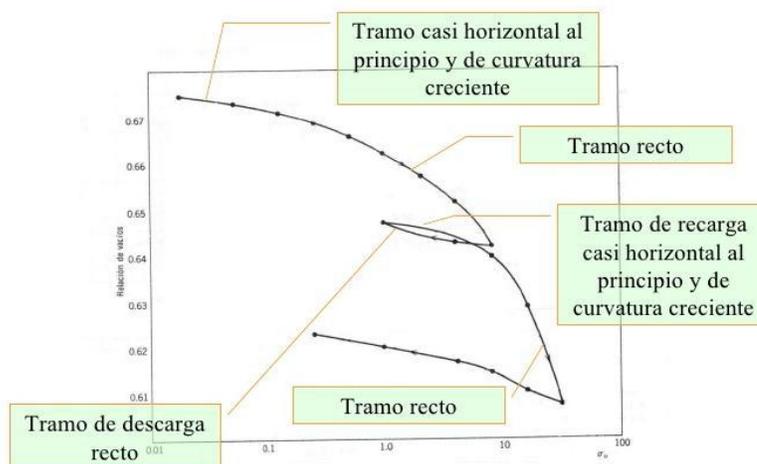
(Mecánica de suelos. Msc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores.).

Gráfica N14 : Curva de carga y descarga.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica N°5 : Curva de carga y descarga.



2.6.3 Compresión y expansión de los suelos naturales

Tabla N° 2 : Compresión y expansión de de suelos.

Suelo	LL	LP	Ce	Cs
Arcilla azula de Boston	41	20	0.35	0.07
Arcilla de chicago	60	20	0.4	0.07
Arcilla de Fuerte Gordon, Georgia	51	26	0.12	-
Arcilla de Nueva Orleans	80	25	0.3	0.05
Arcilla de Montana	60	28	0.21	0.05

Fuente: (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das).

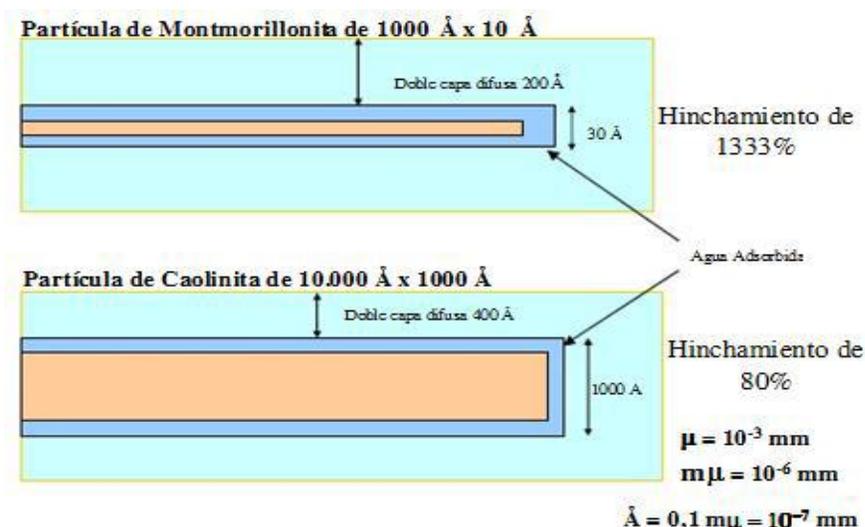
2.7 SUELOS ARCILLOSOS

Las arcillas son principalmente partículas submicroscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales, las arcillas se definen como partículas menores a 0.002 mm. En algunos casos, las partículas de tamaño entre 0.002 y 0.005 mm también se denominan arcillas. Las partículas se clasifican como arcilla con base en su tamaño y no contienen necesariamente minerales arcillosos. Las arcillas se definen como aquellas partículas “que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con cantidad limitada de agua” (Grim, 1993).

(La plasticidad es la propiedad tipo masilla de las arcillas cuando contienen cierta cantidad de agua.) Los suelos no arcillosos pueden contener partículas de cuarzo, feldespato o mica, suficientemente pequeñas para caer dentro de la clasificación de las arcillas. Por consiguiente, es apropiado para las partículas de suelo menores que 2μ o 5μ como se definen bajo diferentes sistemas, ser llamadas partículas tamaño arcilla en vez de arcillas. Las partículas de arcilla son en su mayoría de tamaño coloidal ($<1 \mu$) con 2μ de límite superior. (Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das).

2.7.1 Hidratación e Hinchamiento

Figura N°8 : Hidratación e hinchamiento.



Fuente: (Determinación del índice de compresibilidad e índice de expansión de los suelos cohesivos blandos en la zona de Tonsupa en la provincia de esmeraldas, María Inés Calvo Barriga-Danny Javier Durán Álvarez).

Cuando la absorción de agua tiene lugar en el espacio interlaminar, la cantidad de agua que puede entrar en este espacio depende de la fuerza de atracción entre las láminas. En las arcillas con uniones más débiles, el agua que entra en el espacio interlaminar es capaz de separar las láminas, provocando el hinchamiento de la estructura.

A medida que progresa el hinchamiento, alternándose las láminas de arcilla y las capas de agua, puede llegar a producirse la separación completa de las láminas, disgregándose la arcilla en láminas individuales, formándose un coloide. En ingeniería, los suelos que contienen arcillas con gran capacidad de hinchamiento se conocen como suelos expansivos, y representan un riesgo para las construcciones civiles, ya que son suelos inestables que, al cambiar de volumen, desestabilizan los cimientos y provocan el hundimiento de las estructuras.

2.7.2 Análisis por cribado

El análisis por cribado consiste en sacudir la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas que tienen aberturas progresivamente más pequeñas. Los números de las mallas estándar con sus tamaños de aberturas (usadas en Estados Unidos).

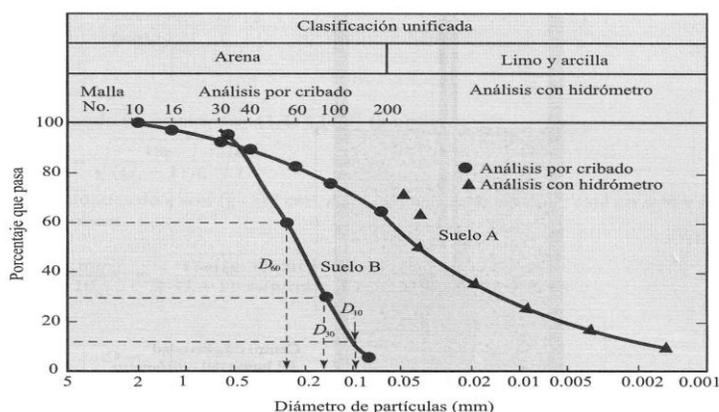
Primero el suelo se seca en horno, y luego todos los grumos se disgregan en partículas pequeñas antes de ser pasados por las mallas. Después de que el periodo de vibración concluye, se determina la masa del suelo retenido en cada malla. Cuando se analizan suelos cohesivos, resulta difícil disgregar los grumos en partículas individuales. En tal caso, el suelo se mezcla con agua para formar una lechada que luego se lava a través de las mallas.

Las porciones retenidas en cada malla se recolectan por separado y se secan en horno antes de que la masa retenida en cada malla sea determinada.

Los resultados del análisis por cribado se expresan generalmente como porcentaje del peso total de suelo que ha pasado por las diferentes mallas. (Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das)

2.7.3 Curva de distribución granulométrica

Los resultados del análisis mecánico (análisis por cribado e hidrómetro) se presentan generalmente en gráficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica (o de tamaño de grano). Los diámetros de las partículas se grafican en escala aritmética. Por ejemplo, las curvas de distribución granulométricas para dos suelos se muestran en la gráfica. La curva de distribución granulométrica para el suelo A es la combinación de los resultados del análisis por cribado presentados en la Gráfica N°9 y los resultados del análisis hidrométrico para la fracción de finos. Cuando los resultados del análisis por cribado y del análisis hidrométrico se combinan, generalmente ocurre una discontinuidad en el rango en que estos se traslapan. La razón para la discontinuidad es que las partículas de suelo son generalmente irregulares en su forma. El análisis por cribado da la dimensión intermedia de una partícula; el análisis hidrométrico da el diámetro de una esfera que se asentaría a la misma razón que la partícula de suelo. (Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das).

Gráfica N°6 : Curvas de distribución del tamaño de partículas.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das).

Los porcentajes de grava, arena, limo y partículas tamaño de arcilla presentes en un suelo se obtienen de la curva de distribución granulométrica. De acuerdo con el Sistema Unificado Clasificación de suelos, el suelo A en la Gráfica N°9 tiene los siguientes porcentajes:

Grava (límite de tamaño: mayores que 4.75mm) = 0%

Arena (límites de tamaño: 4.75 a 0.075mm) = porcentaje de más finos que 4.75mm de diámetro – porcentaje de más finos que 0.0075mm de diámetro = 100-62=38%

Limo y arcilla (límites de tamaño: menores que 0.075mm) = 38%

2.7.3 Contenido de humedad

El contenido de agua de un material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o “agua libre”, en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

$$w = \frac{(w_1 - w_2)}{(w_2 - w_r)} * 100 = \frac{w_w}{w_s} * 100$$

Dónde:

w= Contenido de agua (%)

w₁= Peso del recipiente más muestra húmeda (gr)

w_2 = Peso del recipiente más muestra seca (gr)

w_r = Peso del recipiente (gr)

w_w = Peso del agua (gr)

w_s = Peso del suelo seco (gr)

2.7.4 Peso específico

Depende de las clases de minerales que lo componen, así como su mayor o menor grado de material orgánica, este varía entre 2.0 a 3.0 adoptando como tipo de comparación el peso específico de la arena de cuarzo, cuyo valor es de 2.65, las arcillas tienen generalmente pesos específicos de 2.7 a 3.0, se define como el peso unitario del material, dividido por el peso unitario del agua destilada a 4°C, es adimensional, llamada también gravedad específica. Se representa por G_s , pudiéndose calcular utilizando cualquier relación de peso de la sustancia del agua, siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y agua.

Para su determinación se realiza un ensayo en base a la norma ASTM D 854 y permite hallar la cantidad de vacíos que hay en un determinado suelo y clasificarlo.

Tabla N°3 : Peso específico relativo de diferentes suelos.

TIPO DE SUELO	G_s
Arena de cuarzo	2.64 – 2.66
Limo	2.67 – 2.73
Arcilla	2.70 – 2.90
Yeso	2.60 – 2.75
Loess	2.65 – 2.74
Suelo orgánico	< 2

Fuente: Manual de laboratorio, Quispe B.

2.8 LÍMITES DE ATTERBERG

Los límites de Atterberg se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan.

Entonces, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso.

2.8.1 Límite líquido

El límite líquido (LL) es la humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado, en el límite entre los estados líquido y plástico.

Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo, en el aparato de Casagrande cierre una ranura de 1/2" de amplitud, a los 25 golpes generados a la cápsula de bronce, con un ritmo de dos golpes por segundo. Los valores corrientes son: para arcillas 40 a 60%, para limos 25 a 50%, en arenas no se obtienen resultados.

2.8.2 Límite plástico

El límite plástico es la humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remodelado en el límite entre los estados plásticos y semisólidos. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0.5 a 1cm de largo y no puede ser reamasados ni reconstituidos. Los valores típicos entre limos y arcillas se encuentran entre 5 y 30. En arenas la prueba no es posible.

2.8.3 Índice de plasticidad (IP).

Es la diferencia entre los límites líquido y plástico:

$$IP = LL - LP$$

Tabla N° 4 : Indicación de la plasticidad de los suelos.

IP	DESCRIPCIÓN
0	No plástico
1-5	Ligeramente plástico
5-10	Baja plasticidad
10-20	Mediana plasticidad
20-40	Alta plasticidad
>40	Muy alta plasticidad

Fuente: Manual de laboratorio, Quispe B.

CAPITULO III

INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

3.1 CRITERIOS DE DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1 Componentes

En el presente trabajo se medirán las deformaciones de la muestra de suelo en los equipos de consolidación, para cada uno de los intervalos de esfuerzos que serán aplicados en las muestras de cada una de las arcillas en estudio.

El objeto a medir son tres tipos de arcillas inorgánicas, más propiamente las muestras extraídas de cada uno de los puntos de estudio.

Las muestras de suelo que se medirán serán un número total de 60, para la extracción de las mismas se procederá a identificar mediante la caracterización de suelos las zonas donde se encuentre los tipos de arcillas requeridos, continuando con la extracción de la muestra, de cada zona se extraerá la cantidad de suelo necesaria para la realización de los ensayos. Para la extracción de las muestras en cada uno de los puntos se cavara una profundidad determinada luego de analizar los puntos patrones.

3.1.2 Métodos y técnicas empleadas

En suelos arcillosos los asentamientos se producen por causa de la consolidación, y también se tiene la disponibilidad de los equipos necesarios (consolidómetros) en el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S. para la realización de los ensayos necesarios, por lo tanto el estudio de asentamientos por consolidación es factible.

El ensayo de consolidación, es una situación real donde es preciso resolver un problema de consolidación de suelos, es necesario determinar la magnitud del asentamiento que tendrá lugar debido a la deformación del suelo, para esto es que se realiza la prueba de consolidación, o también llamada prueba de compresión confinada, la cual consiste en someter a un esfuerzo de compresión axial a una muestra de suelo en estudio.

El equipo necesario para la realización de la práctica es:

Equipo de carga: Dispositivo apropiado para aplicar las cargas verticales a la muestra, el dispositivo debe ser capaz de mantener cargas especificadas durante periodos largos de tiempo con una exactitud de $\pm 0.5\%$ de la carga aplicada y debe permitir la aplicación de un incremento de carga dado en un periodo de 2seg. Sin impacto significativo.

Consolidómetro: Un dispositivo para mantener la muestra dentro de un molde, con piedras porosas en cada cara de la muestra. El consolidómetro deberá también disponer de medios para sumergir la muestra. El molde del consolidómetro deberá cumplir los siguientes requisitos.

El molde deberá ser hecho de un material que no sea corroído por el suelo ensayado. La superficie interior deberá estar altamente pulida o deberá estar cubierta con un material de baja fricción. Se recomienda la grasa de silicona.

Piedras porosas: Las piedras de silicona deberán ser de carburo de silicona, óxido de aluminio o metal que no sea atacado por el suelo o la humedad del suelo.

Para la extracción de muestras se utilizarán las siguientes herramientas:

Azadón: Se utilizará el azadón para cavar hasta una profundidad establecida para el muestreo.

Pala: Se usará la pala para retirar el material hasta llegar a la profundidad adecuada para la extracción de la muestra.

El procedimiento para la extracción de muestras será el siguiente:

Una vez que se cuente con los instrumentos necesarios, se procederá a la extracción de muestras de cada uno de los puntos previamente establecidos.

La extracción de muestras se llevará a cabo paralelamente a los ensayos de laboratorio, es decir (por ejemplo), el sábado extraigo la muestra de tres puntos, con esas tres muestras realizo mis ensayos de laboratorio la siguiente semana, el sábado de esa semana extraigo las muestras de los siguientes tres puntos para realizar los ensayos la subsiguiente semana, y así sucesivamente hasta completar la extracción y análisis de las 60 muestras establecidas. Este procedimiento es el más adecuado para que las muestras no pierdan humedad.

Se solicitará el permiso correspondiente a la U.A.J.M.S. para que no exista ningún tipo de inconveniente en todo el proceso de extracción de las muestras y no existan retrasos por tal motivo. También se solicitará el permiso correspondiente al laboratorio de suelos para la realización de los ensayos y que no se tenga ningún tipo de obstáculos y de esta manera se pueda cumplir con el cronograma establecido.

3.1.3 Identificación del tipo del diseño de investigación.

El trabajo corresponde a una investigación:

- Investigación Explicativa o Casual

3.1.4 Unidades de estudio y decisión muestral.

3.1.5 Unidad de estudio o muestreo.

La información que requiere los análisis son los:

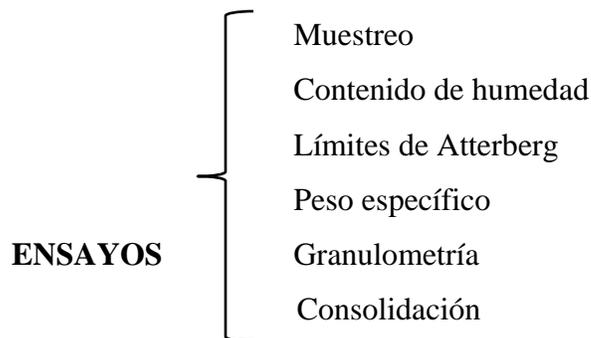
Ensayos de laboratorio.

