

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

La palabra patología, etimológicamente procede de las raíces griegas, pathos y logos, y se podría definir en términos generales, como el estudio de las enfermedades. La patología constructiva de la edificación es la ciencia que estudia los problemás constructivos que aparecen en un edificio o en alguna de sus unidades con posterioridad a su ejecución.

De todos los posibles tipos de patología que puede sufrir una edificación, según estadísticas demuestran que son las patologías ligadas a las cimentaciones, las que mayores costes globales conllevan. Además, tienen gran repercusión social, lo que las hace más notorias por la complejidad propia de su reparación, porque suponen una fuerte alteración y hasta interrupción del uso del inmueble, y porque suelen involucrar a colindantes.

La mayor parte de los asentamientos humanos se encuentran sobre suelos compresibles y expansivos, sin embargo, los suelos expansivos no causan problemás, a menos que las estructuras que se construyen sobre ellos sean diseñadas inadecuadamente, sin considerar el posible movimiento del suelo, que generará asentamientos diferenciales de apoyos, provocando que la cimentación esté sometida a sollicitaciones ajenas al diseño, lo que puede alterar el aspecto de una estructura, provocando la aparición de grietas significativas, a menudo en las esquinas de las ventanas y puertas, o en los muros y losas que pueden causar daños estructurales, cuando no el colapso completo de la estructura, de difícil y costosa reparación, provocando trastornos a los usuarios, que ponen a veces en peligro sus vidas y bienes, llegándose en ocasiones al desalojo de inmueble y a su demolición. Se produce una pérdida completa del confort de la estructura, aunque el factor de seguridad contra la falla de la cimentación hubiera sido elevado.

### **1.2 Justificación**

La investigación busca realizar un estudio teórico para analizar la reacción del sistema de fundación frente al posible movimiento del suelo, así seleccionar un apropiado diseño de fundaciones que sea capaz de resistir estos movimientos de una manera aceptable, de

tal forma evitar la aparición de fisuras en estructuras por la inestabilidad volumétrica del suelo.

También se comparará resultados de los consolidómetros mecánico y digital para calcular la diferencia de resultados calculados que exista en cada equipo. El resultado de la investigación permitirá establecer soluciones estructurales para el diseño de fundaciones sobre suelos compresibles y expansivos.

Al asegurar que el sistema de fundación sea compatible con los movimientos del suelo, disminuirá la aparición de fisuras provocadas por los asentamientos diferenciales que afecta principalmente a estructuras pequeñas y esbeltas; así muchas de las pérdidas económicas que provocan la reparación compleja de grietas podrían ser evitadas.

### **1.3 Identificación del problema**

#### **1.3.1 situación problemática**

Las Fisuras en Estructuras sometidas a asentamientos diferenciales se producen por diferentes causas:

- Redistribución de esfuerzos que generan esfuerzos tangenciales en zonas susceptibles o frágiles.
- Elementos sub-Armados en los cuales debido a una redistribución de esfuerzos su armadura sea insuficiente para soportar momentos impuestos.
- Cambio de uso en la estructura sin considerar la capacidad estructural de la misma, lo que puede generar una mayor transmisión de carga a un elemento de la fundación mayor a la que fue calculada.
- Fallos en las cimentaciones producidas por un sismo
- Elementos flexibles (Vigas - columnas), que no son capaces de aportar a la rigidización de la estructura frente a los movimientos del suelo.
- La naturaleza geológica y geotecnia del suelo.
- Comparación de los resultados entre el consolidómetro mecánico y consolidómetro digital.

Muchas causas además de las mencionadas contribuyen a la aparición de fisuras, las mismás pueden incrementar su magnitud de difícil y costosa reparación, e incluso puede

provocar el colapso completo de la estructura ocasionando inseguridades a los usuarios, por esta razón es muy importante minimizar estos efectos a través del estudio de alternativas estructurales, para minimizar los efectos patológicos por los asentamientos diferenciales:

- Utilización de drenajes.
- Dimensionamiento de zapatas para igual asentamiento
- Estabilidad del suelo.
- Profundización de zapatas.
- Sistema de cimentación flexibles.
- Uso de un sistema de fundación rígida.

### **1.3.2 Problema**

En el planteamiento de este trabajo surge la siguiente pregunta como punto de partida de la investigación:

¿Qué diferencia tendrá el resultado en el consolidómetro mecánico con el consolidómetro digital de los asentamientos diferenciales en los suelos finos?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Contrastar los resultados obtenidos en el consolidómetro mecánico vs consolidómetro digital para ver la diferencia de asentamientos diferenciales, aplicado a suelos finos.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Observar el efecto que los suelos compresibles ocasionan en estructuras fundadas superficialmente, sin un buen análisis de deformaciones.
- Diseñar una demostración para realizar una cimentación técnica y económicamente viable, que se adapte a este tipo de comportamiento del suelo evitando que los movimientos de los apoyos dañen la integridad de la estructura y su estética.
- Difundir los diferentes métodos de solución al problema de las arcillas expansivas según el tipo de obra a ejecutar.

- Establecer un análisis de los resultados, sus conclusiones y recomendaciones sobre la utilización del Consolidómetro mecánico y el Consolidómetro digital en asentamientos diferenciales en suelos finos.

## **1.5 Hipótesis**

Si se evalúan alternativas estructurales para que la redistribución de esfuerzos adicionales generados por movimientos del suelo, no se transmita a la estructura de una manera dañina con la rigidización de la fundación o diseñando fundaciones compatibles para un mismo asentamiento, se minimizarán los daños patológicos a las estructuras apoyadas en suelos expansivos.

## **1.6 Variables independientes y dependientes**

- Variables independientes

Consolidación mecánica y consolidación digital

- Variables dependientes

Comparación de resultados obtenidos

## **1.7 Diseño Metodológico**

### **1.7.1 Componentes**

#### **1.7.1.1 Unidad**

#### **1.7.1.2 Población**

#### **1.7.1.3 Muestra**

#### **1.7.1.4 Muestreo**

### **1.7.2 Métodos y técnicas empleadas**

#### **1.7.2.1 El método de Investigación**

Las actividades desarrolladas dentro de esta investigación se dividen en tres partes fundamentales:

- Establecimiento de las cargas de una estructura tipo de vivienda unifamiliar de dos pisos.

- Extracción de muestras de suelos característicos de la zona y trabajo experimental mediante ejecución de pruebas de laboratorio con el fin de caracterizar geotécnicamente el suelo inalterado con ensayos de:
  - Clasificación y límites de consistencia
  - Ensayo de consolidación
  - Expansión
- Cálculo de los momentos inducidos por la aplicación de las deformaciones de expansión-contracción, que generan asentamientos diferenciales en los apoyos.

Estudio del confort de la estructura fundada con vigas de arriostramiento en estados límites últimos y cálculo de la armadura necesaria para minimizar la aparición de fisuras en elementos no estructurales, para obtener el diseño de una cimentación técnica y económicamente viable que se adapte a este tipo de comportamiento del suelo evitando que los movimientos de expansión dañen la integridad de la estructura y su estética.

### **1.7.2.2 Fuentes y técnicas para recolección de la información**

- Fuentes secundarias:

Se utilizara información secundaria mediante la información escrita por terceras personas que serán de utilidad para el desarrollo de la propuesta, esta es la bibliografía preliminar mencionada en la propuesta.

- Fuentes primarias:

Esta información primaria esta generada en función a los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y el procesamiento de los mismos que serán efectuados en el transcurso de la ejecución de la propuesta.

### **1.7.2.3 Tratamiento de la información**

Para el análisis del sistema de fundación superficial-rígido usando vigas de arriostre determinaremos las cargas tipo de una vivienda, y con los datos obtenido del potencial expansivo del suelo en laboratorio, procederemos a generar asientos impuestos en zapatas medianeras, centradas y de esquinas para luego calcular en estados límites de servicio el

aumento de los momentos debido al asentamiento de los apoyos y representarlos en forma porcentual para un posterior análisis en la verificación del confort de la estructura.

#### **1.7.2.4 Procedimiento de investigación**

Este trabajo de investigación sobre la comparación de los asentamientos diferenciales de los consolidómetros mecánico y digital siendo un estudio exploratorio, que busca minimizar la aparición de patologías causadas por estos asentamientos, haciendo énfasis que en el momento de diseñar los cimientos hay que adoptar las medidas estructurales que garanticen que esa hipótesis se cumpla o que la realidad se aproxima suficientemente a ella y que las inevitables diferencias de asientos sean admisibles y que sea más reducido el tiempo de realización del cálculo de consolidación, para realizar el análisis del incremento de estos momentos por los posibles asentamientos diferenciales en zapatas centradas, medianeras y de esquinas, verificando hasta que valor de asentamiento la rigidización impuesta por la viga de arriostre ayuda a distribuir estas solicitaciones de forma admisible, garantizando el confort y seguridad estructural, también se verá la parte geotécnica de los suelos arcillosos característicos de la ciudad de Tarija, la muestra será obtenida de la zona por donde será ejecutada la circunvalación II, se obtendrán sus propiedades físico-mecánicas en laboratorio para poder estimar las posibles cambios volumétricos que sufrirá el suelo con la expansión y contracción del mismo.

#### **1.7.3 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información**

➤ Análisis estadístico

Para la obtención de los cálculos que se requieren mostrar del estudio de la aplicación del Material Termoplástico, nos ayudamos de fórmulas estadísticas descriptivas como:

➤ Media aritmética

Que, en un conjunto finito de números, es el valor característico de una serie de datos cuantitativos que son objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, es decir: es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Valor de la media aritmética

$X_1, X_2, X_3$  = Valores de muestras obtenidas

N = Número de muestras

➤ Desviación estándar

También se utilizará la desviación estándar que es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución. De hecho, específicamente, el cuadrado de la desviación estándar es “el promedio del cuadrado de la distancia de cada punto respecto del promedio”.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

$x_i$  = Valor de cada muestra de observación

$\bar{x}$  = Valor de la media aritmética

n = Número de muestras

➤ La varianza

Es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. Formalmente se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones.

$$\text{Var}(X) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Donde:

X = Variable sobre la que se pretenden calcular la varianza

$x_i$  = Observación número i de la variable X. i puede tomará valores entre 1 y n

$n$  = Número de observaciones

$\bar{x}$  = Es la media de la variable  $X$

### **1.8 Alcance de proyecto**

Esta investigación es un estudio teórico-explicativo en el cual se aplicará los fundamentos de la mecánica de suelos y análisis estructural, para estimar el comportamiento del suelo y de la estructura después de un asentamiento de apoyos, y se verificarán las ventajas del diseño de cimentaciones con características especiales de rigidez, que impidan que los movimientos originados por la expansión y contracción del suelo se transmitan a la estructura de una manera dañina.

Se pretende disponer de medidas estructurales para que la estructura sea compatible con la expansión y contracción del suelo mediante la rigidización del sistema de fundación, de manera que se garantice que los movimientos de apoyos sean admisibles y no provoque fisuración en la estructura, así mismo se explicará que el diseño de las cimentaciones ha de ser tal que sus movimientos resulten aceptables por las estructuras, de esta forma evitar que se produzcan los asentamientos diferenciales.