3.1.6 Población y muestra.

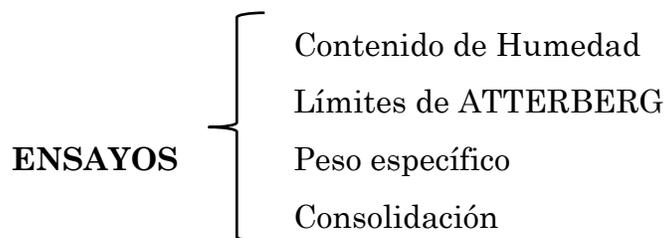
- **Población:**

Todos los ensayos de Laboratorio

Todos los ensayos de Laboratorio



- **Muestra:**



Cuantificación, solo de los suelos:

- Contenido de humedad	4
- Granulometría	4
- Límites	4
- Edómetro Nuevo	4

Cuantificación de pruebas:

- Edómetro Nuevo	60
------------------	----

Descripción de las Variables:

$$n = \frac{\sum N_i * G^2}{N \left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{1}{N} * G^2}$$

$$G^2 = 0,15$$

$$NC = 95\%$$

$$e = 0,05$$

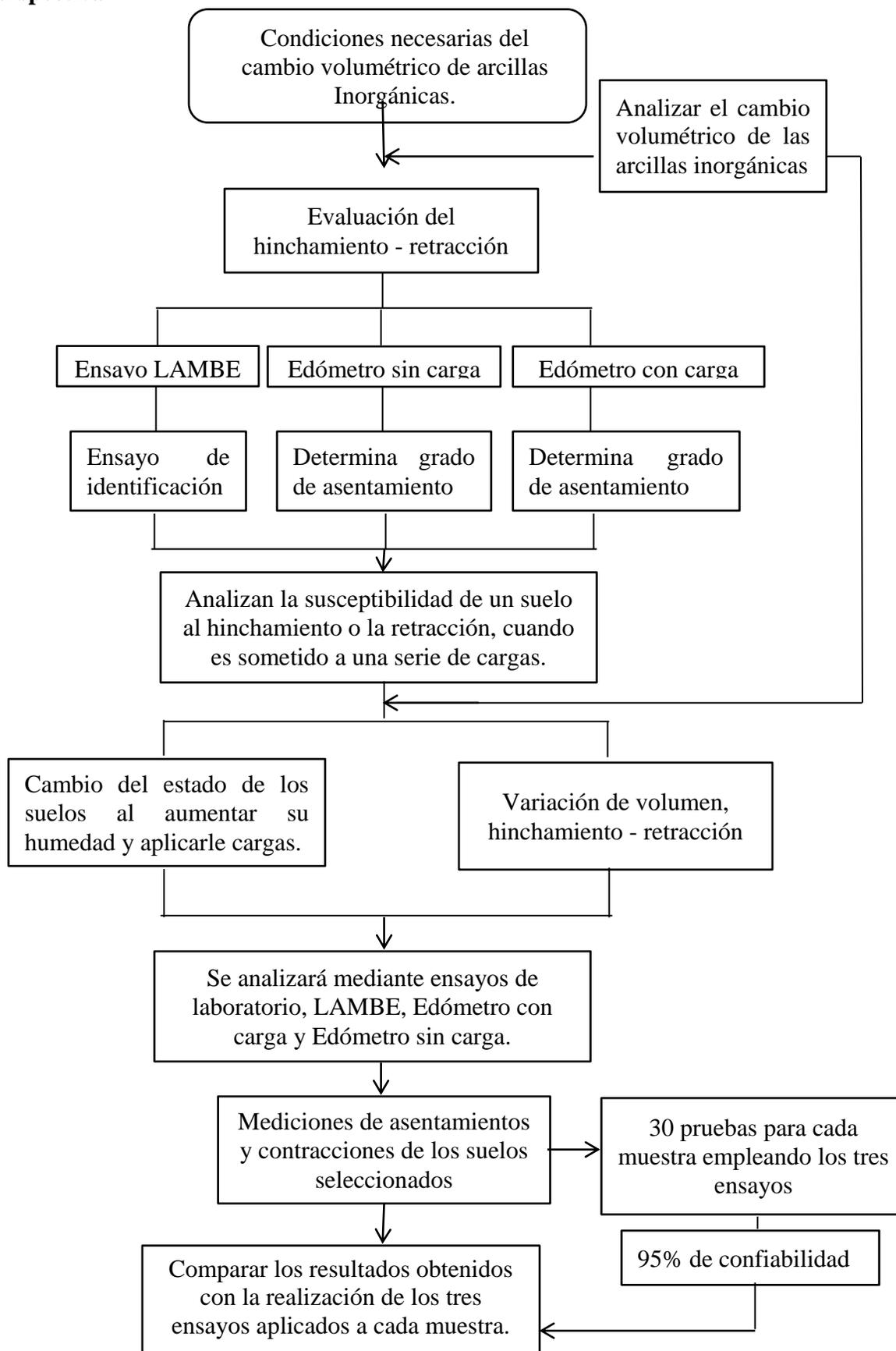
Ensayo	N _i	G ²	N _i * G ²	W _i	n _i
* Caracterización					
Contenido de Humedad	8	0.15	1.2	0.062	
Granulometría	8	0.15	1.2	0.062	4
Límites	8	0.15	1.2	0.062	4
* Pruebas					
Edómetro Nuevo	120	0.15	18	0.94	82.56
	156		23.4	2.80	91

$$n = \frac{23.4}{156 \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{1}{156} * 23.4^2} = 85.532 \dots \dots \dots n = 86$$

3.1.7 Selección de las técnicas de muestreo

Se realizará un **Muestreo Sistemático**, de acuerdo a las características que presenta el Trabajo.

3.1.8 Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva



3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS

El paso preliminar esencial para el diseño y la construcción de un proyecto de Ingeniería Vial es la investigación completa y detallada del lugar seleccionado, específicamente el estudio del suelo con el cual se va trabajar, mediante la ejecución de pruebas de laboratorio que permitan determinar sus características y propiedades; pero, alcanzar resultados razonablemente dignos de crédito, es preciso cumplir en forma adecuada una etapa previa e imprescindible: La obtención de las muestras de suelo apropiadas para la realización de las correspondientes pruebas de laboratorio.

Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o inalteradas. Se dice que una muestra es:

Alterada, cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede y se recolecta a medida que se va realizando el muestreo, e

Inalterada, es aquella muestra que preserva, en la medida de lo posible, la estructura y el contenido de humedad para que represente realmente las condiciones de campo.

Para este trabajo de Proyecto de Grado, las muestras con las que se trabajó son de tipo alteradas o perturbadas.

Las muestras para ser llevadas al laboratorio fueron extraídas de los barrios Fray Quebracho, Quebrada El Monte y Barrio el Tejar. Todas las muestras recolectadas fueron aquellas que tenían características de Suelos Arcillosos. La mayoría de las muestras se extrajeron del suelo natural a 1,5 metros de profundidad.

Para realizar el presente trabajo, se procedió a realizar extracciones de muestras de distintos lugares, pudiendo definir los 3 tipos de arcillas requeridas en los siguientes lugares:

UBICACIÓN DE LA ZONA DE EXTRACCIÓN

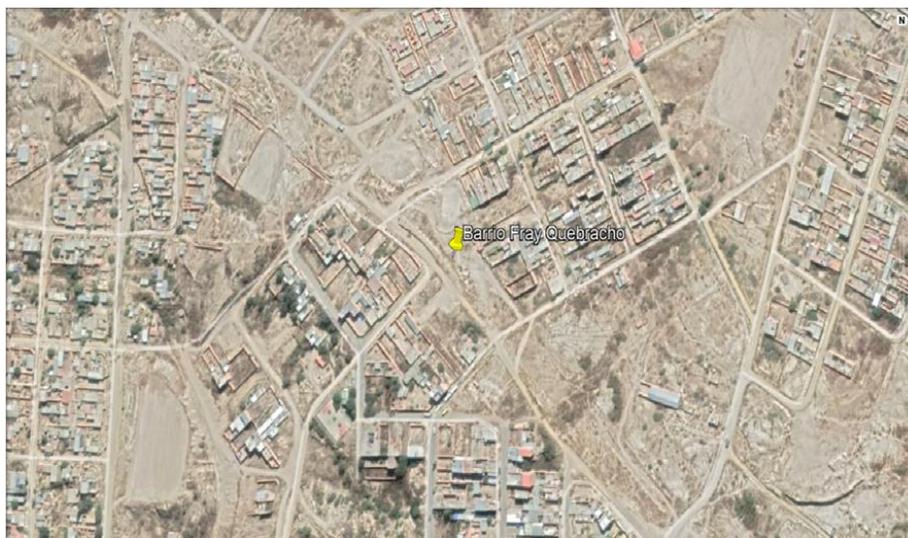
B/Fray Quebracho – Tipo de suelo: arcilla "CL"

Zona: 20

Hemisferio: S

Este (UTMX): 320068.8

Norte (UTMY): 7621545.3



Fuente: Elaboración propia.

UBICACIÓN DE LA ZONA DE EXTRACCIÓN

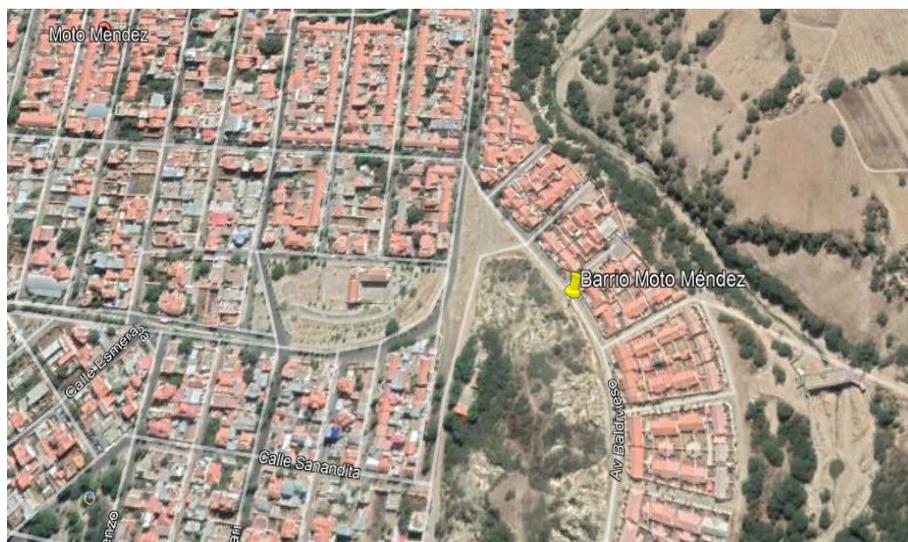
B/ Moto Méndez – Tipo de suelo: arcilla "ML"

Zona: 20

Hemisferio: S

Este (UTMX): 323450.8

Norte (UTMY): 7617614.3



Fuente: Elaboración propia.

UBICACIÓN DE LA ZONA DE EXTRACCIÓN

B/ El Tejar (U.A.J.M.S) – Tipo de suelo: arcilla "OL"

Zona: 20

Hemisferio: S

Este (UTMX): 321648.8

Norte (UTMY): 7616613.8



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Toma de Muestras

El objetivo es realizar la extracción o muestreo adecuado y representativo para poder determinar de forma correcta las características y propiedades del suelo y materiales granulares mediante ensayos de laboratorio.

3.2.2 Equipo Utilizado

El material utilizado para la extracción de las muestras es el siguiente:

Pico

Pala

Bolsas.

3.2.3 Procedimiento de extracción de la muestra

El procedimiento para la obtención de muestras para el caso de cortes, es el que se describe a continuación:

- Se retira la capa de despilme superficial limpiando el lugar de extracción y se evita, de esta manera, que el suelo recolectado sufra alguna mezcla.
- Se quita el material seco y o suelto para dejar una superficie limpia de donde se pueda obtener la muestra.
- Se excava en forma de canales verticales de sección más o menos uniforme desde la parte superior hasta el fondo.
- Se recoge todo el material excavado, se coloca en una bolsa con su etiqueta de identificación para posteriormente llevarlo al laboratorio.

Para las muestras en donde no había corte, el procedimiento a seguir es:

Se debe excavar un hueco de profundidad de 50cm, a partir de éste nivel extraer la muestra y colocarlo en una bolsa con su etiqueta de identificación para posteriormente llevarlo al laboratorio

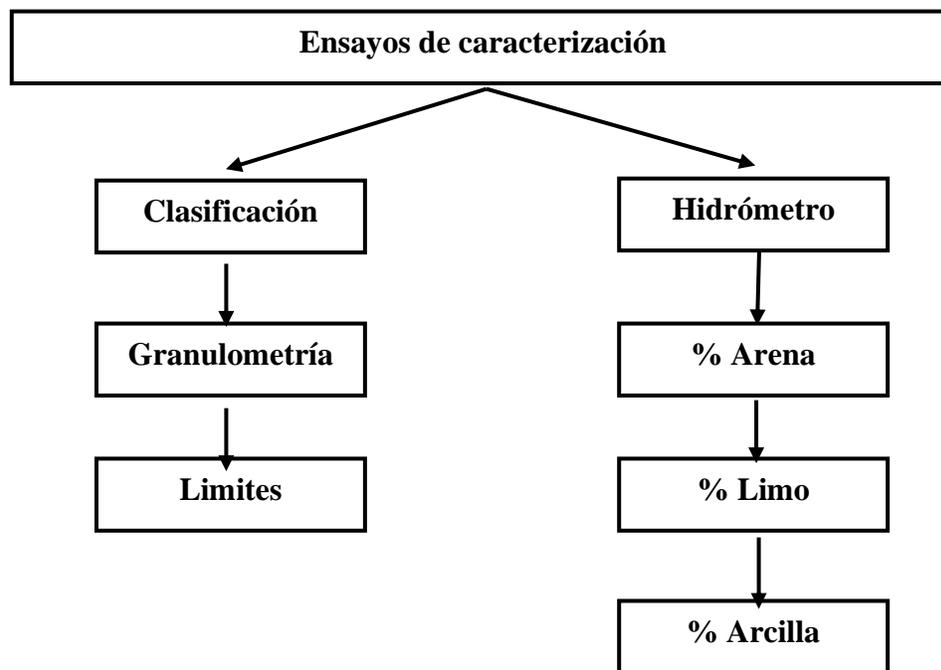
Figura N°9 : Extracción de material.



Elaboración: Fuente Propia.

3.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS



3.4 Ensayos

Contenido de humedad:

Figura N°10 : Contenido de humedad natural.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5 : Contenido de humedad de las muestras.

Contenido de humedad (%)				
Lugar de extracción de las muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Media
Fray Quebracho	6.39	6.37	6.39	6.38
Moto Méndez	7.11	7.09	7.09	7.09
Tejar (U.A.J.M.S)	7.05	7.06	7.04	7.05

Fuente: Elaboración propia.

Se puede ver que el contenido de humedad natural de los puntos patrones, ronda el 10%, lo cual nos indica que el suelo se encuentra con una humedad considerable.

Granulometría:

Tabla N° 6 : Granulometría muestra barrio Fray Quebracho.

N° Muestra Fray Quebracho	Granulometría				Límites			Clasificación	
	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS
1	100	100	96.52	90.30	28.76	11.11	17.65	A-6 (13)	CL
2	100	100	96.50	90.31	28.78	11.12	17.67	A-6 (13)	CL
3	100	100	96.45	90.27	28,77	11.10	17.66	A-6 (13)	CL

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 7 : Granulometría del barrio Moto Méndez.

Muestra Moto Méndez	Granulometría				Límites			Clasificación	
	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS
1	100	100	100	91.30	39.23	28.74	7	A-4 (8)	ML
2	100	100	99.85	91.53	39.22	28.73	7	A-4 (8)	ML
3	100	100	97.70	91.30	39.24	28.75	7	A-4 (8)	ML

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 8 : Granulometría muestra barrio Lourdes.

Muestra Lourdes	Granulometría				Límites			Clasificación	
	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS
1	100	100	98.87	97.64	44.06	33.64	12.01	A-7-5 (13)	OL
2	100	99.97	99.85	98.53	44.05	33.64	12.01	A-7-5 (13)	OL
3	100	100	98.92	99.30	44.04	33.65	12.01	A-7-5 (13)	OL

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 9 : Clasificación.

Muestra	Clasificación y descripción		
	AASHTO	SUCS	Descripción
Fray Quebracho	A-6 (13)	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.
Moto Méndez	A-4 (8)	ML	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.
El Tejar (U.A.J.M.S)	A-7-5 (13)	OL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°11 : Clasificación de arcillas.



Elaboración: Fuente Propia.

Límites de Atterberg:

Figura N°12 : Límite líquido y plástico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°10 : Límites.

Límites de arcillas			
Zona de muestreo	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
Fray Quebracho	28.76	11.11	17.65
Moto Méndez	39.23	28.74	7
El Tejar (U.A.J.M.S)	44.06	33.65	12.01

Fuente: Elaboración propia

3.5 INTRODUCCIÓN

Todos los materiales al ser expuestos a condiciones de esfuerzo, generan deformaciones que pueden o no depender del tiempo; esta relación varía con respecto al material que se desee estudiar y/o analizar.

En el caso de los suelos la relación esfuerzo-deformación-tiempo dependerá no solo del tipo de suelo y su tipo de consistencia, sino también de la forma en que dicho suelo es cargado.

Para esto es necesario estudiar estas características, ya que en general no se producen las deformaciones instantáneamente ante la aplicación de una carga y se sufren superiores a las de la estructura que le transmiten la carga.

El ensayo de consolidación unidimensional de los suelos se encarga de determinar la resistencia a la deformación de un suelo que es sometido a incrementos y/o decrementos descargas y a partir de esto realizar una comparación entre los esfuerzo generados y relación de vacíos con el fin de deducir canto se demora el suelo en disipar el agua presente de sí.

Este método se refiere al procedimiento para determinar la rata y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos cuando se confinan lateralmente y se drenan axialmente mientras se someten a incrementos controlados de esfuerzo vertical.

3.6 OBJETIVO

La finalidad es analizar las condiciones necesarias del cambio volumétrico de las arcillas inorgánicas .

3.7 SUELO A UTILIZAR

Para realizar el ensayo de consolidación se requieren muestras inalteradas obtenidas de de los lugares ya definidos, y el tiempo de almacenamiento debe reducirse al mínimo para que no pierdan humedad.

Figura N°13 : Extracción de muestra de un punto en estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.8 MATERIALES UTILIZADOS

Para la obtención de muestras en campo se utilizó los siguientes materiales:

Azadón

Pala

Para la realización del ensayo de consolidación se utilizó:

Molde cortante

Bloque de madera

Martillo de goma

Para los ensayos de contenido de humedad, peso específico relativo del suelo, granulometría, hidrómetro, límites se utilizó los siguientes materiales:

Espátula

Pipeta

Balanza

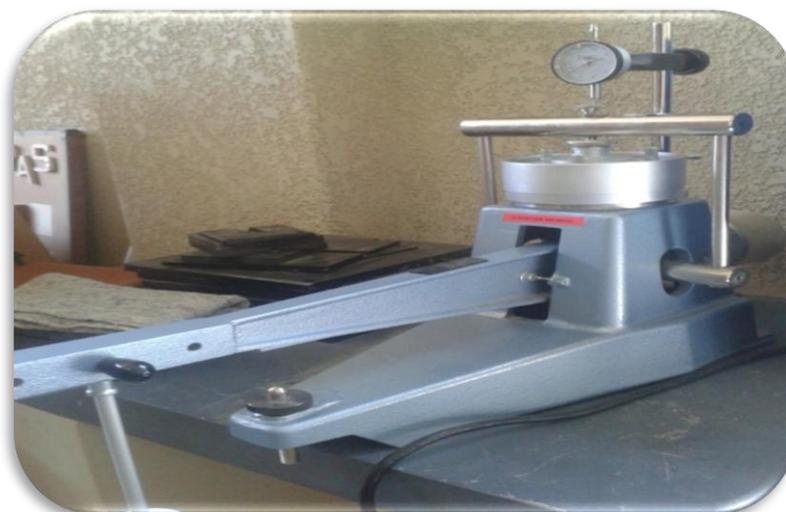
Juego de tamices

Taras	Probeta
Matraz	Hidrómetro
Hornilla	Equipo Casagrande
Termómetro	Base de vidrio

3.9 EQUIPOS UTILIZADOS

Para el ensayo de consolidación se utilizaron los siguientes equipos:

Figura N°14 : Consolidómetro Whikeham Farrance (molde circular).



Fuente: Elaboración propia.

3.10 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA

Luego de la obtención de muestras, se las traslado al Laboratorio de Suelos para realizar los ensayos de carga y descarga, luego se siguió el procedimiento indicado en la guía del ensayo de consolidación del laboratorio y de la norma ASTM D2435-80, para ejemplificar como se realizó el ensayo se mostrará el ensayo de la muestra N°1 suelo-CL extraída del barrio Fray Quebracho.

A continuación el procedimiento del ensayo:

Se insertó el molde cortante (anillo cortante en el caso del consolidómetro circular) en la muestra de suelo con la ayuda de un bloque de madera y un combo de goma.

Figura N°15 : Obtención de molde.



Fuente: Elaboración propia.

Se enrasó las caras superior e inferior de la muestra con la ayuda de una espátula o un cuchillo y se rellenó los espacios vacíos con el material recortado.

Se extrajo la muestra del molde cortante y se determinaron las dimensiones de la probeta, altura inicial H y diámetro D en el caso de las probetas circulares, y altura H y ancho B en el caso de las probetas cuadradas y se registró el peso de la muestra en una balanza de 0.1 gr de sensibilidad.

Figura N°16 : Medición de muestras.



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo tres determinaciones del contenido de humedad inicial utilizando el material sobrante de cada muestra.

Figura N°17 : Determinación del contenido de humedad.



Fuente: Elaboración propia.

Se ensamblaron las cajas de consolidación colocando las muestras con mucho cuidado en cada una de las cajas de consolidación entre las piedras porosas.

Figura N°18 : Ensamblado de las cajas de consolidación.



Fuente: Elaboración propia.

Se colocaron las cajas de consolidación en los dispositivos de cargas.

Figura N°19 : Ensamblado con el dispositivo de carga.



Fuente: Elaboración propia.

- Se aplicó las cargas de asentamiento inicial llenando de agua la caja de consolidación, se aplicaron cargas 1kg los lunes, 2kg los martes, 4kg los miércoles, 8kg los jueves, 16kg los viernes. Duplicando la carga cada 24 hrs. Como lo especifica la norma ASTM D2435-80, estas cargas aplicadas producían presiones de acuerdo al área de la probeta, dependiendo del equipo de consolidación utilizado.

Figura N°20 : Aplicación de los incrementos de carga.



Fuente: Elaboración propia

Se leen las deformaciones de las muestras en intervalos de 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos y 1, 2, 4, 8 y 24 horas, para cada uno de los intervalos de carga aplicada.

Figura N°21 : Lectura de extensómetro.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de terminado el ensayo se desarmaron las cajas de consolidación y se sacaron las muestras pesándolas inmediatamente después y luego de secarlas al horno a una temperatura constante de 110° C.

Figura N°22 : Peso seco de las muestras.



Fuente: Elaboración propia.

También se realizó los ensayos de Densidad de los sólidos ya que este dato es necesario para el cálculo de los asentamientos por consolidación.

Figura N°23 : Calibración de frasco volumétrico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°24 : Peso específico relativo de los suelos (densidad de los sólidos).



Fuente: Elaboración propia

3.11 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CARGA Y DESCARGA PLICANDO EL MÉTODO TAYLOR

Realizamos el desarrollo del procedimiento de cálculo de carga de la muestra N°1 del suelo-CL extraído del barrio Fray Quebracho.

<u>Datos</u>		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	1	Kg
Presión =	0.0331	Kg/cm ²
Presión =	3.3	KN/m ²
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

- Se dejó reposando la muestra durante 24 horas aplicándole la carga mínima de 1kg, se la dejó en reposo saturando.

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	0.00	0.32	0.000
0.25	0.00	0.50	0.000
1.00	0.00	1.00	0.000
2.00	0.00	1.41	0.000
4.00	0.00	2.00	0.000
8.00	-1.00	2.83	-0.002
15.00	-2.00	3.87	-0.004
30.00	-4.00	5.48	-0.008
60.00	-7.00	7.75	-0.014
120.00	-9.00	10.95	-0.018
240.00	-19.00	15.49	-0.038
540.00	-21.00	23.24	-0.042
1440.00	-31.00	37.95	-0.062

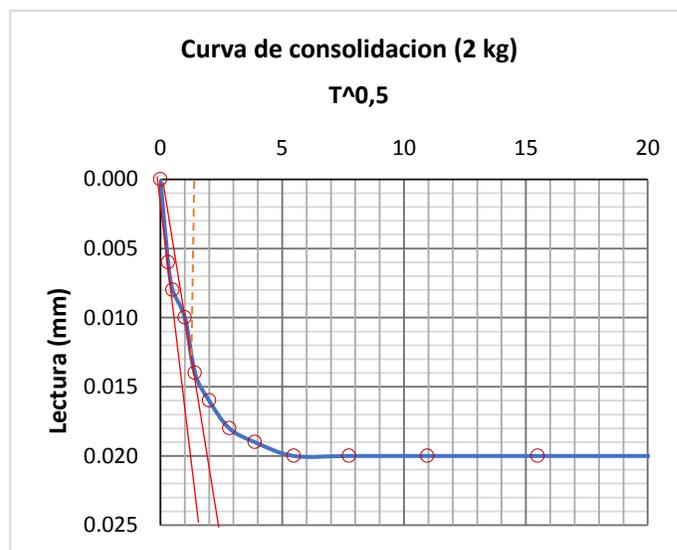
Observación:

La lectura negativa indica que el suelo al haberse sometido a saturación sufrió el fenómeno de expansión.

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 2kg.

<u>Datos</u>		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	2	Kg
Presión =	0.0662	Kg/cm ²
Presión =	6.6	KN/m ²
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T ^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	3.00	0.32	0.006
0.25	4.00	0.50	0.008
1.00	5.00	1.00	0.010
2.00	7.00	1.41	0.014
4.00	8.00	2.00	0.016
8.00	9.00	2.83	0.018
15.00	9.50	3.87	0.019
30.00	10.00	5.48	0.020
60.00	10.00	7.75	0.020
120.00	10.00	10.95	0.020
240.00	10.00	15.49	0.020
540.00	10.00	23.24	0.020
1440.00	10.00	37.95	0.020



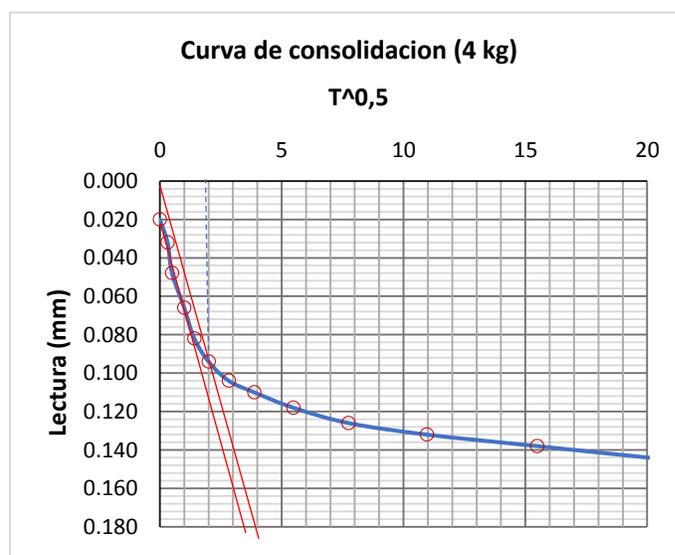
Hi (cm)	2.006
Hf (cm)=	1.998

d90	0.014	mm
do	0	mm
(t90%)^{0,5}	1.50	
t90%	2.25	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000038	m ² /min
d100	0.015556	mm

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 4kg.

<u>Datos</u>		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	4	Kg
Presión =	0.1325	Kg/cm ²
Presión =	13.2	KN/m ²
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T ^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	10.00	0.00	0.020
0.10	16.00	0.32	0.032
0.25	24.00	0.50	0.048
1.00	33.00	1.00	0.066
2.00	41.00	1.41	0.082
4.00	47.00	2.00	0.094
8.00	52.00	2.83	0.104
15.00	55.00	3.87	0.110
30.00	59.00	5.48	0.118
60.00	63.00	7.75	0.126
120.00	66.00	10.95	0.132
240.00	69.00	15.49	0.138
540.00	74.00	23.24	0.148
1440.00	83.00	37.95	0.166



Hi (cm)	1.998
Hf (cm)=	1.983

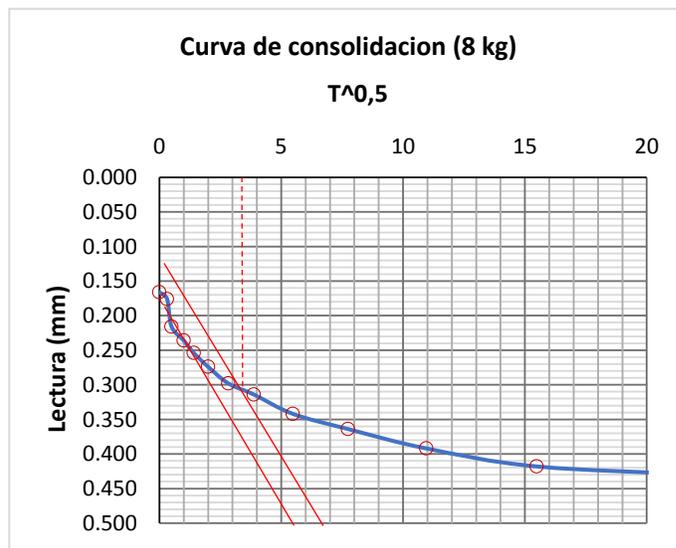
d90	0.093	
do	0.02	
(t90%)^{0,5}	2.00	
t90%	4	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000021	m ² /min
d100	0.101111	

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 8kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	8	Kg
Presión =	0.2650	Kg/cm ²
Presión =	26.5	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	83.00	0.00	0.166
0.10	88.00	0.32	0.176
0.25	108.00	0.50	0.216
1.00	118.00	1.00	0.236
2.00	127.00	1.41	0.254
4.00	137.00	2.00	0.274
8.00	149.00	2.83	0.298
15.00	157.00	3.87	0.314
30.00	171.00	5.48	0.342
60.00	182.00	7.75	0.364
120.00	196.00	10.95	0.392
240.00	209.00	15.49	0.418
540.00	216.00	23.24	0.432
1440.00	231.00	37.95	0.462



Hi (cm)	1.983
Hf (cm)=	1.954

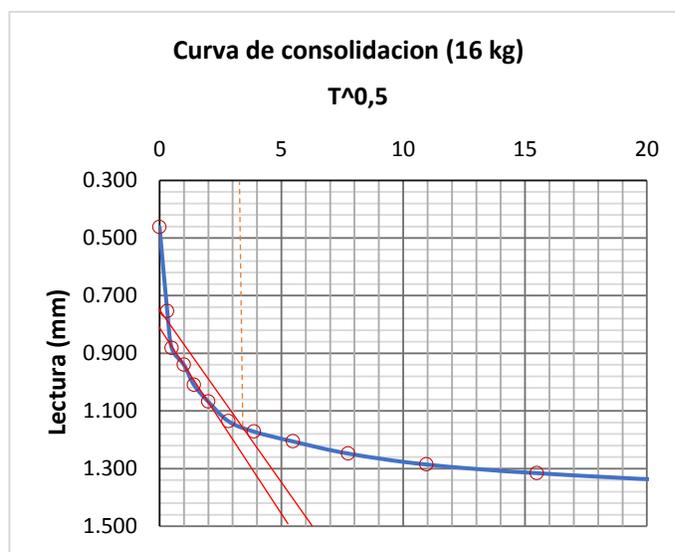
d90	0.3	
do	0.17	
(t90%)^{0,5}	3.20	
t90%	10.24	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000008	m ² /min
d100	0.314444	

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 16kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	16	Kg
Presión =	0.5300	Kg/cm ²
Presión =	53.0	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	231.00	0.00	0.462
0.10	377.00	0.32	0.754
0.25	441.00	0.50	0.882
1.00	470.00	1.00	0.940
2.00	505.00	1.41	1.010
4.00	534.00	2.00	1.068
8.00	568.00	2.83	1.136
15.00	586.00	3.87	1.172
30.00	603.00	5.48	1.206
60.00	624.00	7.75	1.248
120.00	643.00	10.95	1.286
240.00	658.00	15.49	1.316
540.00	673.00	23.24	1.346
1440.00	683.00	37.95	1.366



Hi (cm)	1.954
Hf (cm)=	1.863

d90	1.15	
do	0.75	
(t90%)^{0,5}	3.20	
t90%	10.24	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000008	m ² /min
d100	1.194444	

Realizamos el desarrollo del procedimiento de cálculo de descarga de la muestra **Nº1 del suelo-CL** extraído del barrio Fray Quebracho.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	16	Kg
Presión =	0.5300	Kg/cm ²
Presión =	53.0	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	0.00	0.32	0.000
0.25	0.00	0.50	0.000
1.00	0.00	1.00	0.000
2.00	0.00	1.41	0.000
4.00	0.00	2.00	0.000
8.00	0.00	2.83	0.000
15.00	0.00	3.87	0.000
30.00	0.00	5.48	0.000
60.00	0.00	7.75	0.000
120.00	0.00	10.95	0.000
240.00	0.00	15.49	0.000
540.00	0.00	23.24	0.000
1440.00	0.00	37.95	0.000

Observación:

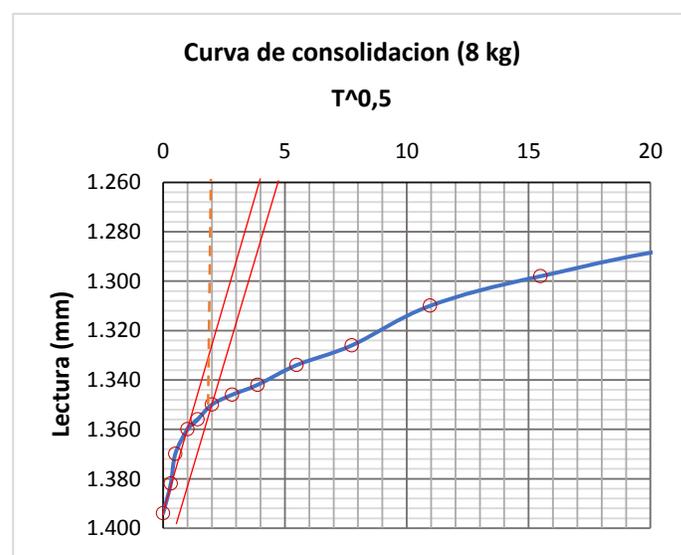
La lectura en cero indica que el suelo al haberse dejado durante 24 horas con la carga de 16 kg ya no sufre deformación por compresión.