Con toda la información obtenida se dará paso, análisis de todos los resultados para las respectivas conclusiones sobre la investigación en la comparación del Consolidómetro mecánico vs el consolidómetro digital, y se explicaran las recomendaciones respectivas en cuanto a su aplicación en fundaciones para su mejoramiento.

**CAPÍTULO II**

**ASPECTOS GENERALES SOBRE**

**ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES DE**

**LOS SUELOS FINOS Y EQUIPOS**

**CONSOLIDÓMETROS**

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GENERALES SOBRE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES DE LOS SUELOS FINOS Y EQUIPOS CONSOLIDÓMETROS

#### 2.1 Antecedentes históricos

Los asentamientos de las estructuras construidas sobre mantos de arcilla blanda, que algunas veces están enterrados profundamente, debajo de materiales más resistentes y menos compresibles, pueden producirse lentamente y alcanzar grandes magnitudes. Debido al retraso que existe entre el final de la construcción y la aparición de las grietas, el origen de estos asentamientos se consideraba misterioso. Los primeros intentos exitosos para explicar el fenómeno sobre una base científica fueron realizados por Terzaghi en 1919.

Los estudios de Terzaghi se referían a la magnitud y velocidad del asentamiento originado en un manto de arcilla, al que se le impedía moverse lateralmente y con posibilidades de expulsar el agua hacia arriba o hacia abajo cuando las partículas tendían a juntarse. En muchos casos, estas condiciones aparecen en la práctica. Por esta razón, y porque la compresión de los fenómenos es básica para la solución de problemás prácticos más complicados, el estudio del comportamiento de los diferentes suelos cuando se sujetan a esfuerzos, está precedido por un estudio de la consolidación unidimensional de las arcillas saturadas.

La deformación de la mayoría de los suelos, aun bajo cargas pequeñas, es mucho mayor que la de los materiales estructurales; además, esa deformación no se produce, usualmente, en forma simultánea a la aplicación de la carga, sino que se desarrolla en el transcurso del tiempo. En algunos problemás, particularmente en el asentamiento de edificios construidos sobre arcilla, la deformación, debida a cambios volumétricos en los estratos del suelo subyacente, es mucho más importante que la deformación debida a cambio de forma. La expansión o deformación sólo por cambios de volumen es el proceso, por el que una mása de suelo cambia de volumen, manteniendo su forma; todo sucede como si estuviese cambiando la escala del espacio tridimensional. Los procesos reales de deformación pueden siempre descomponerse en dos facetas; una componente volumétrica de la deformación y otra desviadora; el proceso real puede así considerarse siempre como

una adición de ambas componentes. El efecto más importante del desfase hidrodinámico es el asentamiento diferido de las estructuras; es decir, que el asentamiento continúa durante varios años después de construirse la estructura. El criterio básico para el proyecto de una cimentación es que el asentamiento no deba superar un cierto valor admisible. Con objeto de asegurar que se cumpla este criterio básico, el ingeniero debe hacer dos consideraciones:

En primer lugar, para cualquier cimentación existe un cierto valor de la presión aplicada, para la cual los asentamientos comienzan a ser muy grandes y difíciles de calcular. Dicho valor se denomina capacidad de carga o capacidad portante.

La cimentación debe proyectarse de manera que la presión real aplicada sea inferior a la capacidad de carga, con un margen de seguridad suficiente, para cubrir las incertidumbres en la estimación de las presiones sobre el terreno y de la propia capacidad de carga.

Todos los materiales que se emplean y los suelos que se encuentran en la construcción ordinaria son, en cierto grado, comprensibles bajo la gama de esfuerzos, que inducen casi todas las estructuras. El grado de asentamiento que tolera con seguridad una estructura está en función de la uniformidad de los movimientos, la velocidad de asentamiento y el momento que este ocurre, respecto a la secuencia de construcción, aunque no es posible olvidar tampoco la vulnerabilidad de la estructura, que depende del espaciamiento de las columnas, el tipo de construcción y la distancia entre las juntas de expansión.

## **2.2 Definición de asentamiento**

En el ámbito de la ingeniería civil existe el concepto de asentamientos en suelos, el cual se puede definir como la compresión de mása o bien la deformación vertical del terreno. Este fenómeno puede tener lugar tanto hacia arriba como hacia abajo, y se encuentra formado por las siguientes tres componentes:

### **2.2.1 Asentamiento inmediato**

Ocurre como consecuencia de la deformación elástica del suelo. Este tipo de asentamiento puede llevarse a cabo en suelos secos, húmedos o saturados, sin que esto afecte la humedad del resultado final. Los suelos más adecuados para la observación de este cambio son los granulares, y se apoya en los fundamentos de la teoría de la elasticidad, según la cual los

sólidos elásticos lineales sufren deformaciones y desplazamientos también lineales si son sometidos a pequeñas deformaciones.

### **2.2.2 Asentamiento por consolidación**

Se trata del cambio de volumen que se da en suelos cohesivos saturados como resultado de que expulsan el agua contenida en sus poros. Los dos tipos de suelo que abarca dicho grupo son los arcillosos y los arcillosos saturados, con grava fina, y uno de sus factores más importantes es la permeabilidad, la cual debe ser baja. El asentamiento por consolidación es una deformación que depende del tiempo.

### **2.2.3 Asentamiento por compresión secundaria**

Tiene lugar como resultado del ajuste de la estructura del terreno, y seguidamente no hay compresión de poros ni esfuerzo. En su nombre aparece la palabra secundaria para hacer referencia a que esta compresión ocurre luego de una deformación, la cual implica un esfuerzo efectivo constante sin modificación en la cantidad de agua en los poros. Esta clase de asentamiento también es dependiente del tiempo.<sup>1</sup>

## **2.3 Causas de los asentamientos**

La relación entre el movimiento del suelo y la estabilidad de las estructuras asociadas a éste es bastante compleja. Primero, existen diferentes mecanismos que pueden producir movimientos en el suelo y, además, hay muchos tipos de estructuras, cada una con un diferente potencial para resistir el movimiento o ser afectada por el mismo. Algunos edificios, como las construcciones de ladrillo y mampostería, son sumamente frágiles y pueden sufrir agrietamientos e incluso daños estructurales, a consecuencia de desplazamientos pequeños de los cimientos. Otras pueden construirse para resistir movimientos de magnitud considerable sin sufrir un daño real. Es importante estar consciente de que las condiciones de un suelo pueden cambiar, algunas veces en alto grado, desde antes de la construcción, durante e incluso después de ésta. La predicción de tales cambios representa la tarea más difícil para el proyectista.

La mayor parte de los daños en edificios, que ocurren debido a movimientos de los cimientos, se debe a la aparición repentina de condiciones no previstas del suelo. Existen

---

<sup>1</sup> (Pérez Porto & Gardey, 2017)

métodos por medio de los cuales se puede estimar el grado y ritmo del asentamiento de los cimientos, debido a ciertos mecanismos. Estas estimaciones resultan bastante confiables, siempre y cuando las condiciones del suelo que se supusieron para el cálculo: (a) sean una representación razonable de las condiciones reales, y (b) tengan probabilidad de persistir a lo largo del periodo de vida del edificio.

Resulta útil iniciar cualquier estudio de asentamiento, considerando con brevedad varios mecanismos de movimientos del suelo, que son causas potenciales de asentamiento. La mayor parte del daño por asentamiento se puede clasificar como arquitectónico y estará confinado a los recubrimientos y acabados. La mayor parte del asentamiento inmediato se tiene durante la construcción, a medida que se impone la carga muerta y los daños posteriores se reducirán, por lo tanto, al mínimo si se demora la aplicación de los acabados, hasta que actúe toda la carga muerta.

Varias fuentes sugieren lineamientos acerca de valores límite, pero parece que se pueden aceptar los siguientes límites rutinarios.

**Tabla 2.1. Valores límites de asentamientos**

Arenas	Asentamiento total máximo	= 40 mm para zapatas aisladas
	Asentamiento diferencial máximo	= 40 – 65 mm para losas
		= 25 mm entre columnas adyacentes
Arcillas	Asentamiento total máximo	= 65 mm para zapatas aisladas
		= 65 – 100 mm para losas
	Asentamiento diferencial máximo	= 40 mm entre columnas adyacentes

Fuente: Frontier in geotechnical engineering (2005)

#### 2.4 Asentamiento diferencial

Los asentamientos diferenciales producen efectos estructurales adversos en losas, originando fisuras localizadas alrededor de las columnas. En general, los asentamientos que provocan perjuicios o daños son aquellos que generan hundimiento diferenciales de los distintos componentes de la edificación, y que se presentan después de terminar la obra. Si los demás factores permanecen iguales, la tolerancia de asentamiento diferencial

disminuye conforme se reduce el espaciamiento de las columnas. Típicamente, las estructuras de concreto fundidas en su sitio son más vulnerables a esos movimientos, que las edificaciones de acero. Cuando se quiere hacer el cálculo de los asentamientos de cimentaciones, es necesario conocer la distribución de los esfuerzos dentro de los estratos del suelo y sus respectivos grados de compresibilidad. En la mayor parte de los casos, los esfuerzos se calculan con el método de bulbo de presión, sea con la técnica de Boussinesq o con la de Westergaard.

Cuando los depósitos son muy gruesos, conviene usar la técnica de distribución de Boussinesq; cuando los suelos tienen estratos delgados, es mejor el método de Westergaard. El asentamiento diferencial puede producirse por presiones uniformes que actúan sobre un suelo heterogéneo; presiones diferentes sobre el terreno o, condiciones del terreno heterogéneas.

El asentamiento diferencial es la diferencia entre el asentamiento máximo y el mínimo.

## **2.5 Asentamiento admisible**

El asentamiento admisible, que una estructura pueda tolerar, depende de muchos factores incluyendo el tipo, forma, situación y finalidad de la estructura, así como la forma, velocidad, causa y origen del asentamiento. Pudiera parecer que el ingeniero que proyecta una cimentación debería de considerar el asentamiento admisible especificado por el proyectista de la estructura; sin embargo, raramente es el caso y el ingeniero de cimentaciones se encuentra frecuentemente entre el ingeniero estructural, que no desea el menor asentamiento y además el cliente quiere una cimentación económica.

Pocos edificios de concreto pueden soportar un asentamiento diferencial entre columnas adyacentes de más de 2 cm, sin mostrar algunos signos de daño. Una estructura de acero puede soportar algo más y una de mampostería reforzada puede soportar 2.5 cm, sin mostrar daño serio, ya que el costo de una cimentación influye mucho la magnitud de los asentamientos diferenciales, que se consideran tolerables; el ingeniero no debe subestimar el asentamiento que su estructura puede soportar.

El asentamiento puede tener importancia por tres razones, incluso aunque la falla no sea inminente, aspecto, condiciones de servicio y daños de la estructura. Los asentamientos puede alterar el aspecto de una estructura, provocando grietas en los muros exteriores, y

en los revoques de las paredes interiores. También pueden dar lugar a que una estructura se incline lo suficiente para que pueda apreciarse a simple vista su inclinación. El asentamiento puede interferir con el servicio de una estructura en diversas formas, por ejemplo, las grúas y otros tipos de maquinaria pueden dejar de funcionar correctamente; las bombas, compresores, etc, pueden desajustarse. El asentamiento puede producir el fallo estructural de un edificio y su colapso, incluso aunque el factor de seguridad contra la falla por corte de la cimentación sea elevado.