- Pasadas las 24 horas se quitó a la muestra un peso de 8kg, quedando cargada con 8kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	8	Kg
Presión =	0.2650	Kg/cm ²
Presión =	26.5	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	697.00	0.00	1.394
0.10	691.00	0.32	1.382
0.25	685.00	0.50	1.370
1.00	680.00	1.00	1.360
2.00	678.00	1.41	1.356
4.00	675.00	2.00	1.350
8.00	673.00	2.83	1.346
15.00	671.00	3.87	1.342
30.00	667.00	5.48	1.334
60.00	663.00	7.75	1.326
120.00	655.00	10.95	1.310
240.00	649.00	15.49	1.298
540.00	642.00	23.24	1.284
1440.00	637.00	37.95	1.274



Hi (cm)	2.000
Hf (cm)=	1.873

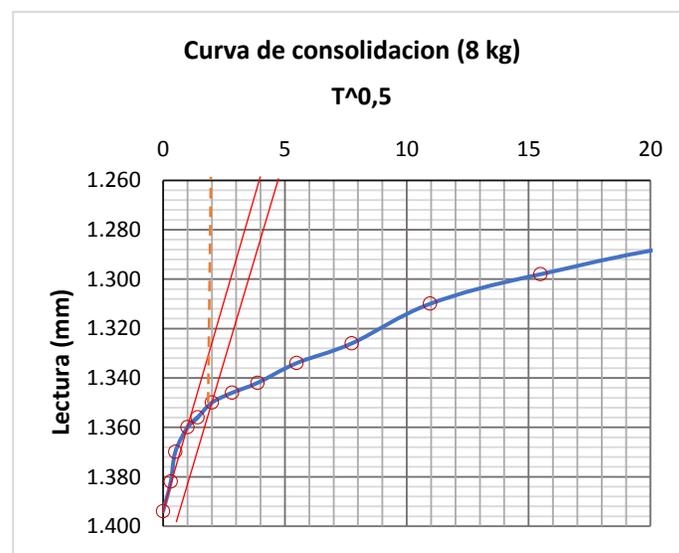
d90	1.35	
do	1.395	
(t90%)^{0,5}	1.50	
t90%	2.25	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000038	m ² /min
d100	1.345	

- Pasadas las 24 horas se quitó a la muestra un peso de 8kg, quedando cargada con 8kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	8	Kg
Presión =	0.2650	Kg/cm ²
Presión =	26.5	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	697.00	0.00	1.394
0.10	691.00	0.32	1.382
0.25	685.00	0.50	1.370
1.00	680.00	1.00	1.360
2.00	678.00	1.41	1.356
4.00	675.00	2.00	1.350
8.00	673.00	2.83	1.346
15.00	671.00	3.87	1.342
30.00	667.00	5.48	1.334
60.00	663.00	7.75	1.326
120.00	655.00	10.95	1.310
240.00	649.00	15.49	1.298
540.00	642.00	23.24	1.284
1440.00	637.00	37.95	1.274



Hi (cm)	2.000
Hf (cm)=	1.873

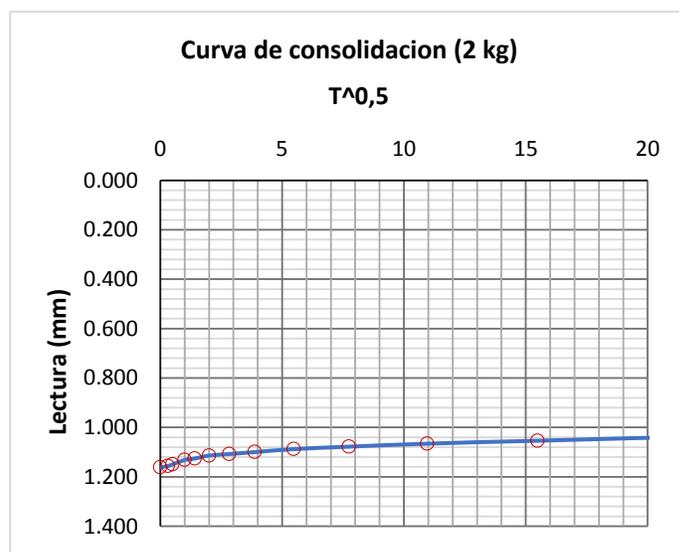
d90	1.35	
do	1.395	
(t90%)^{0,5}	1.50	
t90%	2.25	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000038	m ² /min
d100	1.345	

- Pasadas las 24 horas se quitó a la muestra un peso de 2kg, quedando cargada con un peso de 2kg.

<u>Datos</u>		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	2	Kg
Presión =	0.0662	Kg/cm ²
Presión =	6.6	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
---------------------------------	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T ^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	581.00	0.00	1.162
0.10	578.00	0.32	1.156
0.25	575.00	0.50	1.150
1.00	566.00	1.00	1.132
2.00	563.00	1.41	1.126
4.00	557.00	2.00	1.114
8.00	554.00	2.83	1.108
15.00	550.00	3.87	1.100
30.00	544.00	5.48	1.088
60.00	539.00	7.75	1.078
120.00	533.00	10.95	1.066
240.00	527.00	15.49	1.054
540.00	519.00	23.24	1.038
1440.00	519.00	37.95	1.038



Hi (cm)	1.884
Hf (cm)=	1.896

d90	0.3	
do	0.17	
(t90%)^{0,5}	3.20	
t90%	10.24	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000008	m ² /min
d100	0.314444	

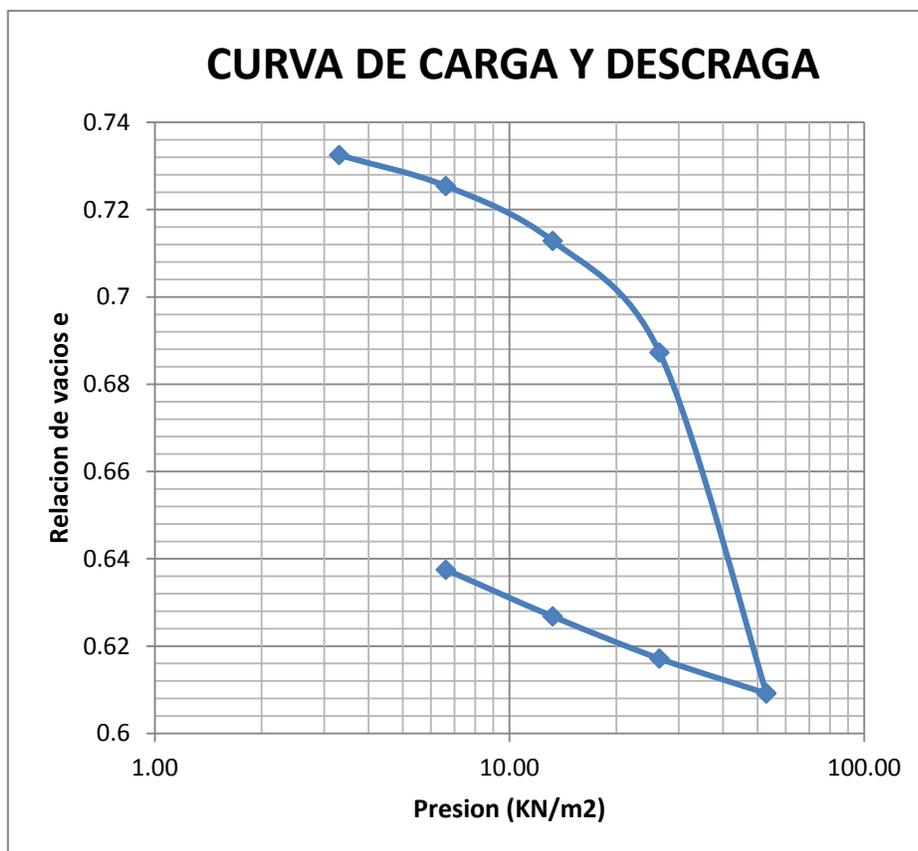
- Concluidos los ensayos de carga y descarga, con los resultados obtenidos dibujamos la curva.

A continuación presentamos los datos necesarios para calcular Hs.

CURVA DE CARGA Y DESCARGA	
Datos:	M. inalterada
Peso seco de la probeta W_s = (gr)	92.6
Area de la probeta A = (cm ²)	30.19
Densidad de los solidos del suelo G_s =	2.70
Peso especifico del agua γ_w = (gr/cm ³)	0.981

Resultados de ensayos de carga-descarga necesarios para dibujar la curva.

Resultados de Carga - Descarga				
Presión (KN/m ²)	Final (H) (mm)	$H_s = W_s / (A * G_s * \gamma_w)$	$H_v = H - H_s$ (mm)	$e = H_v / H_s$
0.00	20	11.57990389	8.420096113	0.727130052
3.31	20.062	11.57990389	8.482096113	0.732484155
6.62	19.98	11.57990389	8.400096113	0.725402922
13.25	19.834	11.57990389	8.254096113	0.712794872
26.50	19.538	11.57990389	7.958096113	0.687233348
53.00	18.634	11.57990389	7.054096113	0.609167069
53.00	18.634	11.57990389	7.054096113	0.609167069
26.50	18.726	11.57990389	7.146096113	0.617111867
13.25	18.838	11.57990389	7.258096113	0.626783796
6.62	18.962	11.57990389	7.382096113	0.637492002



Calculo de Cc	
e1 =	0.609
e2 =	0.687
σ^1	26.498
σ^2	52.996
Cc=	0.259

Calculo de Cs	
e1 =	0.609
e2 =	0.617
σ^1	26.498
σ^2	52.996
Cs=	0.026

Rangos del indice de expansión:

1/5 Cc = 0.0516

1/10 Cc = 0.0258

- **RESUMENS DE RESULTADOS DE COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y COMPRESIÓN DE LAS 15 MUESTRAS**

Muestras	Cc	Cs
1	0.259	0.026
2	0.262	0.030
3	0.254	0.028
4	0.251	0.029
5	0.253	0.028
6	0.258	0.032
7	0.255	0.027
8	0.260	0.028
9	0.256	0.030
10	0.254	0.028
11	0.261	0.033
12	0.252	0.030
13	0.262	0.030
14	0.251	0.030
15	0.258	0.022

Realizamos el desarrollo del procedimiento de cálculo de carga de la muestra **Nº1 del suelo-ML** extraído del barrio Moto Méndez.

Se dejó reposando la muestra durante 24 horas aplicándole la carga mínima de 1kg, se la dejó en reposo saturando.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	1	Kg
Presión =	0.0331	Kg/cm ²
Presión =	3.3	KN/m ²
Sensibilidad del extensometro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	0.00	0.32	0.000
0.25	0.00	0.50	0.000
1.00	0.00	1.00	0.000
2.00	0.00	1.41	0.000
4.00	0.00	2.00	0.000
8.00	0.00	2.83	0.000
15.00	0.00	3.87	0.000
30.00	0.00	5.48	0.000
60.00	-2.00	7.75	-0.004
120.00	-9.00	10.95	-0.018
240.00	-25.00	15.49	-0.050
540.00	-28.00	23.24	-0.056
1440.00	-36.00	37.95	-0.072

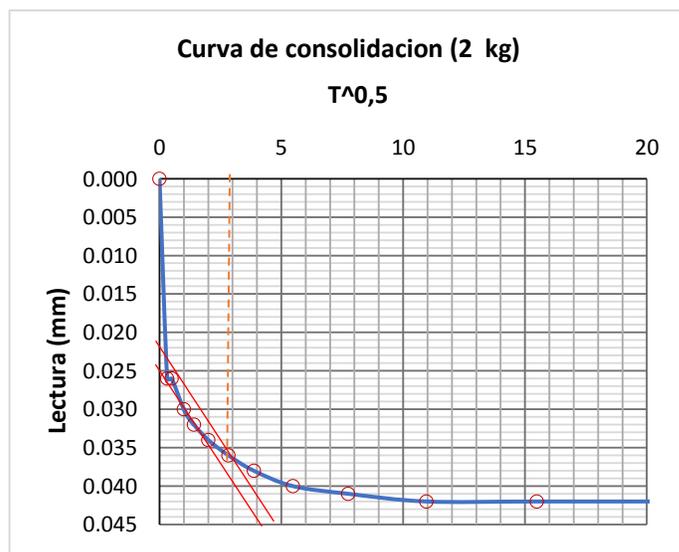
Observación:

La lectura negativa indica que el suelo al haberse sometido a saturación sufrió el fenómeno de expansión.

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 2kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	2	Kg
Presión =	0.0662	Kg/cm ²
Presión =	6.6	KN/m ²
Sensibilidad del extensometro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	13.00	0.32	0.026
0.25	13.00	0.50	0.026
1.00	15.00	1.00	0.030
2.00	16.00	1.41	0.032
4.00	17.00	2.00	0.034
8.00	18.00	2.83	0.036
15.00	19.00	3.87	0.038
30.00	20.00	5.48	0.040
60.00	20.50	7.75	0.041
120.00	21.00	10.95	0.042
240.00	21.00	15.49	0.042
540.00	21.00	23.24	0.042
1440.00	21.00	37.95	0.042



Hi (cm)	2.007
Hf (cm)=	1.996

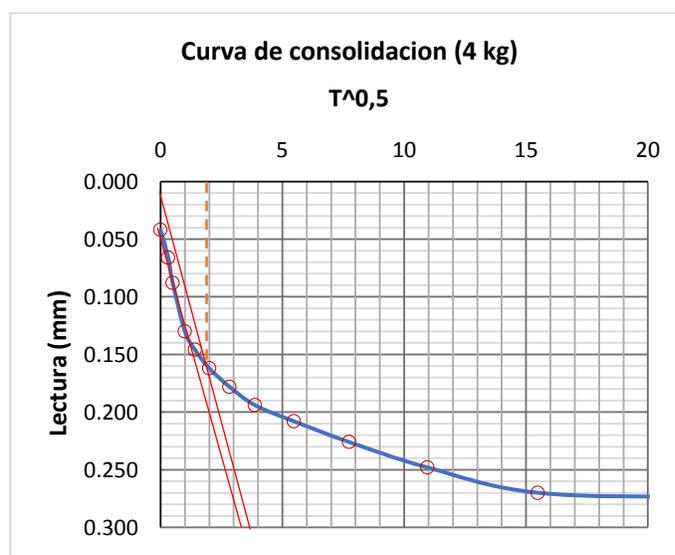
-

d90	0.036	
do	0.024	
(t90%)^{0,5}	3.00	
t90%	9	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.0001	m ² /min
d100	0.037333	

Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 4kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	4	Kg
Presión =	0.1325	Kg/cm ²
Presión =	13.2	KN/m ²
Sensibilidad del extensometro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	21.00	0.00	0.042
0.10	33.00	0.32	0.066
0.25	44.00	0.50	0.088
1.00	65.00	1.00	0.130
2.00	73.00	1.41	0.146
4.00	81.00	2.00	0.162
8.00	89.00	2.83	0.178
15.00	97.00	3.87	0.194
30.00	104.00	5.48	0.208
60.00	113.00	7.75	0.226
120.00	124.00	10.95	0.248
240.00	135.00	15.49	0.270
540.00	137.00	23.24	0.274
1440.00	139.00	37.95	0.278



Hi (cm)	1.996
Hf (cm)=	1.972

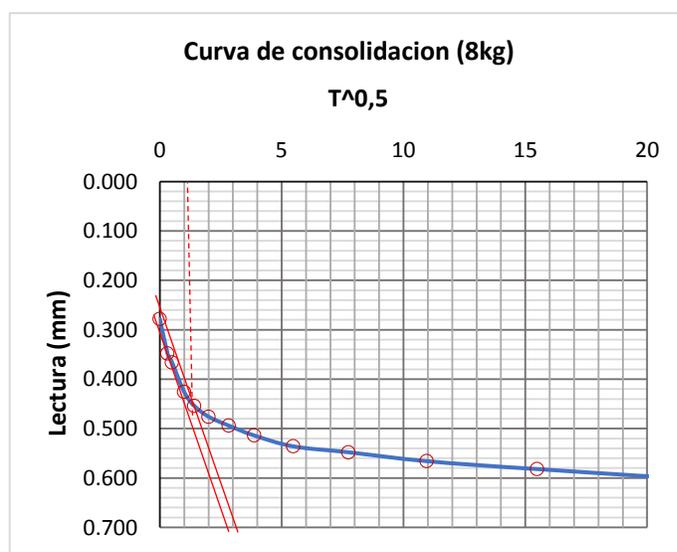
d90	0.16	
do	0.04	
(t90%)^{0,5}	2.00	
t90%	4	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000021	m ² /min
d100	0.173333	

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 8kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	8	Kg
Presión =	0.2650	Kg/cm ²
Presión =	26.5	KN/m ²

Sensibilidad del extensometro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	139.00	0.00	0.278
0.10	174.00	0.32	0.348
0.25	183.00	0.50	0.366
1.00	213.00	1.00	0.426
2.00	227.00	1.41	0.454
4.00	238.00	2.00	0.476
8.00	247.00	2.83	0.494
15.00	257.00	3.87	0.514
30.00	268.00	5.48	0.536
60.00	274.00	7.75	0.548
120.00	283.00	10.95	0.566
240.00	291.00	15.49	0.582
540.00	302.00	23.24	0.604
1440.00	313.00	37.95	0.626



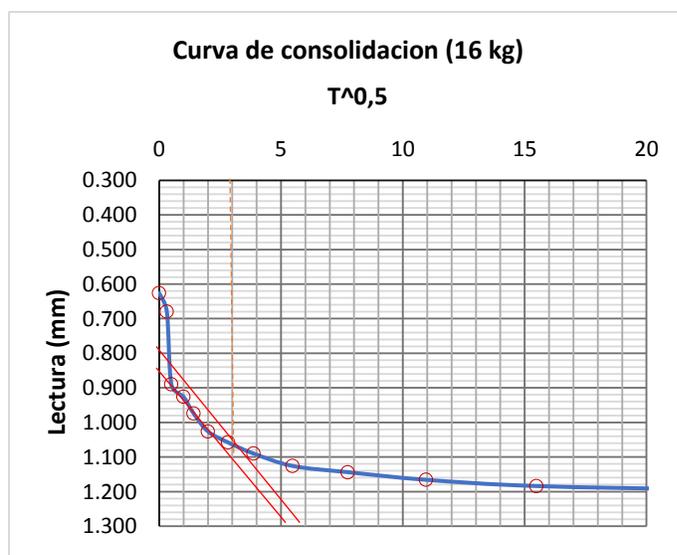
Hi (cm)	1.972
Hf (cm)=	1.937

d90	0.46	
do	0.28	
(t90%)^{0,5}	1.60	
t90%	2.56	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000961	m ² /min
d100	0.48	

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 16kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	16	Kg
Presión =	0.5300	Kg/cm ²
Presión =	53.0	KN/m ²
Sensibilidad del extensometro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	313.00	0.00	0.626
0.10	340.00	0.32	0.680
0.25	445.00	0.50	0.890
1.00	463.00	1.00	0.926
2.00	487.00	1.41	0.974
4.00	513.00	2.00	1.026
8.00	529.00	2.83	1.058
15.00	545.00	3.87	1.090
30.00	563.00	5.48	1.126
60.00	572.00	7.75	1.144
120.00	583.00	10.95	1.166
240.00	592.00	15.49	1.184
540.00	597.00	23.24	1.194
1440.00	602.00	37.95	1.204



Hi (cm)	1.937
Hf (cm)=	1.880

d90	1.6	
do	0.86	
(t90%)^{0,5}	3.00	
t90%	9	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000008	m ² /min
d100	1.682222	

Realizamos el desarrollo del procedimiento de cálculo de descarga de la muestra N°2 del suelo-ML extraído del barrio Moto Méndez.

Dejamos cargada durante 24 horas con los 16kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	16	Kg
Presión =	0.5300	Kg/cm ²
Presión =	53.0	KN/m ²
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	0.00	0.32	0.000
0.25	0.00	0.50	0.000
1.00	0.00	1.00	0.000
2.00	0.00	1.41	0.000
4.00	0.00	2.00	0.000
8.00	0.00	2.83	0.000
15.00	0.00	3.87	0.000
30.00	0.00	5.48	0.000
60.00	0.00	7.75	0.000
120.00	0.00	10.95	0.000
240.00	0.00	15.49	0.000
540.00	0.00	23.24	0.000
1440.00	0.00	37.95	0.000

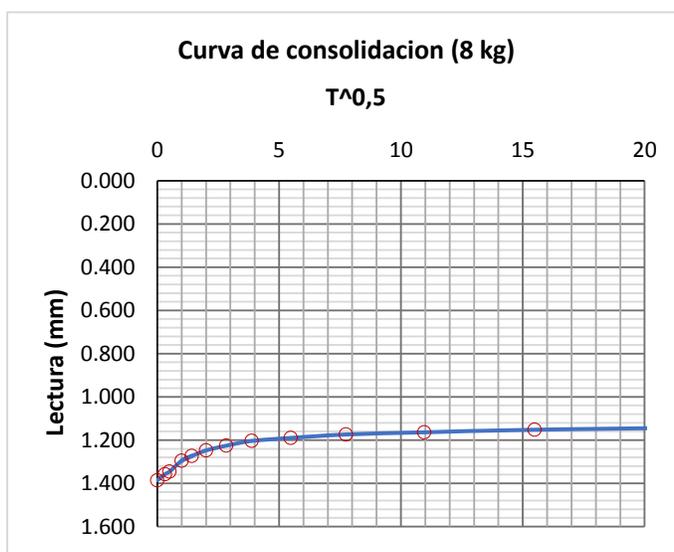
Observación:
La lectura en cero indica que el suelo al haberse dejado durante 24 horas con la carga de 16 kg ya no sufre deformación por compresión.

- Pasada las 24 horas se retiró un peso de 8kg., quedando cargada la muestra con 8kg.

<u>Datos</u>		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	8	Kg
Presión =	0.2650	Kg/cm ²
Presión =	26.5	KN/m ²

Sensibilidad del extensometro =	0.002	mm
---------------------------------	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T ^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	693.00	0.00	1.386
0.10	679.00	0.32	1.358
0.25	673.00	0.50	1.346
1.00	648.00	1.00	1.296
2.00	637.00	1.41	1.274
4.00	624.00	2.00	1.248
8.00	613.00	2.83	1.226
15.00	602.00	3.87	1.204
30.00	595.00	5.48	1.190
60.00	587.00	7.75	1.174
120.00	582.00	10.95	1.164
240.00	576.00	15.49	1.152
540.00	571.00	23.24	1.142
1440.00	566.00	37.95	1.132



Hi (cm)	2.000
Hf (cm)=	1.887

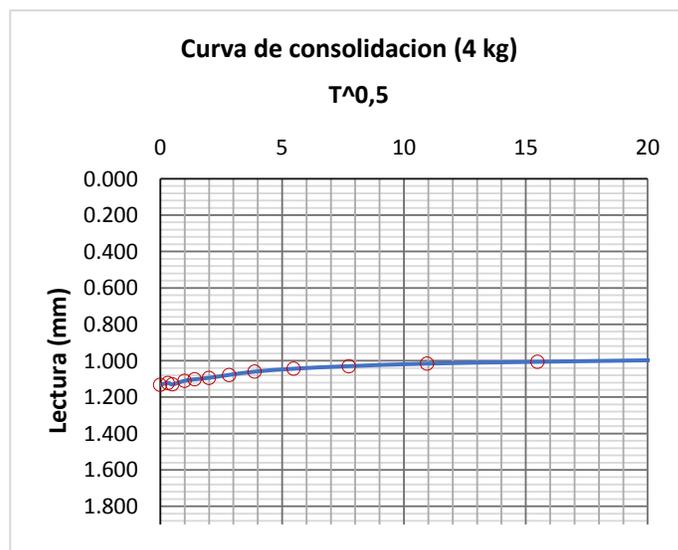
d90	1.2	
do	1.4	
(t90%)^{0,5}	5.80	
t90%	33.64	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000003	m ² /min
d100	1.177778	

- Pasada las 24 horas se retiró un peso de 4kg., quedando cargada la muestra con 4kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	4	Kg
Presión =	0.1325	Kg/cm ²
Presión =	13.2	KN/m ²

Sensibilidad del extensometro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	566.00	0.00	1.132
0.10	561.00	0.32	1.122
0.25	565.00	0.50	1.130
1.00	555.00	1.00	1.110
2.00	551.00	1.41	1.102
4.00	547.00	2.00	1.094
8.00	539.00	2.83	1.078
15.00	530.00	3.87	1.060
30.00	522.00	5.48	1.044
60.00	515.00	7.75	1.030
120.00	508.00	10.95	1.016
240.00	503.00	15.49	1.006
540.00	497.00	23.24	0.994
1440.00	493.00	37.95	0.986



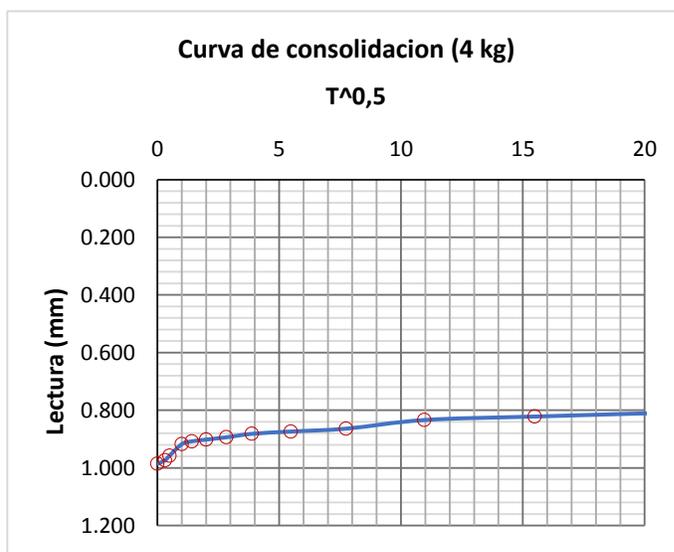
Hi (cm)	1.887
Hf (cm)=	1.901

d90	0.093	
do	0.02	
(t90%)^{0,5}	2.00	
t90%	4	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000021	m ² /min
d100	0.101111	

- Pasada las 24 horas se retiró un peso de 2kg., quedando cargada la muestra con 2kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	2	Kg
Presión =	0.0662	Kg/cm ²
Presión =	6.6	KN/m ²
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	493.00	0.00	0.986
0.10	487.00	0.32	0.974
0.25	479.00	0.50	0.958
1.00	459.00	1.00	0.918
2.00	454.00	1.41	0.908
4.00	451.00	2.00	0.902
8.00	447.00	2.83	0.894
15.00	441.00	3.87	0.882
30.00	437.00	5.48	0.874
60.00	432.00	7.75	0.864
120.00	417.00	10.95	0.834
240.00	411.00	15.49	0.822
540.00	403.00	23.24	0.806
1440.00	398.00	37.95	0.796



Hi (cm)	1.901
Hf (cm)=	1.920

d90	0.3	
do	0.17	
(t90%)^{0,5}	3.20	
t90%	10.24	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000008	m ² /min
d100	0.314444	

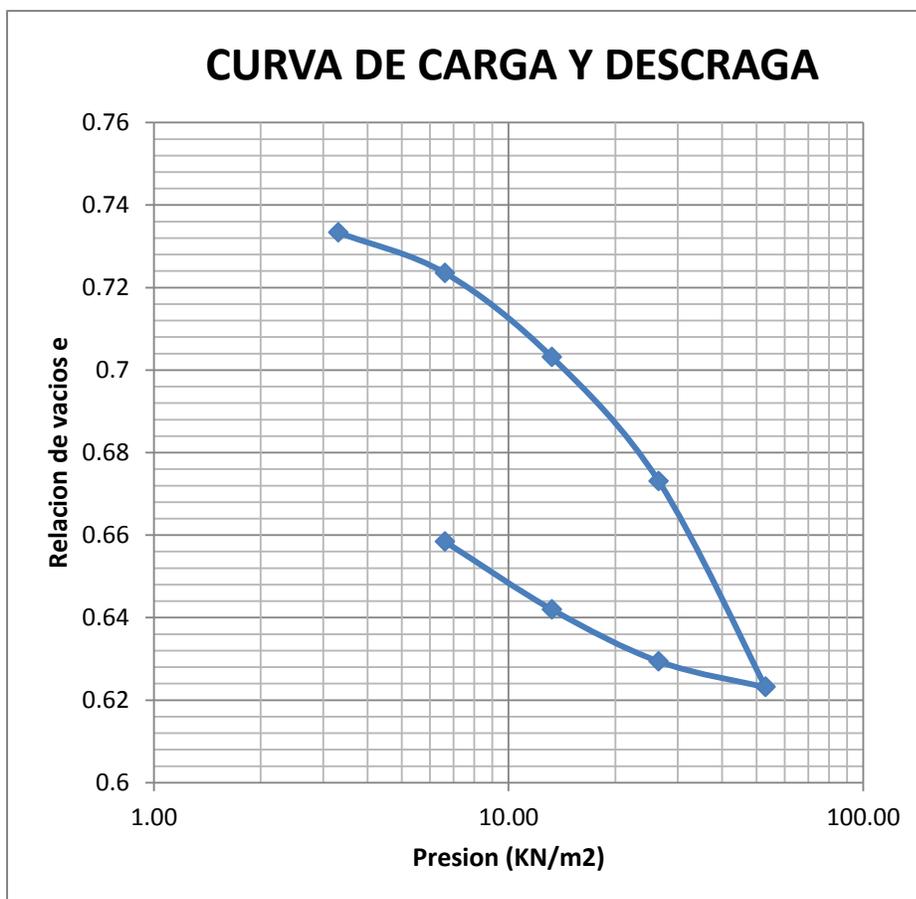
- Concluidos los ensayos de carga y descarga, con los resultados obtenidos dibujamos la curva.

A continuación presentamos los datos necesarios para calcular H_s .

CURVA DE CARGA Y DESCARGA	
Datos:	M. inalterada
Peso seco de la probeta $W_s =$ (gr)	92.6
Área de la probeta $A =$ (cm ²)	30.19
Densidad de los sólidos del suelo $G_s =$	2.70
Peso específico del agua $\gamma_w =$ (gr/cm ³)	0.981

Resultados de ensayos de carga-descarga necesarios para dibujar la curva.

Resultados de Carga-Descarga				
Presión (KN/m ²)	Final (H) (mm)	$H_s = W_s / (A * G_s * \gamma_w)$	$H_v = H - H_s$ (mm)	$e = H_v / H_s$
0.00	20	11.57990389	8.420096113	0.727130052
3.31	20.072	11.57990389	8.492096113	0.73334772
6.62	19.958	11.57990389	8.378096113	0.723503079
13.25	19.722	11.57990389	8.142096113	0.703122944
26.50	19.374	11.57990389	7.794096113	0.673070881
53.00	18.796	11.57990389	7.216096113	0.623156823
53.00	18.796	11.57990389	7.216096113	0.623156823
26.50	18.868	11.57990389	7.288096113	0.629374491
13.25	19.014	11.57990389	7.434096113	0.64198254
6.62	19.204	11.57990389	7.624096113	0.658390276



Calculo de Cc	
e1 =	0.623
e2 =	0.673
σ^1	26.498
σ^2	52.996
Cc=	0.166

Calculo de Cs	
e1 =	0.623
e2 =	0.629
σ^1	26.498
σ^2	52.996
Cs=	0.021

1/5 Cc = 0.0332
1/10 Cc = 0.0166

- **RESUMENS DE RESULTADOS DE COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y COMPRESIÓN DE LAS 15 MUESTRAS**

Muestras	Cc	Cs
1	0.166	0.021
2	0.169	0.023
3	0.167	0.020
4	0.165	0.022
5	0.168	0.021
6	0.162	0.019
7	0.171	0.022
8	0.166	0.017
9	0.162	0.016
10	0.166	0.019
11	0.165	0.020
12	0.163	0.020
13	0.167	0.022
14	0.165	0.022
15	0.164	0.021

Realizamos el desarrollo del procedimiento de cálculo de carga de la muestra **Nº1 del suelo-OL** extraído del barrio El Tejar (U.A.J.M.S).

Se dejó reposando la muestra durante 24 horas aplicándole la carga mínima de 1kg, se la dejó en reposo saturando.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm3
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm2
Peso =	1	Kg
Presión =	0.0331	Kg/cm2
Presión =	3.3	KN/m2
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	0.00	0.32	0.000
0.25	0.00	0.50	0.000
1.00	0.00	1.00	0.000
2.00	0.00	1.41	0.000
4.00	0.00	2.00	0.000
8.00	0.00	2.83	0.000
15.00	0.00	3.87	0.000
30.00	-1.00	5.48	-0.002
60.00	-4.00	7.75	-0.008
120.00	-9.00	10.95	-0.018
240.00	-17.00	15.49	-0.034
540.00	-24.00	23.24	-0.048
1440.00	-33.00	37.95	-0.066

Observación:

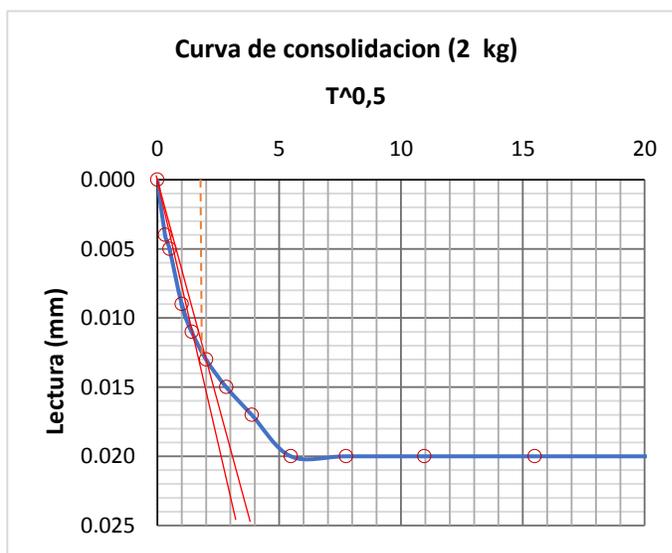
La lectura negativa indica que el suelo al haberse sometido a saturación sufrió el fenómeno de expansión.

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 2kg.