**Tabla 2.2. Asentamiento total admisible**

Tipo de estructura	Valores de asentamiento total admisible ( $\delta$ )	
	(in)	(mm)
Edificios de oficinas	0,5 – 2,0	12 – 50
Estructuras industriales pesadas	1,0 – 3,0	25 – 75
Puentes	2,0	50

Fuente: Coduto, 2011

## 2.6 Asentamiento total

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.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> (Das)

Para verificar si la estructura sufre asentamientos, debe observarse detenidamente, las aceras y pisos donde principalmente aparecen índices que muestran tales efectos. Se nota rápidamente que no existen cambios volumétricos en aceras o pisos colindantes a los cimientos de la estructura; es la razón fundamental para desechar la posibilidad de que la estructura padece de asentamientos diferenciales.

## 2.7 Consolidómetro mecánico

Llamado también edómetro u odómetro; instrumento utilizado en el laboratorio para evaluar las características de compresibilidad, consolidación y de potencial de expansión del suelo.

Consiste en un anillo de bronce en el que se coloca la muestra de suelo y un conjunto de mecanismos de aplicación y medición de carga, y de medición de las deformaciones resultantes.<sup>3</sup>

Figura 2.1. Consolidómetro Mecánico



Fuente: (Consolidometro , 2020)

## 2.8 Consolidómetro digital

El ACE EmS es un equipo para ensayos de consolidación en muestras de suelo, automático y versátil. El equipo hace uso de la tecnología de servo-actuación electromecánica (EmS), la cual precisa bajo mantenimiento, es altamente eficiente y

---

<sup>3</sup> (Consolidometro , 2020)

respetuosa con el medio ambiente. Silencioso, compacto y potente, el ACE EmS puede ser operado vía software, desde el que puede controlar hasta a 60 dispositivos, permitiéndole la ampliación de su laboratorio de una manera gradual y sencilla.

Con el edometro podemos realizar pruebas con bastantes presiones simulando las cargas de cualquier estructura desde una vivienda simple hasta edificios de departamentos de varios pisos, tambien se puede utilizar en estructuras como puentes.

Con este dispositivo tambien se puede realizar la prueba de compresion no confinada para determinar la fractura del tipo de suelo.

Según la programación que demos donde podemos programar diferentes presiones desde 5kPa hasta 3500kPa como máximo según el producto.

Figura 2.2. Consolidómetro digital



Fuente: (EmS, s.f.)

Dentro sus características tenemos:

### **2.8.1 Ahorre tiempo y asegure la precisión y repetibilidad del ensayo**

El consolidómetro automático ACE EmS puede realizar el ensayo completo de manera totalmente automática seleccionando únicamente la carga (tensión). De tal manera que obtendrá de manera práctica y precisa unos resultados fiables sin la necesidad de intervenir manualmente durante el ensayo, eliminando así el posible error humano.

### **2.8.2 Respetuoso con el medio ambiente y silencioso**

Equipado con la nueva tecnología de servoactuación electromecánica (EmS), no necesita pesos muertos o ruidosos y voluminosos compresores de aire, reduciendo así los niveles de ruido en su laboratorio.

### **2.8.3 Preparado para el futuro – modular y ampliable**

Conecte hasta 60 dispositivos vía LAN desde el software para PC, lo que le permitirá ampliar su laboratorio cuando lo necesite – resultando en un excelente retorno de su inversión.

### **2.8.4 Claridad en los resultados**

Los resultados del ensayo son guardados y mostrados en el display en tiempo real, acelerando la adquisición del dato.

Los resultados se procesan con nuestras intuitivas plantillas, creadas por expertos de acuerdo a las normás internacionales y que le permitirán concentrarse únicamente en el análisis de sus materiales, no en la programación de su equipo de ensayo.

### **2.8.5 Bajo mantenimiento y fácil instalación**

Con la tecnología de servo-actuación electromecánica (EmS) monofase y de mínimo mantenimiento.

### **2.8.6 Alto rendimiento**

Alto rendimiento con capacidades de hasta 20 kN, equivalente a 10,000 kPa sobre celdas de consolidación de 50.47mm.<sup>4</sup>

### **2.9 Ensayo de consolidación en laboratorio**

El procedimiento de prueba de la consolidación unidimensional fue primero sugerido por Terzaghi (1925), la cual en un Consolidómetro (llamado a veces edómetro). 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 63.5 mm de diámetro y 25.4 mm 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 24 horas. Después se duplica la presión sobre el espécimen y se continúa la medición de la compresión. Al final se determina el peso seco del espécimen de la prueba.

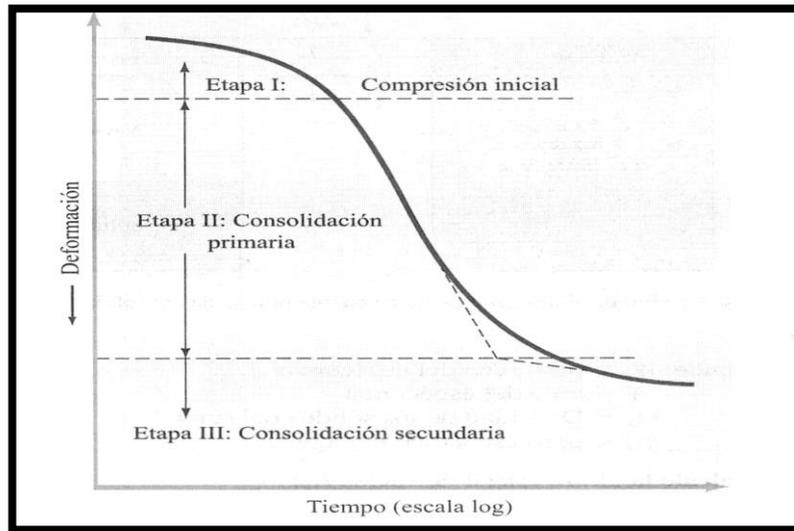
La forma general de la gráfica de deformación del espécimen versus tiempo para un incremento dado de carga se muestra en la gráfica 9. En la gráfica se observan tres etapas distintas, que se describen como sigue:

- 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.

---

<sup>4</sup> (EmS, s.f.)

**Gráfico 2.1. Tiempo-deformación durante la consolidación.**



Fuente: Frontier in geotechnical engineering (2005)

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:

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

Dónde:

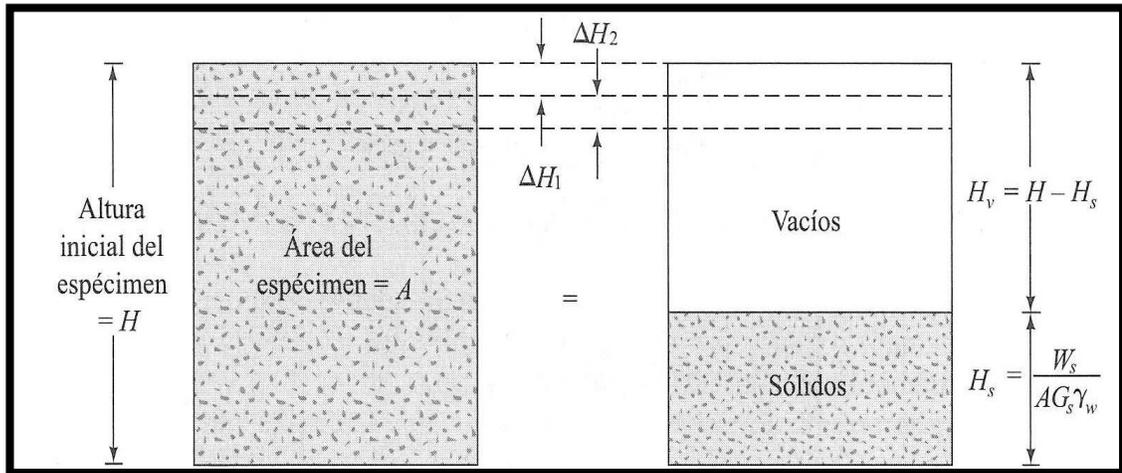
$W_s$ = Peso seco del espécimen

$A$ = Área del espécimen

$G_s$ = Densidad de los sólidos del suelo

$\gamma_w$ = Peso específico del agua

Figura 2.3. Cambio de altura del espécimen en una prueba de consolidación unidimensional.



Fuente: (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  $\sigma_1$  (carga total/área unitaria del espécimen) que causa la deformación  $\Delta H_1$ , calcule el cambio en la relación de vacíos  $\Delta e_1$ :

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

$\Delta H_1$  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  $\sigma_1$ :

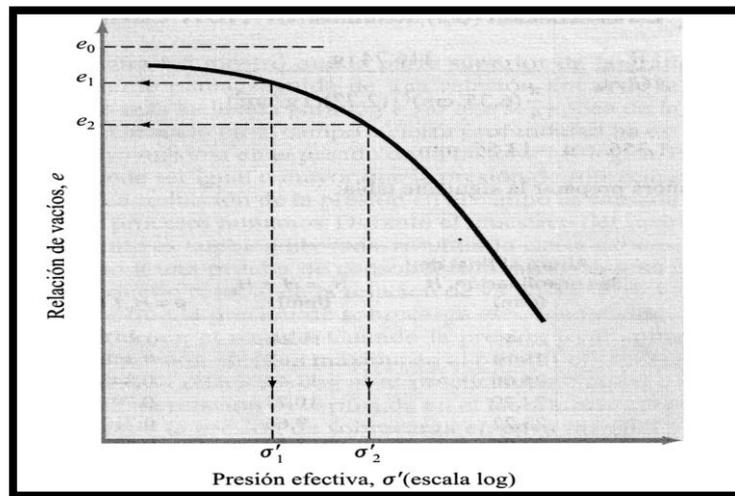
$$e_1 = e_0 - \Delta e_1$$

Para la siguiente carga  $\sigma_2$  (nota:  $\sigma_2$  es igual a la carga acumulada por área unitaria del espécimen), que causa la deformación adicional  $\Delta H_2$ , 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  $\sigma' = \sigma_2 = \sigma'_2$

**Gráfico 2.4. Gráfica típica de e versus log  $\sigma'$**



Fuente: Frontier in geotechnical engineering (2005)

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 Gráficas sobre papel de Gráfica semilogarítmica. La forma típica de tal Gráfica se muestra en la gráfica 2.<sup>5</sup>

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

- El coeficiente de consolidación (cv), 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).

<sup>5</sup> (Das)

- La determinación del índice de expansión es importante en la estimación del asentamiento por consolidación de las arcillas sobreconsolidadas
- El índice de compresibilidad ( $C_c$ ), es la pendiente de la porción recta de la curva.
- La presión de preconsolidación ( $P_c$ ), 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 sobreconsolidados (o preconsolidados). Si la presión actual efectiva de sobrecarga es igual a la presión de preconsolidación, el suelo esta normalmente consolidado.<sup>6</sup>

## **2.10 Posibles soluciones a asentamientos diferenciales**

Ante la posibilidad de asientos diferenciales existen muchas soluciones que evitan la aparición de fisuras:

### **2.10.1 Estabilización de suelos**

Es una medida preventiva valida a través de la cual se añade al suelo componentes tales como, cal, cenizas volantes, bituminosos. Se busca mejorar las características específicas del terreno tales como la resistencia, durabilidad o manejabilidad, aumentar la impermeabilidad o reducir cambios volumétricos. El cemento pórtland es el aditivo más utilizado para aumentar la resistencia o la durabilidad, se aplica en proporciones del 2-4 % en peso seco en suelos granulares y del 10-15% para suelos cohesivos, sin embargo, las dificultades de mezcla y la gran cantidad de cemento limitan su uso. El agregado de sílice, aluminio y álcalis de las cenizas volantes permite rebajar las adiciones de cemento. También se aplican conjuntamente con cal ya que reaccionan con el hidróxido cálcico formando compuestos cementantes. La cal apagada mejora la resistencia, la manejabilidad y reduce cambios volumétricos en las arcillas. Las proporciones de adición oscilan entre 2-8% de suelo seco. El agregado de productos bituminosos es más costoso y difícil de mezclar, se utiliza solo para conseguir una capa cohesiva e impermeable sobre terrenos granulares y evitar la pérdida de resistencia al aumentar la humedad en suelos arcillosos.

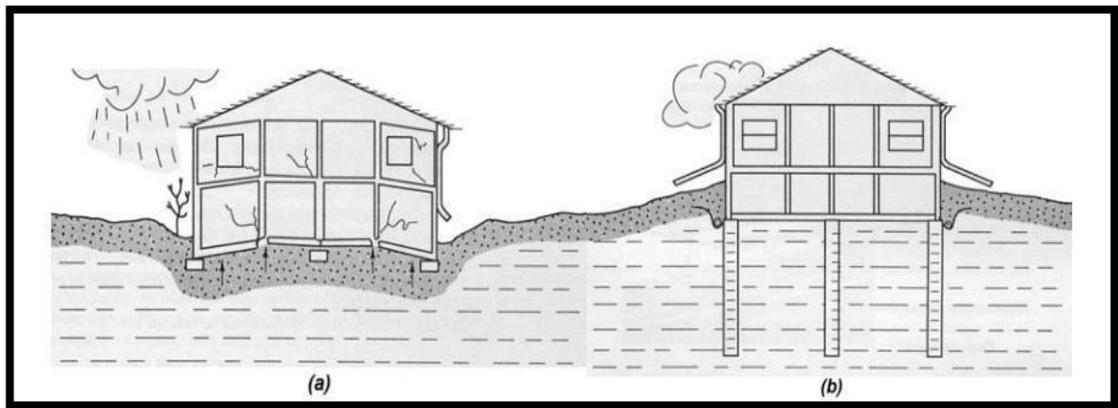
---

<sup>6</sup> (Muelas Rodriguez)

### 2.10.2 Utilización de drenajes

Es frecuente no pensar en la solución del drenaje para consolidar un terreno, pero un buen drenaje puede ser más efectivo que muchas otras actuaciones que hagamos en el terreno. Ya sea por escorrentías o por el nivel freático, la saturación del terreno con agua disminuye la capacidad portante de éste. Una medida a tomar puede ser la creación de un recinto estanco entorno al edificio o un sellado del terreno para reducir las afluencias o filtraciones de agua.

Figura 2.5. Detalles de la superficie de drenaje (a) drenaje deficiente (suelo húmedo expandido) (b) drenaje eficiente (suelo seco estable).



Fuente: Braja m. das 2015

### 2.10.3 Dimensionamiento de zapatas para igual asentamiento

Cuando proyectamos una cimentación, sobre arcilla es común llevarla a cabo mediante el concepto de iguales presiones de contacto, sin pensar que ello puede o no conducir a que la cimentación presente fuertes asentamientos diferenciales. Por ello, conviene diseñar, proyectar y construir las cimentaciones formadas por zapatas aisladas, mediante el procedimiento de “asentamientos iguales” y no por el de “presiones iguales”. Sin embargo existen muchas variables a considerar como el cálculo de la consolidación, lo que limita su aplicación práctica y efectiva.

### 2.10.4 Profundización de zapatas

Cuando se trata con suelos poco expansivos, generalmente con presiones de expansión menores a 25 t/m<sup>2</sup>, usualmente basta con aplicar un sistema de cimentación a base de

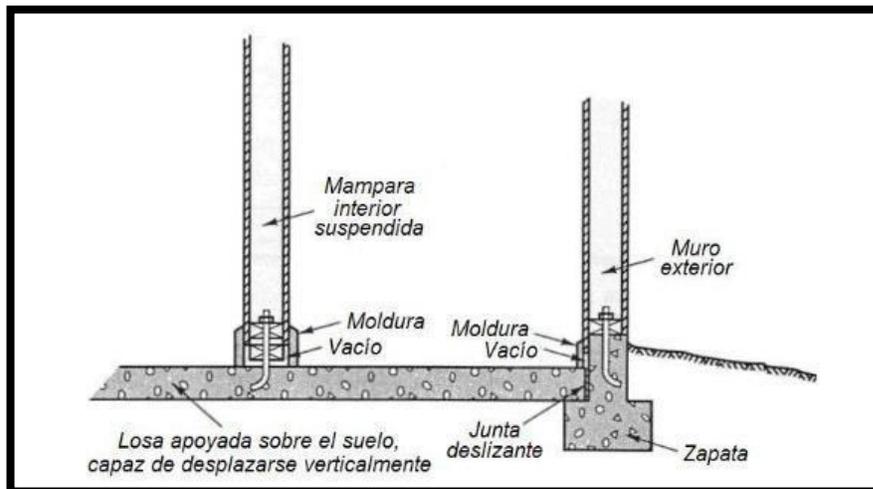
zapatas aisladas ligeramente profundizadas (tal vez de 0.5 a 1.0 metro por debajo del nivel normal de desplante), debido a los requerimientos tan bajos de sobrecarga necesarios para limitar el cambio de volumen del suelo.

### 2.10.5 Sistemás de cimentación flexibles

Este método de diseño consiste en la creación de cimentaciones a base de unidades rígidas unidas de manera flexible. En ellas, se espera que la instalación de juntas flexibles evite el desarrollo de grietas en las estructuras. Una manera de incrementar la flexibilidad de las estructuras es mediante el uso de losas flotantes, las cuales permiten el desarrollo de movimientos en el suelo, encontrando su principal aplicación cuando no se planea el uso de tratamientos de estabilización en ellos.

En general, estas consisten en losas de piso separadas de la cimentación, provistas con juntas deslizantes que las hacen estar en estado libre.

Figura 2.6. Losa flotante y detalles de diseño relacionados



Fuente: Braja m. das

En el esquema de la figura anterior se puede observar que es preferible colocar la abertura de los muros en su parte inferior (pegado al piso), que en su parte superior (pegada al techo), ya que esta puede ser ocultada fácilmente mediante la colocación de una moldura flexible.

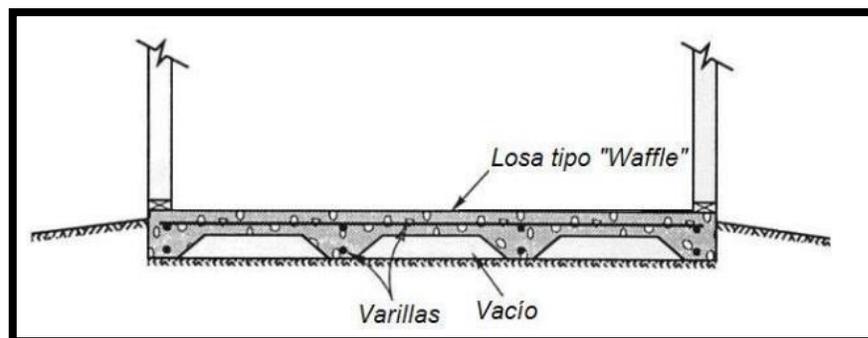
Si bien los sistemas de losas flotantes resultan muy útiles, cualquier construcción que descansa sobre ellas debe ser capaz de desplazarse a su mismo ritmo. Por tanto, en el diseño se debe especificar que las conexiones de agua y drenaje deben ser flexibles, además que las escaleras deben encontrarse ligadas a muros y techos, y no a las losas, en un intento por prevenir que se levanten y afecte a la estructura. Debido a esto, las losas flotantes son más utilizadas en estacionamientos y sótanos, ya que en ellos es más fácil implementar estos detalles de diseño.

### 2.10.6 Rigidización del sistema de fundación

Previene la construcción de cimentaciones tan rígidas y fuertes, que son capaces de moverse como una unidad. En ellas, la expansión diferencial solo causa una inclinación (sin distorsión) de las estructuras. En general, la alternativa más común de estos sistemas es el uso de losas reforzadas convencionales, las cuales pueden presentar una alternativa al reforzamiento a través del uso de losas pretensadas o pos tensadas.

Cabe destacar que cuando se planea construir sobre suelos expansivos, es preferible hacer uso de las losas llamadas de tipo “waffle”, las cuales son coladas sobre cimbras colapsibles de cartón a fin de darle oportunidad al suelo bajo ellas de expandirse. Kantey (1980) ha obtenido éxitos rutinarios en Sudáfrica mediante su aplicación a edificios de tabique, los cuales se han llegado a comportar adecuadamente incluso después de experimentar expansiones totales superiores a los 25 cm.

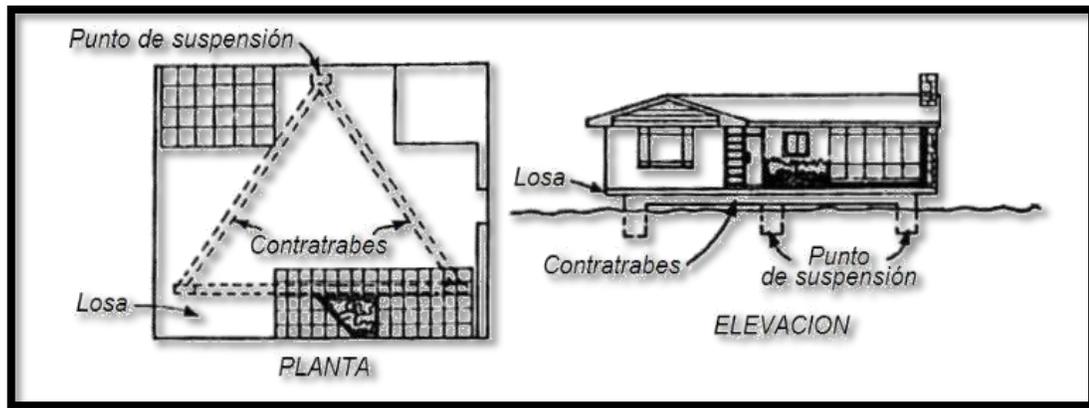
Figura 2.7. Losa de cimentación reforzada tipo “waffle”.



Fuente: Braja m. das

Otra opción que ha demostrado tener éxito (incluso ante expansiones totales de hasta 25 cm), ha sido el uso de plataformas de concreto apoyadas sobre tres puntos de suspensión.