<u>Datos</u>		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	2	Kg
Presión =	0.0662	Kg/cm ²
Presión =	6.6	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
---------------------------------	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T ^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	2.00	0.32	0.004
0.25	2.50	0.50	0.005
1.00	4.50	1.00	0.009
2.00	5.50	1.41	0.011
4.00	6.50	2.00	0.013
8.00	7.50	2.83	0.015
15.00	8.50	3.87	0.017
30.00	10.00	5.48	0.020
60.00	10.00	7.75	0.020
120.00	10.00	10.95	0.020
240.00	10.00	15.49	0.020
540.00	10.00	23.24	0.020
1440.00	10.00	37.95	0.020



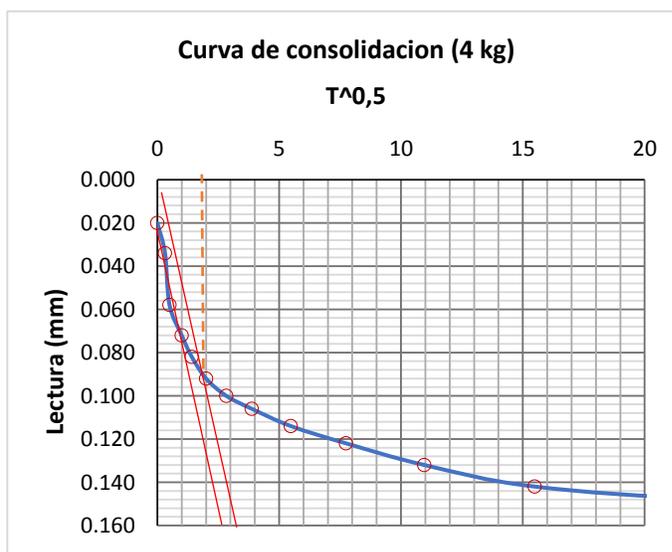
Hi (cm)	2.007
Hf (cm)=	1.998

d90	0.013	
do	0	
(t90%) ^{0,5}	2.00	
t90%	4	min
t90%	0.848	
(Hdr) ² =	0.0001	m ²
cv=	0.000021	m ² /min
d100	0.014444	

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 4kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Area de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	4	Kg
Presión =	0.1325	Kg/cm ²
Presión =	13.2	KN/m ²
Sensibilidad del extensometro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	10.00	0.00	0.020
0.10	17.00	0.32	0.034
0.25	29.00	0.50	0.058
1.00	36.00	1.00	0.072
2.00	41.00	1.41	0.082
4.00	46.00	2.00	0.092
8.00	50.00	2.83	0.100
15.00	53.00	3.87	0.106
30.00	57.00	5.48	0.114
60.00	61.00	7.75	0.122
120.00	66.00	10.95	0.132
240.00	71.00	15.49	0.142
540.00	74.00	23.24	0.148
1440.00	76.00	37.95	0.152



H_i (cm)	1.998
H_f (cm)=	1.985

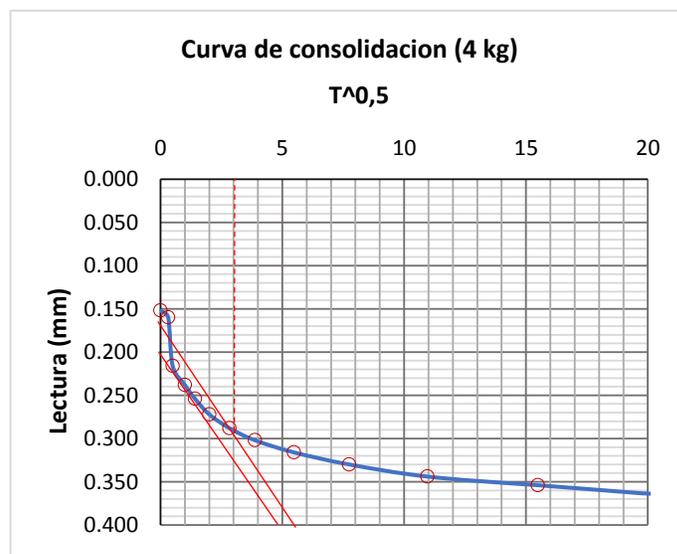
d₉₀	0.09	
d₀	0.02	
(t_{90%})^{0,5}	2.00	
t_{90%}	4	min
t_{90%}	0.848	
(H_{dr})²=	0.0001	m ²
cv=	0.000021	m ² /min
d₁₀₀	0.097778	

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 8kg.

<u>Datos</u>		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
Área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	8	Kg
Presión =	0.2650	Kg/cm ²
Presión =	26.5	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	76.00	0.00	0.152
0.10	80.00	0.32	0.160
0.25	108.00	0.50	0.216
1.00	119.00	1.00	0.238
2.00	127.00	1.41	0.254
4.00	136.00	2.00	0.272
8.00	144.00	2.83	0.288
15.00	151.00	3.87	0.302
30.00	158.00	5.48	0.316
60.00	165.00	7.75	0.330
120.00	172.00	10.95	0.344
240.00	177.00	15.49	0.354
540.00	184.00	23.24	0.368
1440.00	187.00	37.95	0.374



Hi (cm)	1.985
Hf (cm)=	1.963

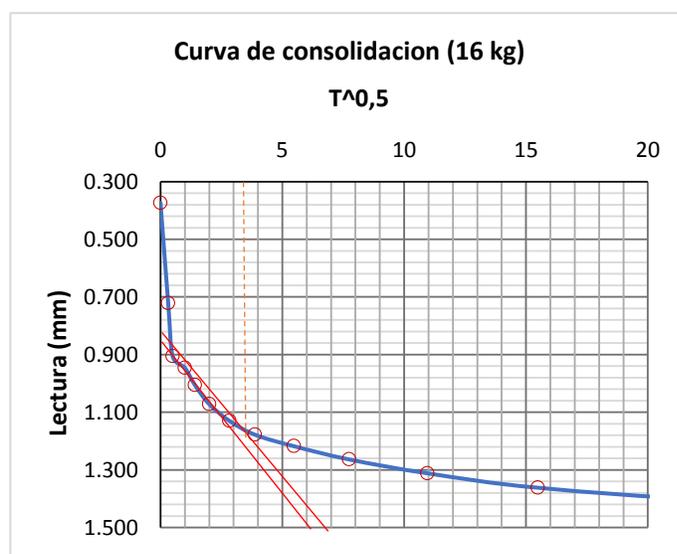
d90	0.29	
do	0.2	
(t90%)^{0,5}	3.00	
t90%	9	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000009	m ² /min
d100	0.3	

- Pasadas las 24 horas se aplicó a la muestra un peso de 16kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	16	Kg
Presión =	0.5300	Kg/cm ²
Presión =	53.0	KN/m ²

Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm
--	-------	----

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	187.00	0.00	0.374
0.10	361.00	0.32	0.722
0.25	453.00	0.50	0.906
1.00	473.00	1.00	0.946
2.00	503.00	1.41	1.006
4.00	536.00	2.00	1.072
8.00	565.00	2.83	1.130
15.00	589.00	3.87	1.178
30.00	609.00	5.48	1.218
60.00	632.00	7.75	1.264
120.00	656.00	10.95	1.312
240.00	681.00	15.49	1.362
540.00	702.00	23.24	1.404
1440.00	711.00	37.95	1.422



Hi (cm)	1.963
Hf (cm)=	1.858

d90	1.14	
do	0.78	
(t90%)^{0,5}	3.20	
t90%	10.24	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000008	m ² /min
d100	0.000008	

Realizamos el desarrollo del procedimiento de cálculo de descarga de la muestra **Nº3 del suelo-OL** extraído del barrio Moto Méndez.

Dejamos cargada durante 24 horas con los 16kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm3
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
área de la probeta=	30.1907	cm2
Peso =	16	Kg
Presión =	0.5300	Kg/cm2
Presión =	53.0	KN/m2
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	0.00	0.00	0.000
0.10	0.00	0.32	0.000
0.25	0.00	0.50	0.000
1.00	0.00	1.00	0.000
2.00	0.00	1.41	0.000
4.00	0.00	2.00	0.000
8.00	0.00	2.83	0.000
15.00	0.00	3.87	0.000
30.00	0.00	5.48	0.000
60.00	0.00	7.75	0.000
120.00	0.00	10.95	0.000
240.00	0.00	15.49	0.000
540.00	0.00	23.24	0.000
1440.00	0.00	37.95	0.000

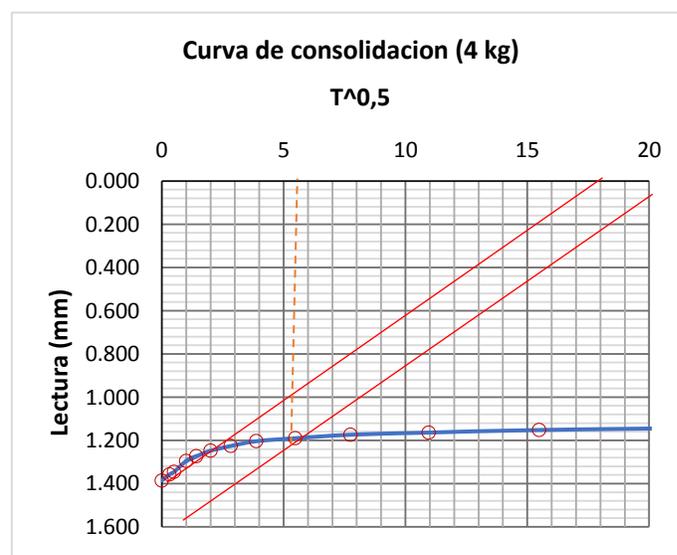
Observación:

La lectura en cero indica que el suelo al haberse dejado durante 24 horas con la carga de 16 kg ya no sufre deformación por compresión.

- Pasada las 24 horas se retiró un peso de 8kg., quedando cargada la muestra con 8kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	8	Kg
Presión =	0.2650	Kg/cm ²
Presión =	26.5	KN/m ²
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	693.00	0.00	1.386
0.10	679.00	0.32	1.358
0.25	673.00	0.50	1.346
1.00	648.00	1.00	1.296
2.00	637.00	1.41	1.274
4.00	624.00	2.00	1.248
8.00	613.00	2.83	1.226
15.00	602.00	3.87	1.204
30.00	595.00	5.48	1.190
60.00	587.00	7.75	1.174
120.00	582.00	10.95	1.164
240.00	576.00	15.49	1.152
540.00	571.00	23.24	1.142
1440.00	566.00	37.95	1.132



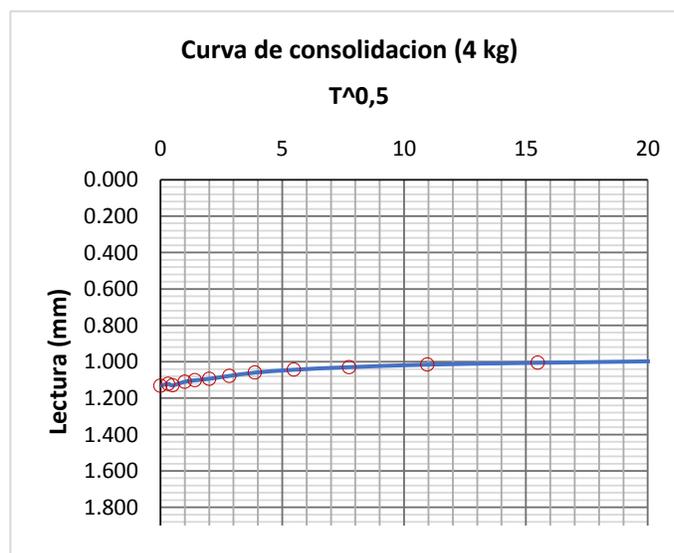
Hi (cm)	2.000
Hf (cm)=	1.887

d90	1.2	
do	1.4	
(t90%)^{0,5}	5.80	
t90%	33.64	min
t90%	0.848	
(Hdr)²=	0.0001	m ²
cv=	0.000003	m ² /min
d100	1.177778	

- Pasada las 24 horas se retiró un peso de 4kg., quedando cargada la muestra con 4kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	4	Kg
Presión =	0.1325	Kg/cm ²
Presión =	13.2	KN/m ²
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

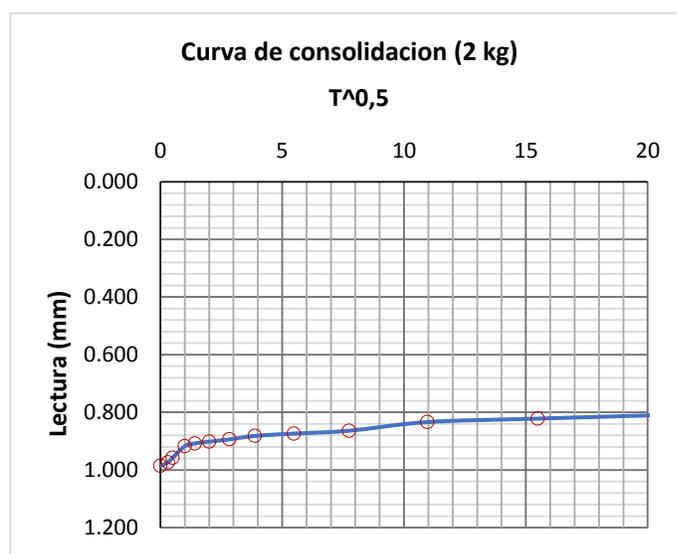
TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	566.00	0.00	1.132
0.10	561.00	0.32	1.122
0.25	565.00	0.50	1.130
1.00	555.00	1.00	1.110
2.00	551.00	1.41	1.102
4.00	547.00	2.00	1.094
8.00	539.00	2.83	1.078
15.00	530.00	3.87	1.060
30.00	522.00	5.48	1.044
60.00	515.00	7.75	1.030
120.00	508.00	10.95	1.016
240.00	503.00	15.49	1.006
540.00	497.00	23.24	0.994
1440.00	493.00	37.95	0.986



- Pasada las 24 horas se retiró un peso de 2kg., quedando cargada la muestra con 2kg.

Datos		
Yw(Peso Esp, del Agua)=	0.981	g/cm ³
Altura de la probeta =	2	cm
Diámetro de la probeta =	6.2	cm
área de la probeta=	30.1907	cm ²
Peso =	2	Kg
Presión =	0.0662	Kg/cm ²
Presión =	6.6	KN/m ²
Sensibilidad del extensómetro =	0.002	mm

TIEMPO	DEF.V	T^{0,5}	Lectura
[min]	X0,002		
0.00	493.00	0.00	0.986
0.10	487.00	0.32	0.974
0.25	479.00	0.50	0.958
1.00	459.00	1.00	0.918
2.00	454.00	1.41	0.908
4.00	451.00	2.00	0.902
8.00	447.00	2.83	0.894
15.00	441.00	3.87	0.882
30.00	437.00	5.48	0.874
60.00	432.00	7.75	0.864
120.00	417.00	10.95	0.834
240.00	411.00	15.49	0.822
540.00	403.00	23.24	0.806
1440.00	398.00	37.95	0.796



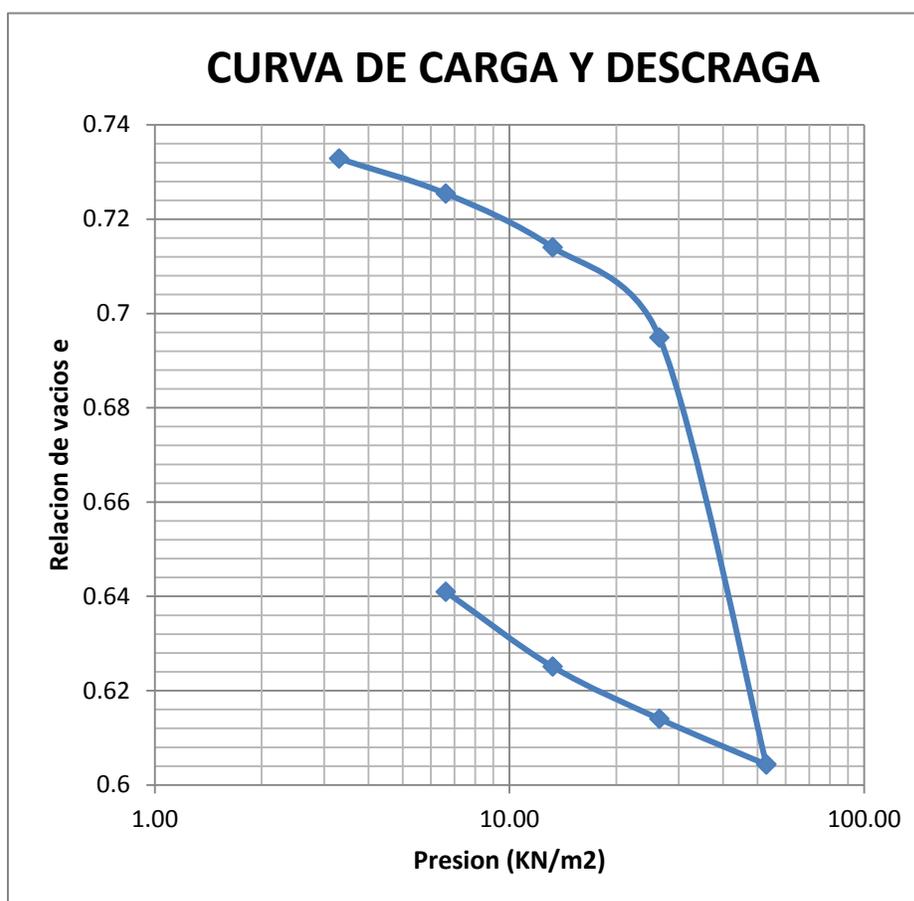
- Concluidos los ensayos de carga y descarga, con los resultados obtenidos dibujamos la curva.

A continuación presentamos los datos necesarios para calcular Hs.

CURVA DE CARGA Y DESCARGA	
Datos:	M. inalterada
Peso seco de la probeta W_s = (gr)	92.6
área de la probeta A = (cm ²)	30.19
Densidad de los sólidos del suelo G_s =	2.70
Peso específico del agua γ_w = (gr/cm ³)	0.981

Resultados de ensayos de carga-descarga necesarios para dibujar la curva.

Resultados de Carga-Descarga				
Presión (KN/m ²)	Final (H) (mm)	$H_s = W_s / (A * G_s * \gamma_w)$	$H_v = H - H_s$ (mm)	$e = H_v / H_s$
0.00	20	11.57990389	8.420096113	0.727130052
3.31	20.066	11.57990389	8.486096113	0.732829581
6.62	19.98	11.57990389	8.400096113	0.725402922
13.25	19.848	11.57990389	8.268096113	0.714003863
26.50	19.626	11.57990389	8.046096113	0.69483272
53.00	18.578	11.57990389	6.998096113	0.604331105
53.00	18.578	11.57990389	6.998096113	0.604331105
26.50	18.69	11.57990389	7.110096113	0.614003033
13.25	18.818	11.57990389	7.238096113	0.625056666
6.62	19.002	11.57990389	7.422096113	0.640946262



Calculo de Cc	
e1 =	0.604
e2 =	0.695
$\sigma'1$	26.498
$\sigma'2$	52.996
Cc=	0.301

Calculo de Cs	
e1 =	0.604
e2 =	0.614
$\sigma'1$	26.498
$\sigma'2$	52.996
Cs=	0.032

1/5 Cc = 0.0602
1/10 Cc = 0.0301

- **RESUMENS DE RESULTADOS DE COEFICIENTE DE EXPANCIÓN Y COMPRESIÓN DE LAS 15 MUESTRAS**

Muestras	Cc	Cs
1	0.301	0.032
2	0.312	0.044
3	0.308	0.040
4	0.290	0.030
5	0.296	0.033
6	0.285	0.030
7	0.310	0.034
8	0.316	0.048
9	0.286	0.033
10	0.294	0.026
11	0.308	0.040
12	0.301	0.032
13	0.310	0.034
14	0.281	0.030
15	0.290	0.030

CAPITULO IV

TRABAJO DE GABINETE

Mediante el desarrollo del trabajo en el laboratorio se pudo observar consecuentemente los cambios volumétricos que sufrían las arcillas inorgánicas seleccionadas para el presente proyecto de grado, pero mediante el trabajo de gabinete se pudo identificar y definir las condiciones que influyen para que se pueda producir un cambio volumétrico.