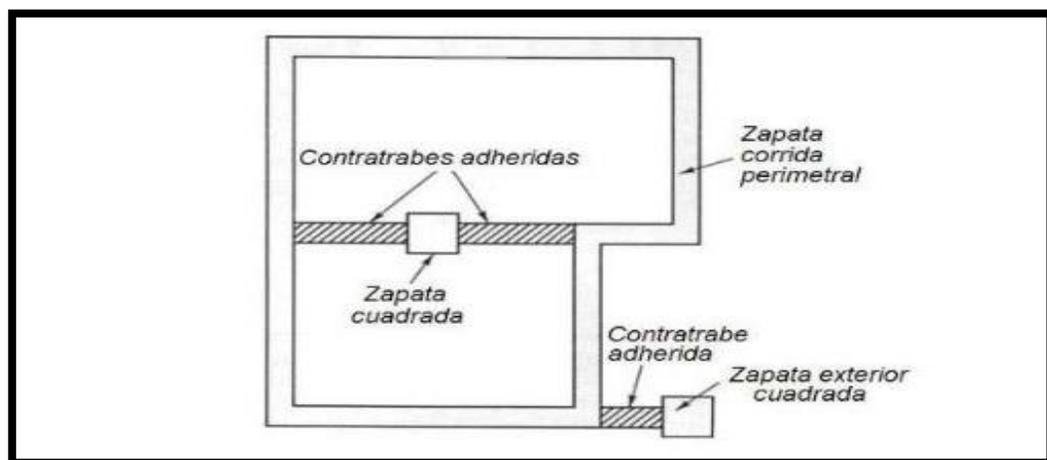
Figura 2.8. Casa construida sobre una plataforma rígida. esta tiende a inclinarse cuando el suelo se expande



Fuente: Das

Ahora bien, cuando se trata de construir sobre suelos compresibles, se puede hacer uso de zapatas corridas, zapatas aisladas con vigas de arriostre que mejoren la rigidez de los sistemas de cimentación aislados, lo cual ayudará a extender las expansiones diferenciales sobre una mayor distancia.

Figura 2.9. Uso de zapatas corridas y aisladas con vigas de arriostre (contratrabe) para mejorar la rigidez de un sistema de cimentación aislado



Fuente: Braja m. das

**CAPÍTULO III**

**CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA**

**INFORMACIÓN**

## **CAPÍTULO III**

### **CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.1. Criterios del estudio del suelo**

##### **3.1.1. Unidad de estudio o muestra**

Se realizaron los ensayos para identificar el tipo de suelo y sobre unas muestras de suelos inalteradas donde se realizaron las pruebas de consolidación mediante los dos tipos de Consolidómetros (odómetros) mecánico y digital que tiene nuestra carrera en su laboratorio de suelos.

##### **3.1.2. Población**

La población de estudio en esta investigación está constituida por los ensayos que se realizara en laboratorio de suelos para determinar el tipo de suelo, su granulometría, los límites de Atterberg, contenido de humedad, densidad absoluta y peso específico, hidrómetro para corroborar el tipo de suelo cuando se realizó la granulometría y al final la realización de la consolidación del suelo mediante el Consolidómetro mecánico y digital.

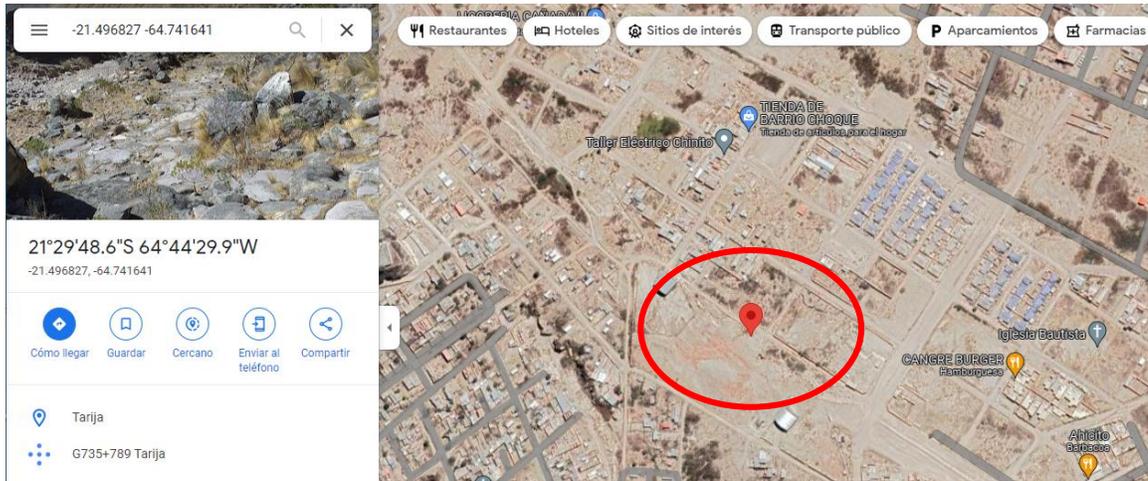
##### **3.1.3. Muestra**

Considerando que se quiere analizar y comparar los asentamientos diferenciales que sufre el suelo de las muestras a partir de los ensayos de Consolidación mediante los dos aparatos que son el Consolidómetro mecánico y digital.

La muestra del suelo se extrajo donde será construido la nueva circunvalación II pasando el barrio los chapacos, tarijeños en progreso antes de la urbanización los ángeles.

En las coordenadas -21,496827, -64,741641; UTM 21°29'48,6"S y 64°44'29,9"W

Fig. 3.1. Ubicación del suelo para el estudio



Fuente: Google Maps

## 3.2. Descripción de los ensayos de laboratorio

### 3.2.1. Ensayo de contenido de humedad

Una vez recogido el material requerido para realizar esta práctica se procedió primeramente a pesar todas las taras, una vez pesada las taras:  $T1=?$ ,  $T2=?$ ,  $T3=?$ .

Prosiguiendo con la práctica se procedió a la separación de la muestra utilizando como separador el tamiz N° 200 donde al tamizar el retenido del tamizado son algunos grumos que no han sido por un completo desmenuzados antes de tamizar, lo que nos interesa en esta práctica lo que nos interesa es lo que pasa del tamiz N° 200 para realizar nuestro ensayo de consistencia de humedad.

Una vez terminado el tamizado del suelo, hasta lograr un peso de 400 gramos aproximadamente de limo que pasa el tamiz N° 200, sucesivamente de los 400 gramos aproximados de limo separamos tres muestritas en pesos parecidos entre 91 y 93 gramos, de la misma muestra, y el restante o lo que sobra se guardó para realizar otra práctica.

Estando lista ya las tres muestras de suelo procedimos a pesar las taras en la balanza mecánica de precisión de 0.01gramos con las muestras del suelo con su respectiva humedad.

Se las coloca dentro de un horno de temperatura que alcanza a unos (105°C -110°C), por un tiempo de 24 horas como mínimo.

Transcurridas las 24 horas o más se las extrae las muestras completamente secas de humedad y se las realiza un nuevo pesado en la misma balanza, aquí termina el procedimiento en laboratorio.

Figura 3.2. Muestra Tamizada para el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.3. Muestras en sus respectivas taras



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.1. Ensayo de contenido de humedad**

Cápsula		1 (P8-8)	2 (P8-5)	3 (8P-III)
Peso de suelo húmedo + Cápsula		91,76	91,96	92,39
Peso de suelo seco + Cápsula		86,3	85,6	86,5
Peso de cápsula		12,71	12,83	12,46
Peso de suelo seco		73,59	72,77	74,04
Peso del agua		5,46	6,36	5,89
Contenido de humedad		7,42	8,74	7,96
Pomedio		8,04		
Clasificación del suelo		Descripción		
SUCS:	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad por poca presencia de limo.		
AASHTO:	A-4 (8)			

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Límites de atterberg

#### 3.3.1. Límite líquido

Del suelo recogido en la anterior práctica se toma una muestra de unos 100 grs. de la porción que pasa el tamiz N° 40.

Se calibra el aparato de A. Casagrande exactamente a la altura de 1 cm.

Colocamos la muestra en la escudilla de porcelana, añadimos agua y removimos con la espátula hasta conseguir una pasta de consistencia uniforme, luego tomamos una porción de esta mása y la colocamos en el platillo de bronce del aparato de A. Casagrande, esparciéndola y nivelándola uniformemente.

Posteriormente, con la ayuda del ranurador, se dividió la muestra en el platillo con un corte firme, de arriba hacia abajo, de tal manera que se forme un canal uniforme en forma de V.

Con la muestra preparada y cortada en el plato de bronce, este se golpea con la ayuda del manubrio a una velocidad de dos golpes por segundo (2 golpes/segundo), hasta que la muestra se una en la base en una longitud de 1 cm. Y se registra el número de golpes que han sido necesarios.

Finalmente tomamos una porción de la muestra del centro del platillo de bronce y la colocamos en una tara que fue pesada y colocada en el horno durante 24 hrs. Al cabo de este tiempo nuevamente pesamos la tara con la muestra esta vez seca.

Las operaciones anteriores se realizaron 4 veces, para muestras con distinta humedad, obteniéndose variadas cantidades de golpes en cada caso.

Figura 3.4. Equipo de casa grande para ensayo de límite líquido



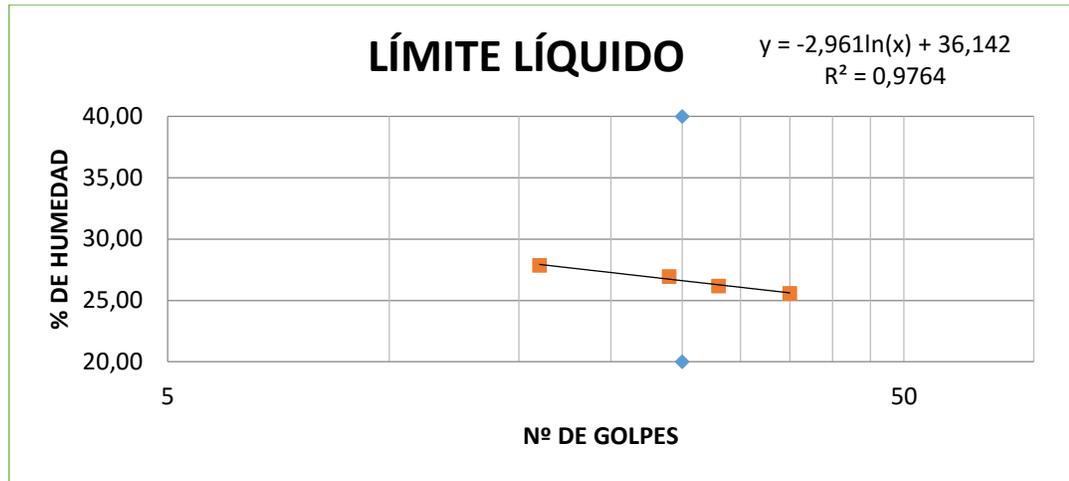
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.2. Ensayo de límite líquido**

Capsula N°	1 (14)	2 (41EFE)	3 (3EFE)	4 (P7-7)
N° de golpes	16	24	28	35
Suelo Húmedo + Cápsula	46,4	46,7	50,1	51,4
Suelo Seco + Cápsula	40,3	40,5	43,4	44,7
Peso del agua	6,1	6,2	6,7	6,7
Peso de la Cápsula	18,4	17,5	17,8	18,5
Peso Suelo seco	21,9	23	25,6	26,2
Porcentaje de Humedad	27,85	26,96	26,17	25,57

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.1. Ensayo de límite líquido**



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Límite Plástico

Tomamos una muestra de aproximadamente 100 gramos de la porción que pasa el tamiz N° 40.