Las condiciones necesarias para que se produzca el cambio volumétrico en las arcillas, según los ensayos de consolidación realizados, son las que se presentan a continuación:

4.1 EXPANSIÓN EN 24 HORAS DE SATURACIÓN (SIN CARGA)

Para iniciar con el proceso de carga y descarga en el consolidómetro (edómetro), las arcillas (CL-ML-OL) fueron sometidas a un periodo de saturación durante 24hrs. sin aplicación de cargas, donde se pudo observar y realizar lecturas de expansión de la altura final de la muestra (H_f) en (cm) como unidad de medida, que fueron las siguientes:

Muestra: Arcilla TIPO- CL

Equipo: Consolidometro Whikeham Farrance

Tabla N°11: Expansión por saturación.

Altura de la probeta (cm) (expansión)
0.0062
0.0062
0.0066
0.0059
0.0056
0.0054
0.0062
0.0058
0.0060
0.0056
0.0066
0.0054
0.0063
0.0063
0.0058
Media: 0.0059

Elaboración: Fuente propia.

Se realizó las lecturas de expansión por saturación para 15 muestras, se calculó la media, donde se determina que el suelo arcilla inorgánica de tipo CL, sufre una expansión de 0.0059cm, es decir que con respecto a los 2cm que media la altura inicial de la probeta esta aumenta a 2.0059cm, generando así un cambio de volumen mínimo en las muestras.

Muestra: Arcilla TIPO-OL

Equipo: Consolidometro Whikeham Farrance

Tabla N°12 : Expansión por saturación.

Altura de la probeta cm. (expansión)
0.0066
0.0068
0.0058
0.0064
0.0062
0.0066
0.0078
0.0077
0.0062
0.0054
0.0058
0.0068
0.0070
0.0072
0.0068
Media: 0.0062

Elaboración: Fuente propia.

Se realizó las lecturas de expansión por saturación para 15 muestras, se calculó la media, donde se determina que el suelo arcilla inorgánica de tipo OL, sufre una expansión de 0.0062cm, es decir que con respecto a los 2cm que media la altura inicial de la probeta esta aumenta a 2.0062cm,generando así un cambio de volumen.

Muestra: Arcilla TIPO-ML

Equipo: Consolidometro Whiteham Farrance

Tabla N°13 : Expansión por saturación.

Altura de la probeta cm. (expansión)
0.0072
0.0070
0.0071
0.0068
0.0070
0.0074
0.0068
0.0074
0.0070
0.0076
0.0068
0.0062
0.0072
0.0066
0.0072
Media: 0.0070

Elaboración: Fuente propia.

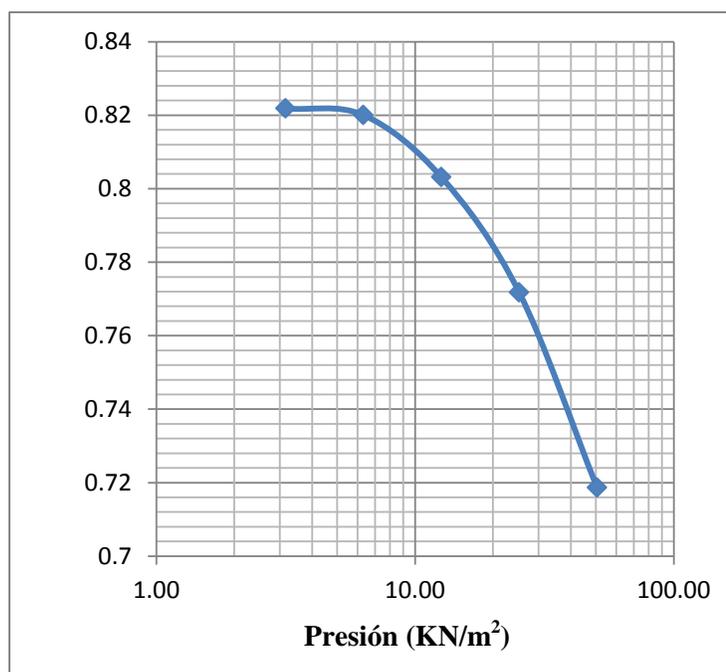
Se realizó las lecturas de expansión por saturación para 15 muestras, se calculó la media, donde se determina que el suelo arcilla inorgánica de tipo CH, sufre una expansión de 0.0070cm, es decir que con respecto a los 2cm que media la altura inicial de la probeta esta aumenta a 2.0070cm, generando así un cambio de volumen.

4.2 COMPRESIÓN EN EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN (CARGA)

En los ensayos de consolidación por carga, se observa el cambio de volumen que sufren las muestras de los suelos por compresión, se obtuvo el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) de cada tipo de arcilla (CL-ML-OL) antes de ser sometida al proceso de carga, porque es una condición que influye en el cambio volumétrico de las arcillas.

Para determinar el cambio volumétrico por compresión que sufre las arcillas se calculó el índice de compresión de la curva de compresión:

Gráfica N°7 : Curva de compresión suelo CL - muestra 9.



Fuente: Elaboración propia.

De la curva de compresión se obtuvo el índice de compresión C_c . El detalle del trabajo de gabinete para el cálculo del índice de compresión se encuentra en el capítulo 3 y los anexos.

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\text{Log} \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)}$$

Muestra: Arcilla TIPO-CL

Límite Líquido: 28.76%

Límite Plástico: 11.11%

Índice de Plasticidad: 17.65

Contenido de Humedad: 6.38%

Equipo: Consolidometro Whikeham Farrance

Tabla N°14 : Compresión por carga.

Índice de compresión (%)
(Cs)
0.259
0.262
0.254
0.251
0.253
0.258
0.255
0.260
0.256
0.254
0.261
0.252
0.262
0.251
0.258
Media: 0.256

Elaboración: Fuente propia.

En el proceso de carga, las muestras de suelo experimentaban un cambio de volumen por compresión debido al aumento de peso 2, 4, 8, 16 kg.

Realizando el estudio estadístico de las 15 muestras (arcilla CL) estudiadas en laboratorio, se obtuvo la media de los índices de compresión, se determina que tiene un índice de compresión C_c de 0.026, el valor obtenido se encuentra dentro del rango de los índices de compresión que se presentan en el Capítulo II.

Muestra: Arcilla TIPO-ML

Límite Líquido: 49.23%

Límite Plástico: 30.74%

Índice de Plasticidad: 20.24

Contenido de Humedad: 7.09%

Equipo: Consolidometro Whikeham Farrance

Tabla N°15 : Compresión por carga.

Índice de compresión (%) (Cs)
0.166
0.169
0.167
0.165
0.168
0.162
0.171
0.166
0.162
0.166
0.165
0.163
0.167
0.165
0.164
Media: 0.167

Elaboración: Fuente propia.

En el proceso de carga, las muestras de suelo sufrían un cambio de volumen por compresión debido al aumento de peso 2, 4, 8,16 kg.

Realizando el estudio estadístico (media) de los índices de compresión de las 15 muestras de suelo ML, se determina que tiene un índice de compresión Cc de 0.166, el valor obtenido se encuentra dentro del rango de los índices de compresión que se presentan en el Capítulo II.

Muestra: Arcilla inorgánica OL

Límite Líquido: 44.06%

Límite Plástico: 33.64%

Índice de Plasticidad: 10.42

Contenido de Humedad: 7.05%

Equipo: Consolidometro Whikeham Farrance

Tabla N°16 : Compresión por carga.

Índice de compresión (%) (Cs)
0.301
0.312
0.308
0.290
0.296
0.285
0.310
0.320
0.286
0.294
0.316
0.301
0.310
0.281
0.290
Media: 0.300

Elaboración: Fuente propia.

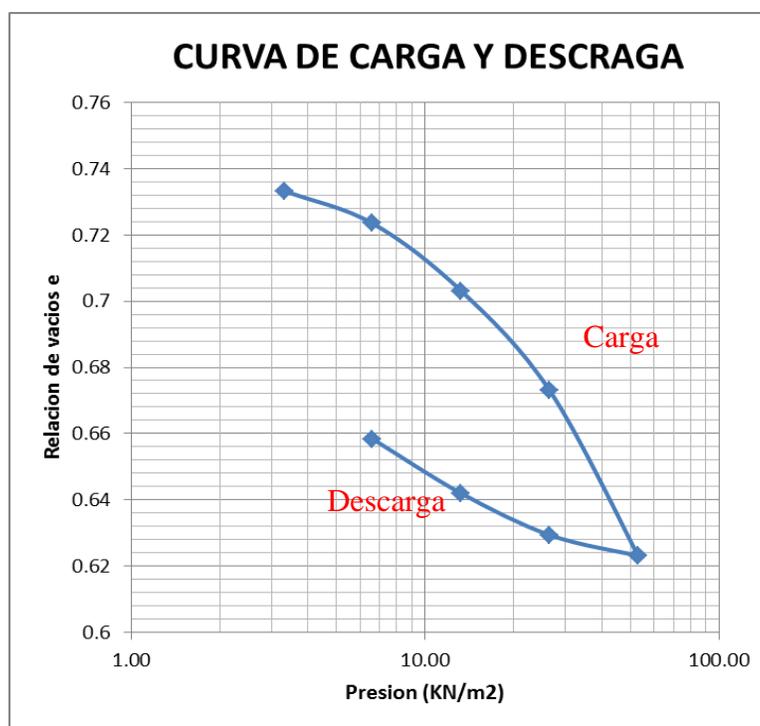
En el proceso de carga, las muestras de suelo sufrían un cambio de volumen por compresión debido al aumento de peso 2, 4, 8,16 kg.

Realizando el estudio estadístico (media) de los índices de compresión de las 15 muestras de suelo OL, se determina que tiene un índice de compresión Cc de 0.300, el valor obtenido se encuentra dentro del rango de los índices de compresión que se presentan en el Capítulo II.

4.3 EXPANSIÓN EN EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN (DESCARGA)

En los ensayos de consolidación por los equipos de consolidómetro, también se puede observar el cambio de volumen que sufren las muestras de los suelos por expansión, esto se da una vez después de haber concluido con el proceso de carga, se procede a realiza el proceso de descarga, para determinar aquello se tomó en cuenta el límite líquido, límite plástico, el índice de plasticidad y el contenido de humedad natural de cada muestra de suelo antes de iniciar con los ensayos; para determinar la expansión que sufren las muestras, se calculó el índice de expansión de la curva de compresión y expansión:

Gráfica N°8 : Curva de compresión y expansión suelo OL - muestra 35.



Fuente: Elaboración propia.

De la curva de compresión y expansión se obtuvo el índice de expansión C_s . El detalle del trabajo de gabinete para el cálculo del índice de compresión se encuentra en el capítulo 3 y los anexos.

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\text{Log} \left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)}$$

Muestra: Arcilla inorgánica CL

Límite Líquido: 28.76%

Límite Plástico: 11.11%

Índice de Plasticidad: 17.65

Contenido de Humedad: 6.38%

Equipo: Consolidometro Whikeham Farrance

Tabla N°17 : Compresión por carga.

Índice de expansión (%) (Cs)
0.026
0.030
0.028
0.031
0.028
0.032
0.027
0.028
0.030
0.028
0.033
0.030
0.030
0.030
0.030
0.022
Media: 0.029

Elaboración: Fuente propia.

En el proceso de descarga, las muestras de suelo sufrían un cambio de volumen por expansión, los pesos fueron retirados cada 24hrs. 16, 8, 4, 2 kg. Realizando el estudio estadístico (media) de los índices de compresión de las 15 muestras de suelo CL, se determina que tiene un índice de expansión de 0.029, el valor obtenido se encuentra dentro del rango de los índices de expansión que se presentan en el Capítulo II.

Para brindar mayor confiabilidad a la media encontrada, podemos aplicar la fórmula que se menciona en el Capítulo II y en Anexos:

$$C_s \frac{1}{5} \text{ a } \frac{1}{10} \text{ de } C_c$$

$$C_c = 0.256$$

$$\frac{1}{5} C_c = 0.0512$$

$$C_s = 0.029$$

$$\frac{1}{10} C_c = 0.0256$$

El valor de la media obtenida de las muestras, se encuentra dentro del rango que se puede establecer con la Bibliografía.

Muestra: Arcilla TIPO-ML

Límite Líquido: 49.23%

Límite Plástico: 30.74%

Índice de Plasticidad: 20.24

Contenido de Humedad: 7.09%

Equipo: Consolidometro Whikeham Farrance

Tabla N°18 : Compresión por carga.

Índice de expansión (%) (Cs)
0.021
0.023
0.020
0.022
0.021
0.019
0.022
0.017
0.016
0.019
0.020
0.020
0.022
0.022
0.021
Media: 0.021

Elaboración: Fuente propia.

En el proceso de descarga, las muestras de suelo sufrían un cambio de volumen por expansión, los pesos fueron retirados cada 24hrs. 16, 8, 4, 2 kg. Realizando el estudio

estadístico (media) de los índices de compresión de las 15 muestras de suelo CH, se determina que tiene un índice de expansión de 0.021, el valor obtenido se encuentra dentro del rango de los índices de expansión que se presentan en el Capítulo II.

Para brindar mayor confiabilidad a la media encontrada, podemos aplicar la fórmula que se menciona en el Capítulo II y en Anexos:

$$Cs \frac{1}{5} \text{ a } \frac{1}{10} \text{ de } Cc$$

$$Cc= 0.167$$

$$\frac{1}{5} Cc= 0.0334$$

$$Cs=0.021$$

$$\frac{1}{10} Cc= 0.0167$$

Muestra: Arcilla inorgánica OL

Límite Líquido: 44.06%

Límite Plástico: 33.64%

Índice de Plasticidad: 10.42

Contenido de Humedad: 7.05%

Equipo: Consolidometro Whikeham Farrance

Tabla N°19 : Compresión por carga.

Índice de expansión (%) (Cs)
0.032
0.044
0.040
0.030
0.033
0.030
0.034
0.048
0.033
0.026
0.040
0.032
0.034
0.030
0.030
Media: 0.034

Elaboración: Fuente propia.

En el proceso de descarga, las muestras de suelo sufrían un cambio de volumen por expansión, los pesos fueron retirados cada 24hrs. 16, 8, 4, 2 kg. Realizando el estudio estadístico (media) de los índices de compresión de las 15 muestras de suelo CL, se determina que tiene un índice de expansión de 0.034, el valor obtenido se encuentra dentro del rango de los índices de expansión que se presentan en el Capítulo II.

Para brindar mayor confiabilidad a la media encontrada, podemos aplicar la fórmula que se menciona en el Capítulo II y en Anexos:

$$Cs \frac{1}{5} \text{ a } \frac{1}{10} \text{ de } Cc$$

$$Cc= 0.300 \qquad \frac{1}{5} Cc= 0.0600 \qquad Cs=0.034 \qquad \frac{1}{10} Cc= 0.0300$$

El valor de la media obtenida de las muestras, se encuentra dentro del rango que se puede establecer con la Bibliografía.

4.4 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS, REALIZANDO COMPARACIONES ENTRE LOS TRES TIPOS DE SUELOS

4.4.1 Comparación de resultados

Tabla N°20 : Comparación de resultados.

Tipo de arcilla	Consolidación carga-descarga (%)	
CL	Compresión	0.256
	Expansión	0.029
ML	Compresión	0.167
	Expansión	0.021
OL	Compresión	0.282
	Expansión	0.034

Realizando un análisis del comportamiento de los suelos en estudio (arcillas CL-ML-OL), se puede mencionar que tienen comportamientos muy distintos, esto debido que presentan condiciones independientes de contenido de humedad, límite plástico (LP), límite líquido (LL) e índice de plasticidad (IP)

El contenido de humedad influye directamente en las arcillas (CL-ML-OL) para el desarrollo del ensayo al momento de someter las muestras en saturación por 24hrs., porque según la cantidad de humedad que presenta el suelo permitirá la expansión de la muestra, entonces la humedad es una condición para que las arcillas inorgánicas puedan experimentar un cambio volumétrico.

El límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) influyen en el comportamiento de compresión y expansión de las arcillas (CL-ML-OL), los límites son considerados como condiciones del cambio volumétrico que sufren las arcillas inorgánicas, esto debido a la comparación que se realiza de las 15 muestras de cada tipo de arcilla, se puede percibir en la gráfica que se muestra a continuación que los tres tipos de arcillas comparadas entre sí, tienen un comportamiento independiente, esto debido a las condiciones ya mencionadas.

Los resultados de compresión y expansión que se obtuvieron de los tres tipos de arcillas inorgánicas estudiadas (CL-ML-OL), están dentro de los rangos establecidos en EL MARCO TEÓRICO, en la Tabla N°1 (Expansión y Compresión de los suelos).

4.5 ESTADISTICA INFERENCIAL

4.5.1 Determinación de los errores medios y valor aceptado (compresión)

Para calcular la estadística inferencial, se utilizara los valores de las variables dependientes. Las medias de las medias, es decir:

Tabla N°21 : Media de la media de las tres variables independientes.