Luego se procede en la misma forma que en la preparación de la pasta para el límite líquido, tratando de obtener una masa suficientemente plástica realizando en la placa de vidrio unos rollitos de 3mm de espesor donde se tiene que pesar en sus respectivas tres taras ya pesadas anteriormente, después colocarlo en el horno y después de 24 horas se los pesa.

Figura 3.5. Placa de vidrio para ensayo de límite plástico y taras con las muestras del ensayo



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.3. Ensayo de límite plástico**

Cápsula	1 (P7-3)	2 (P7-9)	3 (P7-1)	Límite Líquido (LL)
Peso de suelo húmedo + Cápsula	22,4	24,06	26,18	26
Peso de suelo seco + Cápsula	21,5	23,3	25,1	Límite Plástico (LP)
Peso de cápsula	17,7	20,1	20,5	24
Peso de suelo seco	3,8	3,2	4,6	Índice de plasticidad (IP)
Peso del agua	0,9	0,76	1,08	2
Contenido de humedad	23,68	23,75	23,48	Índice de Grupo (IG)
				8

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Hidrómetro

Se toma la muestra del tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por hidrómetro varia con el tipo de suelo a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es de 75 a 100 grs. Y para limos arcillas de 50 a 60 grs. ( peso seco) el peso exacto de la muestra en suspensión .

Puede ser determinado antes o después del ensayo. Sin embargo, el secado al horno de algunas arcillas puede causar cambios permanentes en sus tamaños de gramos aparentes. La muestra de estos suelos suele ser conservadas a su contenido de humedad natural y ensayadas sin ser secadas al horno.

Prepare la solución de acuerdo a lo siguiente: de 1000ml de solución (agua más defloculante), 8 ml debe de ser defloculante. Luego extraer 125 ml de solución para preparar la muestra.

La muestra debe depositarse en un recipiente que contenga los 125 ml de solución.

Deje la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado. Suelos altamente orgánicos requieren un tratamiento especial y suele ser necesario oxidar la muestra antes del ensayo.

Vaciar el contenido del vaso de mezclado, a una probeta graduada (que se llamara probeta de sedimentación), y aumentar agua hasta llegar a los 1000 ml.

Se preparará una probeta patrón de control de 1000 ml. Que contenga 125 ml. Preparada en el paso anterior, completar esta con agua hasta llegar a los 1000 ml.

La probeta de sedimentación se tapaná con un tapón (utilizar la palma de la mano si es necesario), para evitar que durante la agitación de la misma tenga pérdidas, la agitación tiene que ser alrededor de un minuto.

Luego de sacudir la probeta, poner sobre la mesa, si es que existe espuma remover con papel absorbente, tanto para introducir el hidrómetro como para sacarlo se debe tener mucho cuidado de manera que no se perturbe la suspensión.

Se debe realizar las dos primeras lecturas, al minuto y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa, estas lecturas deben ser al tope del menisco.

Luego extraer el hidrómetro con mucho cuidado y colocarlo en el cilindro de control (el cual debe encontrarse a una temperatura que no difiera en más de 1°C del suelo).

En cada lectura del hidrómetro se debe realizar de inmediato una lectura de la temperatura.

El proceso se vuelve a repetir, comparando los resultados de las mediciones anteriores, si existe concordancia hay que seguir incrementando los tiempos de mediciones de tiempo de 2, 4, 8, 15, 30, 60 minutos y además lecturar a las 24, 48 horas.

Figura 3.6. Ensayo del hidrómetro



Figura 3.7. Hidrómetro 152 H



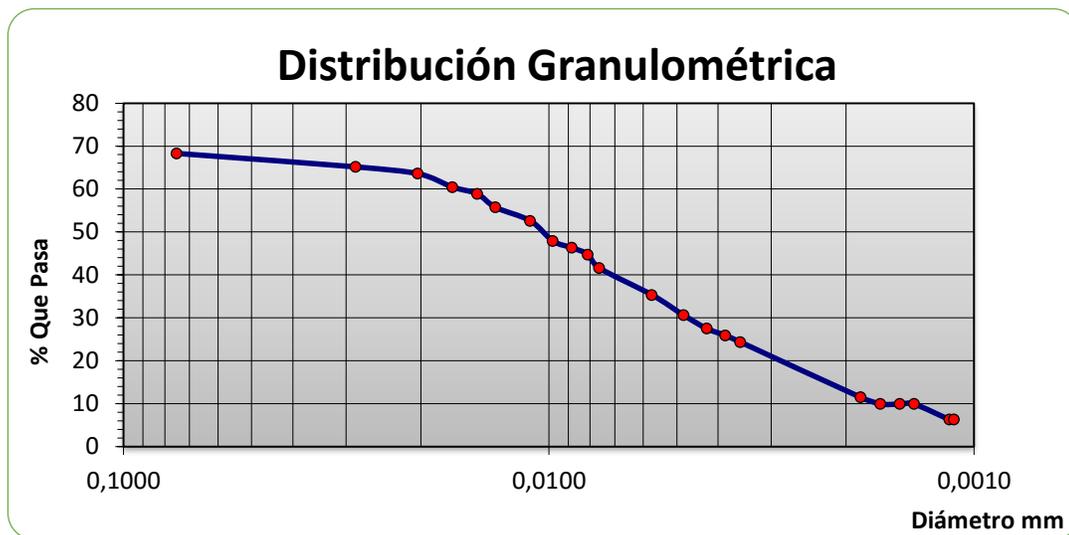
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.4. Ensayo del hidrómetro**

Modelo Hidrómetro:		152 H			Peso específico:		2,55	gr/cm <sup>3</sup>	Agente Defloculante:		
Peso suelo seco:		65	gr	Factor (a) =	1,02			Silicato de Sodio			
Hora de Lectura	Tiempo Transc. Min.	Temp. °C	Lectura Real R´.	Lect. Corregida R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lect. Corregida Rc.	Diam. Particula mm.	% más fino
15:20	0	28	40	41	9,6	0,013	0,000	2,5	43,5	0,075	68,26
15:22	2	28	38	39	9,9	0,013	4,950	2,5	41,5	0,028	65,12
15:24	4	28	37	38	10,1	0,013	2,525	2,5	40,5	0,020	63,55
15:26	6	28	35	36	10,4	0,013	1,733	2,5	38,5	0,017	60,42
15:28	8	28	34	35	10,6	0,013	1,325	2,5	37,5	0,015	58,85
15:30	10	28	32	33	10,9	0,013	1,090	2,5	35,5	0,013	55,71
15:35	15	28	30	31	11,2	0,013	0,747	2,5	33,5	0,011	52,57
15:40	20	28	27	28	11,7	0,013	0,585	2,5	30,5	0,010	47,86
15:45	25	28	26	27	11,9	0,013	0,476	2,5	29,5	0,009	46,29
15:50	30	28	25	26	12	0,013	0,400	2,5	28,5	0,008	44,72
15:55	35	28	23	24	12,4	0,013	0,354	2,5	26,5	0,008	41,58
16:25	65	28	19	20	13	0,013	0,200	2,5	22,5	0,006	35,31
16:55	95	28	16	17	13,5	0,013	0,142	2,5	19,5	0,005	30,6
17:25	125	28	14	15	13,8	0,013	0,110	2,5	17,5	0,004	27,46
17:55	155	28	13	14	14	0,013	0,090	2,5	16,5	0,004	25,89
18:25	185	28	12	13	14,2	0,013	0,077	2,5	15,5	0,003	24,32
08:00	815	25	5	6	15,3	0,013	0,019	1,3	7,3	0,002	11,46
11:30	1025	25	4	5	15,5	0,013	0,015	1,3	6,3	0,002	9,886
15:30	1265	25	4	5	15,5	0,013	0,012	1,3	6,3	0,001	9,886
18:30	1475	25	4	5	15,5	0,013	0,011	1,3	6,3	0,001	9,886
09:30	2375	20	3	4	15,6	0,014	0,007	0	4	0,001	6,277
11:30	2495	20	3	4	15,6	0,014	0,006	0	4	0,001	6,277

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.2. Ensayo del hidrómetro**



Fuente: Elaboración propia

### **3.5. Densidad absoluta y peso específico**

Determinar el peso del frasco seco y limpio.

Llenando el frasco con agua hasta la mitad de su volumen, luego introducir el frasco en un baño María y someterlo al incremento de calor.

El baño María debe aplicarse hasta que la temperatura dentro del frasco esta alrededor de unos 60 °C.

Sacar el frasco del baño María y completar el agua a temperatura ambiente hasta 5 mm; antes de la marca de enrase.

En este punto leer la temperatura, tratando de que el termómetro se introduzca al centro del frasco, luego llenar agua con una pipeta o cuenta gotas hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de enrase.

Pesar el frasco con el agua hasta el enrase y anotar este dato.

Para bajar la temperatura del agua, se debe hacer enfriar el frasco en baño María frio.

Realizar cinco pesados del frasco a cinco diferentes temperaturas.

El rango de las temperaturas debe ser leídas entre los 5 a 30 °C.

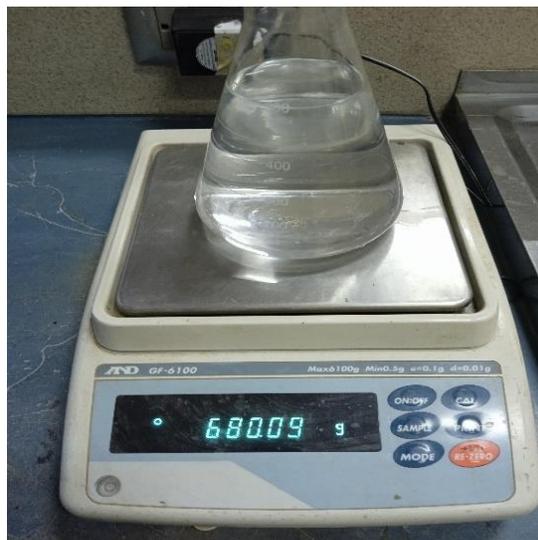
Hay que mantener siempre la parte inferior del menisco en el nivel del engrase.

Figura 3.8. Ensayo de Densidad Absoluta



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9. Ensayo de Calibración del Frasco Volumétrico



Fuente: Elaboración propia

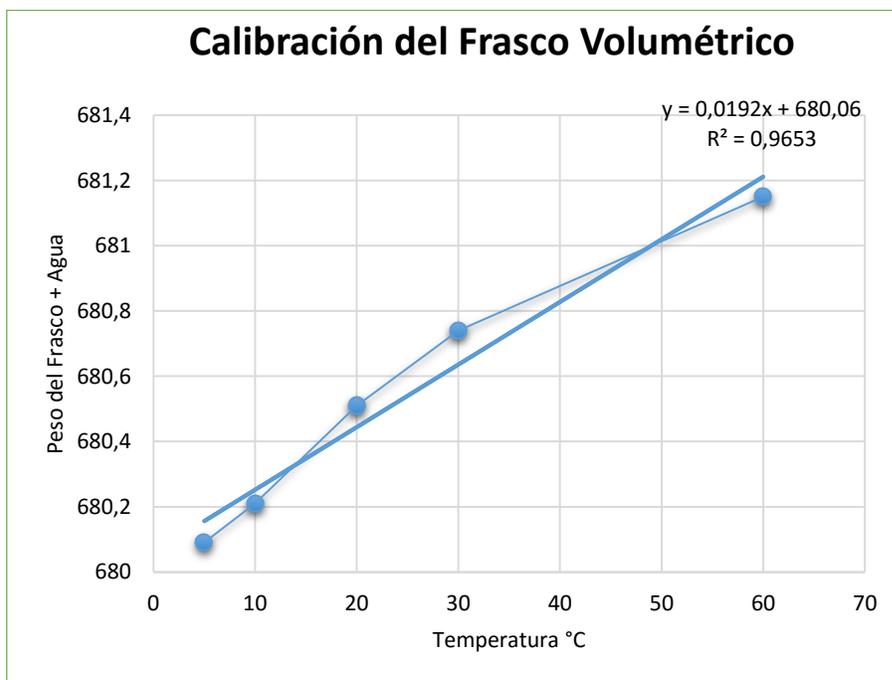
**Tabla 3.5. Calibración del Frasco Volumétrico**

Peso del matraz: 199,3 gr

Temperatura °C	Peso Frasco más agua (gr)
5	680,09
10	680,21
20	680,51
30	680,74
60	681,15

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfica 3.4. Calibración del Frasco Volumétrico**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.6. Ensayo del Peso Especifico**

Peso del suelo húmedo:	60	gr				
Peso del matraz :	199,3	gr				
Identificación del frasco	1	2	3	4	5	
Temperatura ensayada (°C)	60	30	20	10	5	
Peso de suelo seco más tara	326,70					
Peso de la tara (gr)	248,20					
Peso del suelo seco W <sub>s</sub> (gr)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	
peso del frasco más agua W <sub>fw</sub> (gr)	681,15	681,05	680,99	680,21	680,09	
peso del frasco + agua + suelo W <sub>fws</sub> (gr)	717,19	717,18	717,16	717,13	717,10	
Peso Específico	2,50	2,51	2,52	2,60	2,61	
Factor de corrección k	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	
Peso Específico corregido	2,49	2,51	2,52	2,60	2,61	
Promedio	2,55					

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6. Granulometria

Método general. -

Se procede a secar el material, hasta que los granos no se encuentren pegados o formando grumos, en caso de existir grumos hay que buscar la forma de desintegrarlos, pero sin triturar las partículas verdaderas del suelo, para ello se pueden ayudar con rodillos de madera, u otros objetos parecidos.

Los tamices para disponer para la parte gruesa del material son: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", N° 4, N°10.

Los tamices para la parte fina del suelo son: N°40 y N°200.

El método general consiste en hacer pasar el material por los tamices de acuerdo a la disposición mencionada, para ello se tiene que realizar un agitado de los tamices por el tiempo de 15 minutos.

El tamizado puede ser manualmente o mecánico utilizando el Rop-Tap, aunque luego hay que realizar una revisión para observar si es que ya no pasa material por cada malla.

Si el tamizado es manual, es muy práctico utilizar bandejas en donde se depositará cada material que pasa, luego estos identificarlos de acuerdo a la malla que se haya utilizado.

Proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla y lo que pasa el tamiz N°200.

Partiendo por el tamiz N° 10.-

Una vez realizada la granulometría del grueso, se tiene un saldo de muestra que pasa el tamiz N°10. Este a veces, puede ser en una cantidad considerablemente grande, por lo que resulta moroso tamizar tanto material fino a lo que cual se realiza siguiente propuesta.

Del material que pasa el tamiz N°10, se considera pesar solamente 300 gramos, siempre referido a l peso total utilizado en el ensayo.

Luego este material se hace pasar por el tamiz N°40 y N°200 respectivamente.

Pesar los materiales retenidos en las mallas, además del material retenido en la base o pasante del N°200.

Este trabajo se tiene en la planilla, columna del porcentaje que pasa, con la siguiente regla de tres.

$$\%T_{ci} = ( T_i * T_{10} ) / 100$$

Donde:

$\%T_{ci}$  = Porcentaje que pasa corregido en cada malla del fino.

$T_i$  = Porcentaje que pasa calculado para cada tamiz en el fino.

$T_{10}$  = Porcentaje que pasa en el tamiz N°10 (Data nexa al peso total).

Si la parte fina del material contiene todavía grumos pequeños, entonces se debe realizar el ensayo por el método del lavado.

Método del lavado. -

Este método, se usa para el material que pasa el tamiz N°10, donde también se puede realizar con una representación menor del peso total. Esto quiere decir que se puede usar un peso de 300 gramos aproximadamente.

La muestra hay que dejar reposar en agua hasta que esta sature completamente, haciendo que el suelo tenga características de barro o lodo. Generalmente se usa un tiempo cómodo de 24 horas o más, si es que se quiere un tiempo más corto utilizar 5 horas.

Sin perder material se introduce la muestra en la malla N°200, luego con ayuda del agua se puede lavar el suelo, hasta que el agua pasante tome aspectos más claros sin sedimentación.

Luego el material que se retiene en la malla N°200, disponer dentro de un recipiente para realizar un secado del suelo y proceder a retamizar por las mallas N°40 y N°200.

Pesar el material retenido en cada malla dispuesta para el fino.

De la misma manera se tiene que corregir los porcentajes que pasan de acuerdo a la fórmula mencionada en el párrafo anterior.

Figura 3.10. Proceso del Ensayo de Granulometría Método de Lavado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11. Tamizado



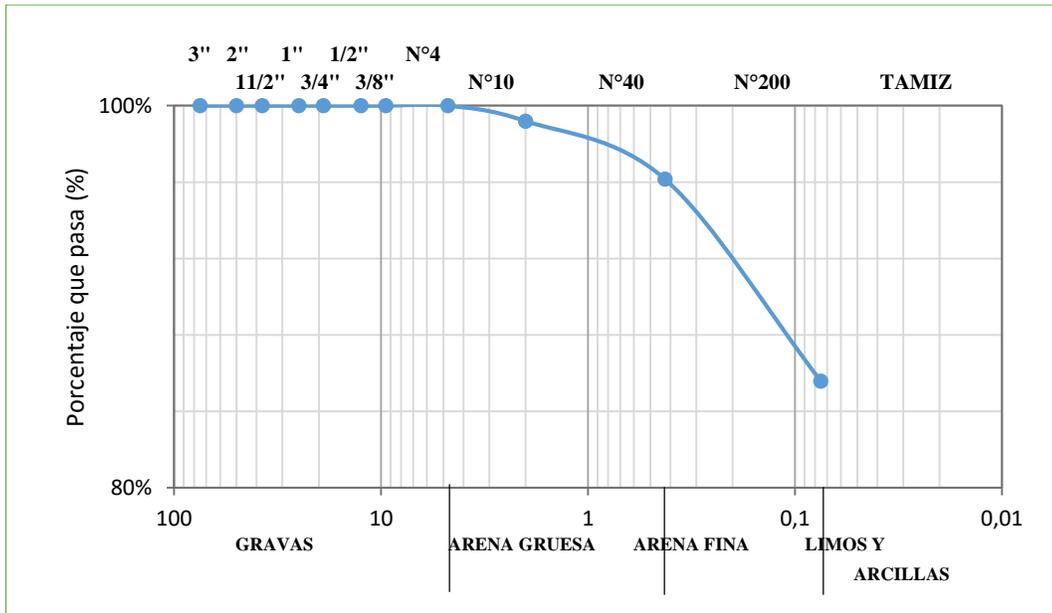
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.7. Ensayo de Granulometría Muestra No 1**

Peso Total (gr):		1348,2	A.S.T.M.		
Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	% peso ret	% peso ret. Acum.	% que pasa del total
3"	75	0	0	0	100
2"	50	0	0	0	100
1 1/2"	37,5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12,5	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
N° 4	4,75	0	0	0	100
N° 10	2	10,9	0,81	0,81	99,19
N° 40	0,425	40,9	3,03	3,84	96,16
N° 200	0,075	142,6	10,58	14,42	85,58
Base		3,9	0,29	14,71	85,29

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.5. Ensayo de Granulometria Muestra No 1**



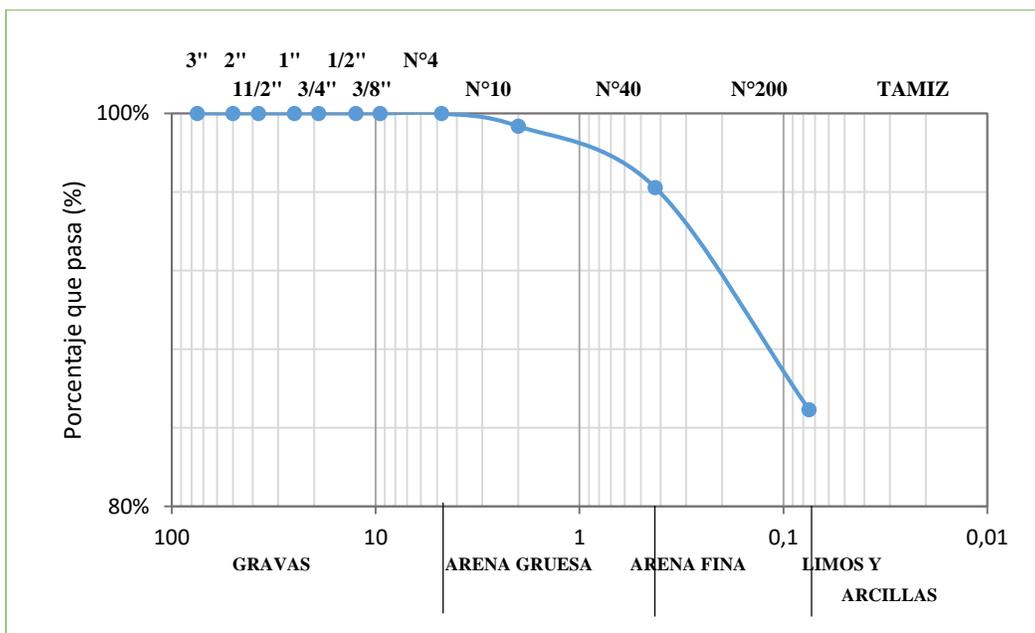
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.8. Ensayo de Granulometria Muestra No 2**

Peso Total (gr):		1356,6	A.S.T.M.		
Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	% peso ret	% peso ret. Acum.	% que pasa del total
3"	75	0	0	0	100
2"	50	0	0	0	100
1 1/2"	37,5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12,5	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
N° 4	4,75	0	0	0	100
N° 10	2	8,77	0,65	0,65	99,35
N° 40	0,425	42,4	3,13	3,77	96,23
N° 200	0,075	153,3	11,30	15,07	84,93
Base		5,4	0,40	15,47	84,53

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.6. Ensayo de Granulometria Muestra No 2**



Fuente: Elaboración propia

### 3.7. Consolidómetro Mecánico (edometro)

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

Esfuerzo Efectivo Inicial

Esfuerzo de Preconsolidación

Relación de Sobreconsolidación

Índice de Compresibilidad

Índice de Recompresión

**Consolidómetro.-** Aparato de laboratorio que permite conocer la compresibilidad del suelo resultado de su consolidación. En este permanece la muestra dentro de un anillo durante el ensayo, bien sea de manera fija o flotante y con piedras porosas en cada cara de la muestra. Dispositivo para la aplicación de cargas verticales, capaz de mantener cargas constantes con una precisión de  $\pm 0,5\%$  de la carga aplicada en el momento.