N	(compresión)	$(x_i - \bar{x})^2$
CL	0.256	0.000021
ML	0.167	0.000005
OL	0.282	0.000088
m	0.235	0.000038

Fuente: Elaboración propia.

Error medio de serie de datos

$$E_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.000038}{3-1}}$$

$$E_{x_i} = 0.0043$$

Error probable

$$E_p = z * E_{\bar{x}}$$

$$E_p = 1.96 * 0.0024$$

$$E_p = 0.0047$$

Error medio de la media

$$E_{\bar{x}} = \frac{E_{x_i}}{\sqrt{n}} = \frac{0.0043}{\sqrt{3}}$$

$$E_{\bar{x}} = 0.0024$$

Valor aceptado

$$x_a = \bar{x} \pm E_p$$

$$\text{Límite inferior } x_a = 0.230$$

$$\text{Límite superior } x_a = 0.240$$

Hipótesis del investigador

El tipo de suelo es una condición relevante para el cambio volumétrico de las propiedades de contracción y expansión.

Para la comprobación se requiere un parámetro patrón de especificación técnica, el cual es seleccionado considerando las características extremas, en este caso la arcilla más pura de sus tres suelos, la arcilla más pura es la de tipo CL.

$$\text{Media CL} = \mu$$

Hipótesis alternativa:

$$m \neq \mu$$

H₁= Existe cambio volumétrico en las muestras de los diferentes tipos de arcillas realizando los ensayos de tracción y contracción.

Hipótesis nula:

$$m = \mu$$

H₀= No existe cambio volumétrico en las muestras de los diferentes tipos de arcillas realizando los ensayos de tracción y contracción.

Nuestro nivel de significancia es:

$\alpha = 0.05$ (para proyectos de investigación).

Como las muestras son menores a 30, usaremos t-student.

$$n = 3$$

$$\bar{x} = 0.235$$

$$S = 0.000038$$

$$\mu = \bar{x} \pm t * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Grados de libertad= (n - 1) = (3 - 1)= 2

$$\mu = 0.235 \pm 2.97 * \frac{0.000038}{\sqrt{3}}$$

$$\mu = 0.235 \pm 0.000065$$

$$\mathbf{0.234 \leq \mu \leq 0.235}$$

El valor de "μ" se encuentra dentro de la zona de aceptación generada por el límite superior e inferior del **valor aceptado**, garantizando el cumplimiento de la hipótesis alternativa, si existen cambios en las muestras de los diferentes tipos de arcillas

Estableciendo al tipo de suelo CL como parámetro de especificación técnica para la comprobación de la hipótesis nula o alternativa, se realizaron dos pruebas de hipótesis, de contracción y expansión independientemente, donde se pudo comprobar que:

- El suelo de tipo ML presenta cambio volumétrico al ser sometido a ensayos de laboratorio de tracción o compresión, cumpliendo así con la hipótesis alternativa planteada la cual fue deducida de la hipótesis de investigación.
- El suelo de tipo OL presenta cambio volumétrico al ser sometido a ensayos de laboratorio de tracción o compresión, cumpliendo así con la hipótesis alternativa planteada la cual fue deducida de la hipótesis de investigación.

4.5.2 Determinación de los errores medios y valor aceptado (expansión)

Para calcular la estadística inferencial, se utilizara los valores de las variables dependientes. Las medias de las medias, es decir:

Tabla N°22 : Media de la media de las tres variables dependientes.

N	(expansión)	($x_i - \bar{x}$) ²
CL	0.029	0.000007
ML	0.021	0.000004
OL	0.034	0.000041
m	0.028	0.000017

Fuente: Elaboración propia.

Error medio de serie de datos

$$E_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.000017}{3-1}}$$

$$E_{x_i} = 0.0029$$

Error probable

$$E_p = z * E_{\bar{x}}$$

$$E_p = 1.96 * 0.0017$$

$$E_p = 0.0033$$

Hipótesis del investigador

El tipo de suelo es una condición relevante para el cambio volumétrico de las propiedades de contracción y expansión.

Para la comprobación se requiere un parámetro patrón de especificación técnica, el cual es seleccionado considerando las características extremas, en este caso la arcilla más pura de sus tres suelos, la arcilla más pura es la de tipo CL.

$$\text{Media CL} = \mu$$

Hipótesis alternativa:

$$m \neq \mu$$

H₁= Existe cambio volumétrico en las muestras de los diferentes tipos de arcillas realizando los ensayos de tracción y contracción.

Hipótesis nula:

$$m = \mu$$

H₀= No existe cambio volumétrico en las muestras de los diferentes tipos de arcillas realizando los ensayos de tracción y contracción.

Nuestro nivel de significancia es:

$\alpha = 0.05$ (para proyectos de investigación).

Como las muestras son menores a 30, usaremos t-student.

$$n = 3$$

$$\bar{x} = 0.235$$

$$S = 0.000017$$

$$\mu = \bar{x} \pm t * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Error medio de la media

$$E_{\bar{x}} = \frac{E_{x_i}}{\sqrt{n}} = \frac{0.0029}{\sqrt{3}}$$

$$E_{\bar{x}} = 0.0017$$

Valor aceptado

$$x_a = \bar{x} \pm E_p$$

$$\text{Límite inferior } x_a = 0.024$$

$$\text{Límite superior } x_a = 0.031$$

Grados de libertad= $(n - 1) = (3 - 1) = 2$

$$\mu = 0.028 \pm 2.97 * \frac{0.000017}{\sqrt{3}}$$

$$\mu = 0.028 \pm 0.000029$$

$$\mathbf{0.027 \leq \mu \leq 0.029}$$

El valor de "μ" se encuentra dentro de la zona de aceptación generada por el límite superior e inferior del **valor aceptado**, garantizando el cumplimiento de la hipótesis alternativa, si existen cambios en las muestras de los diferentes tipos de arcillas

Estableciendo al tipo de suelo CL como parámetro de especificación técnica para la comprobación de la hipótesis nula o alternativa, se realizaron dos pruebas de hipótesis, de contracción y expansión independientemente, donde se pudo comprobar que:

- El suelo de tipo ML presenta cambio volumétrico al ser sometido a ensayos de laboratorio de tracción o compresión, cumpliendo así con la hipótesis alternativa planteada la cual fue deducida de la hipótesis de investigación.
- El suelo de tipo OL presenta cambio volumétrico al ser sometido a ensayos de laboratorio de tracción o compresión, cumpliendo así con la hipótesis alternativa planteada la cual fue deducida de la hipótesis de investigación.

4.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para poder analizar de una manera más confiable el cambio volumétrico de las arcillas inorgánicas, determinando su índice de compresión y expansión, se realizaron 15 ensayos para cada tipo de suelo, donde tenemos suelos de tipo CL-ML-OL.

Se puede interpretar mediante los resultados obtenidos de compresión y expansión (aplicando carga y descarga) para cada tipo de suelo, y sus respectivas comparaciones, tomando al suelo de tipo CL como parámetro de comparación, que:

Los suelos arcillosos de baja plasticidad son más confiables para realizar o efectuar fundaciones de sub rasantes para carreteras o zapatas para construcciones de edificaciones en comparación de los suelos de alta plasticidad; según los resultados de consolidación obtenidos y plasmados en la tabla, con resultados expuestos en la bibliografía utilizada..

Se puede observar y verificar que después de haber aplicado la carga en nuestro laboratorio, realizando cálculos en gabinete y mediante la comparación de resultados que los asentamientos son mayores en los suelos de alta plasticidad.

Se observa en las tablas de resultados expuestas en la bibliografía en el capítulo II, que el suelo menos confiable para realizar o efectuar el diseño de fundaciones es el suelo de que tiene un límite líquido mayor a 50%, sería un suelo de tipo OH, es un orgánico de alta plasticidad que en comparación a los restantes tipos de suelos estudiados en el laboratorio.

De igual manera se puede observar que el coeficiente de compresión C_c y C_s es menor en el tipo de suelo CL y mayor en el tipo de suelo OL; confirmando mediante esos valores lo ya mencionado anteriormente en el tercer párrafo, que el suelo que brinda una mayor garantía y seguridad para realizar una buena fundación es un suelo del tipo CL, y el peor suelo para efectuar una fundación es el suelo de tipo OL. Después de realizar el análisis y la clasificación de los resultados, se presenta a continuación algunas alternativas para prevenir, disminuir o eliminar el cambio volumétrico en las arcillas inorgánicas estudiadas y analizadas en el presente proyecto (CL-ML-OL), en las construcciones civiles:

- **Construcción de Carreteras**

Cuando se presentan estos tipos de arcillas inorgánicas analizadas en la construcción de una carretera, tomando en cuenta los resultados obtenidos mediante los ensayos de laboratorio, debemos aplicar inmediatamente alternativas para prevenir, disminuir o eliminar el cambio volumétrico:

- **Drenes de arena**

Los pozos drenantes o también llamados drenes de arena, este método consiste en realizar perforaciones a través de los estratos en los cuales se espera una consolidación significativa, y se rellena dichas perforaciones con un material de permeabilidad mayor a la del suelo en cuestión (arena), de manera que la consolidación deja de ser únicamente en sentido vertical, y pasa también a ser en sentido radial. Tiene por principal ventaja la reducción de la máxima distancia recorrida por el agua, que pasa de ser una función del espesor del estrato a ser función de la distancia entre dos pozos drenantes continuos.

Otra ventaja de este método es que por lo general la permeabilidad horizontal es mayor que la vertical, aumentando aún más la velocidad de consolidación y por ende su tiempo.

- **Sistema de drenaje vertical mediante Mechas Drenantes**

En la práctica, las mechas drenantes se utilizan en situaciones de consolidación en las que el suelo a tratar es de moderada a altamente compresible, con un coeficiente de permeabilidad bajo y totalmente saturado en su estado natural. Tales suelos son descritos típicamente como limos, arcillas, limos y arcillas orgánicas, turba y fangos.

Las mechas drenantes son geocompuestos que se instalan en forma vertical por hincas en terrenos cohesivos blandos y que tienen la propiedad de filtrar las partículas de suelo, drenando el agua y consiguiendo de esta manera la aceleración del proceso de consolidación para disminuir en forma significativa el tiempo de asentamientos de terraplenes sobre suelos blandos. En este proceso el suelo mejora sus propiedades de resistencia al corte también.

Si se comparan con los tradicionales Drenes Verticales de Arena, las Mechas Drenantes presentan importantes ventajas que seguidamente se enumeran:

1. Elevada capacidad de evacuación de agua.
2. Permeabilidad alta y conocida de antemano.
3. Se logra buena resistencia mecánica en el suelo tratado.
4. Mayor limpieza y rapidez o rendimiento en su realización.
5. Posibilidad de alcanzar grandes profundidades (hasta los 50 m.).

- **Cambio o mejoramiento del suelo con material aluvial**

En suelos de grano fino, plásticos y a veces con humedades excesivas que presentan dificultades en la expansibilidad y baja capacidad portante, se mejora el suelo mezclándolo con material granular o en cambiando todo el suelo por un material aluvial, de esta manera mejoramos la capacidad portante y evitamos los asentamientos por consolidación. Esta técnica es económica y se usa cuando no están justificados grandes gastos.

- **Construcción de edificios**

Cuando se presentan estos tipos de arcillas inorgánicas analizadas en la construcción de una carretera, tomando en cuenta los resultados obtenidos mediante los ensayos de laboratorio, debemos aplicar inmediatamente alternativas para prevenir, disminuir o eliminar el cambio volumétrico:

- **Aumentar en áreas de las zapatas hasta que el asentamiento este dentro del rango permitido de 1 plg. (25 mm)**

Para los asentamientos a 1.5 m

- Zapata 3.2 x.3.2m = 24.5mm < 25mm SI !

Para los asentamientos a 2.0m

- Zapata 3.0 x.3.0m = 24.2mm < 25mm SI !

Para los asentamientos a 2.5 m

- Zapata 2.8 x.2.8m = 23.6mm < 25mm SI !

Si el asentamiento máximo se encuentra debajo del rango de tolerancia permitido de asentamiento, todos los asentamientos estarán por debajo del rango.

- **Plateas o losas de cimentación**

Una losa de cimentación es una placa de hormigón apoyada sobre el terreno la cual reparte el peso y las cargas del edificio sobre toda la superficie de apoyo. Son ventajosas cuando el área de las zapatas es mayor que la mitad del área de cimentación, además que el esfuerzo unitario es menor que en las zapatas individuales.

Las losas son un tipo de cimentación superficial que tiene muy buen comportamiento en terrenos poco homogéneos que con otro tipo de cimentación podrían sufrir asentamientos. También en terrenos con muy poca capacidad portante.

- **Pilotes de cimentación**

Se denomina pilote a un elemento constructivo utilizado para cimentación de obras, que permite trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo, cuando este se encuentra a una profundidad tal que hace inviable, técnica o económicamente, una cimentación más convencional mediante zapatas o losas.

Tiene forma de columna colocada en vertical en el interior del terreno sobre la que se apoya el elemento que le trasmite las cargas (pilar, encepado, losa...) y que trasmite la carga al terreno por rozamiento del fuste con el terreno, apoyando la punta en capas más resistentes o por ambos métodos a la vez.

- **Inyección por consolidación (Compaction Grouting)**

Es una inyección por desplazamiento del suelo, sin penetración en absoluto. Una mezcla muy firme expande una cavidad originada por un taladro y a su vez densifica el suelo circundante. Se aplica a la restauración de la capacidad de carga en suelos sueltos o compresibles. La inyección por compactación ha sido utilizada en numerosos proyectos, para remediar la densificación de los suelos de la fundación antes de la construcción y para prevenir asentamientos, a través de suelos blandos, mediante la inyección de un mortero de suelo-cemento muy firme para desplazar y compactar el suelo. El control de la consistencia de la lechada es esencial para el éxito de las operaciones. Una mezcla de inyecciones por compactación puede asimilarse en su viscosidad a una pasta dentífrica, lo que requiere de bombas de baja velocidad y alta presión de inyección.

- **Cambio o mejoramiento del suelo con material aluvial**

En suelos de grano fino, plásticos y a veces con humedades excesivas que presentan dificultades en la expansibilidad y baja capacidad portante, se mejora el suelo mezclándolo con material granular o en cambiando todo el suelo por un material aluvial, de esta manera mejoramos la capacidad portante y evitamos los asentamientos por consolidación. Esta técnica es económica y se usa cuando no están justificados grandes gastos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se puede observar y verificar que una vez concluidos los ensayos de consolidación, aplicando el proceso de carga y descarga en las tres muestras de suelos estudiados (CL-ML-OL), existirá cambio volumétrico según las condiciones dadas que se explican en el Capítulo IV, por humedad natural del suelo, por límite líquido (LL) y límite plástico (LP); por lo que se deben establecer alternativas de prevención, las cuales se desglosarán mas adelante.
- La magnitud de los índices de compresión C_c e índices de expansión C_s se encuentran dentro de los rangos establecidos por la bibliografía y definidos en el presente trabajo en el Capítulo II.
- En el ensayo de consolidación, se realizó el procedimiento de carga y descarga, para poder dibujar la curva de compresión y expansión; de donde se pudo determinar aplicando la ecuación de la pendiente el índice de compresión con la curva de compresión y el índice de expansión con la curva de expansión.
- La densidad de los sólidos determinada en laboratorio para cada una de las muestras está entre los rangos que establece Braja M. Das, para las arcillas suelos arcillosos y limosos G_s varía entre 2.6 y 2.9 (*Fundamentos de Ingeniería Geotécnica” de Braja M. Das, pag.7*).
- La humedad natural varia en los diferentes tipos de suelos, debido al lugar de donde fueron extraídas las muestras y como fueron manipuladas.
- Todas las muestras estudiadas son distintas en su comportamiento en la consolidación, aplicando el proceso de carga y descarga (en lo que se refiere a índice de compresión y expansión) por lo cual si se hace un estudio de consolidación en un punto determinado, se sugiere utilizar los parámetros

estudiados que se encuentran en los rangos establecidos (*Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*” de Braja M. Das, pag.167).

- Si bien los índices de compresión y expansión son parecidos en algunos casos, ninguno son iguales.
- Son muchos los factores que influyen en el análisis del cambio volumétrico de las arcillas, cálculo de los índices de compresión y extracción, entre ellos tenemos la humedad, el peso, el tipo de suelo (LL-LP).
- El ensayo de consolidación también es útil para la determinación de asentamientos por consolidación, así como también para conocer todos los parámetros para el cálculo de este.
- Al emplear los equipos de consolidación que se encuentra en el laboratorio con las diferentes muestras, se puede observar que no existe diferencias considerables al momento de realizar una comparación de las lecturas obtenidas en el ensayo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Si se va edificar sobre arcillas con un grado de saturación considerable, se debe hacer el análisis de consolidación obligatoriamente, puesto que si existirán los asentamientos por la compresión o expansión que sufren los suelos.
- Para realizar los ensayos de consolidación se recomienda tratar de reducir al mínimo el tiempo de almacenaje de la muestra para que esta no sufra pérdidas de humedad, y este no altere el resultado final del cálculo del asentamiento por consolidación.
- Si se va llevar un terrón inalterado al laboratorio para hacer el análisis de consolidación, se sugiere tratar de que el terrón sea de un tamaño considerable ya que puede ser que se necesite en caso de que el primer intento de muestreo falle.

- El muestreo se lo debe realizar con mucho cuidado y paciencia para que la muestra no presente fisuras ni se rompa y esto influya en los resultados finales.
- Si se va hacer la excavación para la extracción de una muestra se debe volver a taparla, para no dañar la imagen del lugar de extracción.
- En el ensayo tener cuidado de no ocasionar deformaciones al suelo por el impacto, cuando se está realizando el cambio de presión (carga-descarga) cuya magnitud es el doble de la anterior carga.