Anillo de acero inoxidable u otro material que no presente corrosión ante el contacto con el material de las muestras; con borde cortante para tallar la muestra al diámetro deseado. Su rigidez debe garantizar que en el momento de aplicar la carga máxima, este no varíe su diámetro en una relación mayor de 0,3 %. EL diámetro mínimo del anillo debe ser de 60mm y su altura de 20 mm.

Piedras Porosas: Piedras porosas de material que garantice no ser susceptible a ser atacado por el contacto con las muestras o por la humedad, con características de porosidad que impidan la entrada de las partículas de suelo en su estructura y que garanticen un óptimo drenaje durante el ensayo. El diámetro de las piedras debe ser entre 0,2 y 0,5 mm inferior al diámetro del anillo. Deben estar libres de fracturamiento y aportar la resistencia necesaria para evitar su rompimiento una vez sean aplicadas las máximas cargas.

Figura 3.12. Consolidómetro Mecánico (Edómetro)



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13. Partes del Consolidómetro Mecánico



Equipo de Consolidómetro	
1	Cèlula Edomètrica
2	Collarín
3	Tornillos de Fijaciòn
4	Pistòn de Carga
5	Piedras Porosas
6	Anillo

Fuente: Elaboración propia

**Temperatura:** para mantener inalterada la humedad de la muestra los sitios en donde se realizan los ensayos no deben tener variaciones de temperatura mayores a  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ , ni tampoco tener un contacto directo con la luz solar.

**Muestreo y Almacenamiento:** El muestreo de un suelo es la etapa previa al análisis y determinación de propiedades. Es probablemente la fase más importante para la obtención de datos analíticos que puedan considerarse seguros y poder hacer un dictamen verídico sobre el suelo en análisis. Su almacenamiento debe garantizar que la muestra conserve su humedad natural y que no se presentes eventos de cambios de volumen en el mismo. Se debe evitar golpear las muestras y producir fisuras en las mismas.

La preparación de la muestra tendrá exactamente el mismo volumen que el anillo del consolidómetro. Para su manipulación y corte preciso se requiere el uso de herramientas de corte adecuadas. Teniendo en cuenta que el anillo tiene bordes afilados, este entrara a presión y tomara el volumen de muestra. Para retirar el material sobrante sobre las superficies se utilizarán sierras de alambre o espátulas, según sean las características del suelo. Durante este procedimiento se debe evitar golpear la muestra, producir vibraciones o torsiones con el fin de mantener intacta su estructura. Se puede hacer uso de una placa de vidrio en la cual se frota la muestra para remover el material de la cara inferior.

Figura 3.14. Anillo para sacar muestras



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15. Muestras con papel fill para evitar que pierda humedad



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.9. Datos de la muestra y mediciones de tiempo y deformación**

Ws(Peso seco del espécimen)=	123	gr											
Gs(Densidad de los sólidos)=	2,55												
Yw(Peso Esp, del Agua)=	1	g/cm3											
Altura de la probeta =	2,0	cm											
Diametro de la probeta =	6	cm											
Area de la probeta=	29,22	cm2											
Peso en Kg.													
0,25		0,5		1		2		4		8		10	
Presión en Kg/cm2													
0,008554		0,017109		0,034218		0,068435		0,136871		0,273742		0,342177	
Tiempo	Def.v	Tiempo	Def. v	Tiempo	Def.v	Tiempo	Def. v	Tiempo	Def.v	Tiempo	Def. v	Tiempo	Def.v
[min]	X0,0001"	[min]	X0,0001"	[min]	X0,0001"	[min]	X0,0001"	[min]	X0,0001"	[min]	X0,0001"	[min]	X0,0001"
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	5	0	5	0	5	0	5	265	5	625	5	818
10	0	10	0	10	0	10	0	10	268	10	632	10	823
15	0	15	0	15	0	15	0	15	281	15	638	15	826
20	0	20	0	20	0	20	0	20	287	20	642	20	833
25	0	25	0	25	0	25	0	25	289	25	644	25	838
30	0	30	0	30	0	30	0	30	290	30	647	30	845
45	0	45	0	45	0	45	212	45	291	45	651	45	853
60	0	60	0	60	0	60	215	60	293	60	655	60	860
120	0	240	0	240	0	240	218	240	348	240	659	240	868
240	0	300	0	300	0	300	224	300	393	300	664	300	877
360	0	360	0	360	0	360	236	360	420	360	673	360	885

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.10. Mediciones transformación al Método Taylor**

<u>Método de Taylor</u>													
T <sup>0,5</sup>	Lectura	T <sup>0,5</sup>	Lectura	T <sup>0,5</sup>	Lectura	T <sup>0,5</sup>	Lectura	T <sup>0,5</sup>	Lectura	T <sup>0,5</sup>	Lectura	T <sup>0,5</sup>	Lectura
0	0	0,00	0,0000	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,24	0	2,24	0,0000	2,24	0	2,24	0,000	2,24	1,346	2,24	3,175	2,24	4,155
3,16	0	3,16	0,0000	3,16	0	3,16	0,000	3,16	1,361	3,16	3,211	3,16	4,181
3,87	0	3,87	0,0000	3,87	0	3,87	0,000	3,87	1,427	3,87	3,241	3,87	4,196
4,47	0	4,47	0,0000	4,47	0	4,47	0,000	4,47	1,458	4,47	3,261	4,47	4,232
5,00	0	5,00	0,0000	5,00	0	5,00	0,000	5,00	1,468	5,00	3,272	5,00	4,257
5,48	0	5,48	0,0000	5,48	0	5,48	0,000	5,48	1,473	5,48	3,287	5,48	4,293
6,71	0	6,71	0,0000	6,71	0	6,71	1,077	6,71	1,478	6,71	3,307	6,71	4,333
7,75	0	7,75	0,0000	7,75	0	7,75	1,092	7,75	1,488	7,75	3,327	7,75	4,369
10,95	0	15,49	0,0000	15,49	0	15,49	1,107	15,49	1,768	15,49	3,348	15,49	4,409
15,49	0	17,32	0,0000	17,32	0	17,32	1,138	17,32	1,996	17,32	3,373	17,32	4,455
18,97	0	18,97	0,0000	18,97	0	18,97	1,199	18,97	2,134	18,97	3,419	18,97	4,496

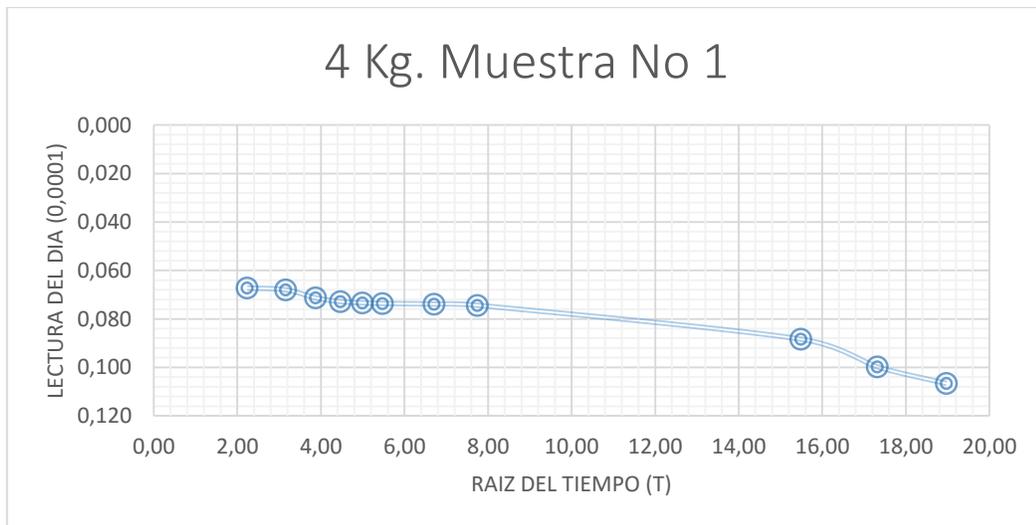
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.6. Curva de Consolidación con carga de 2kg de la muestra No 1**



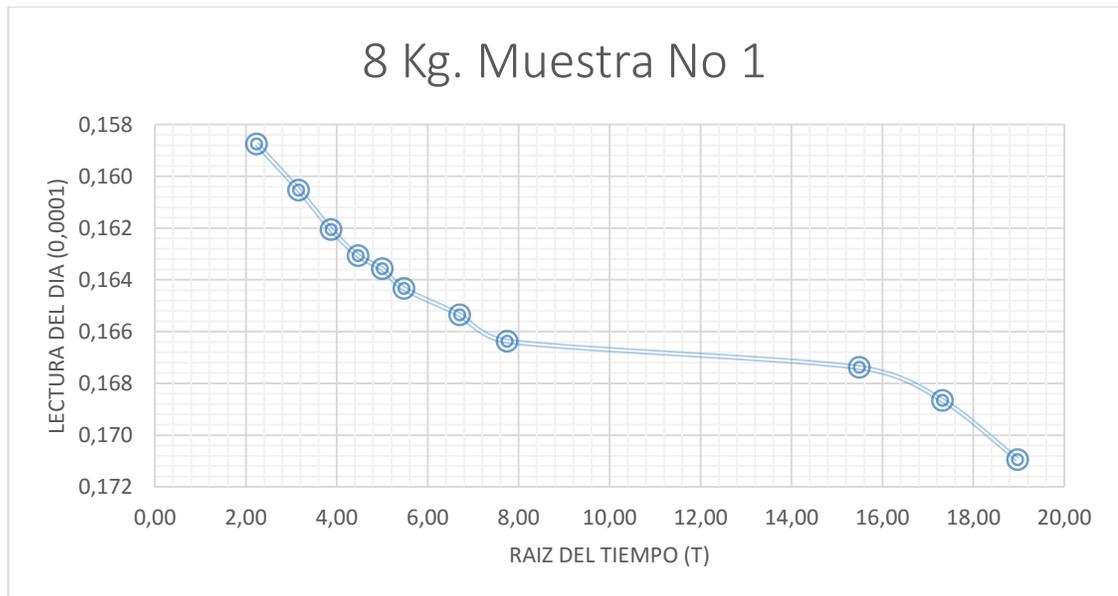
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.7. Curva de Consolidación con carga de 4kg de la muestra No 1**



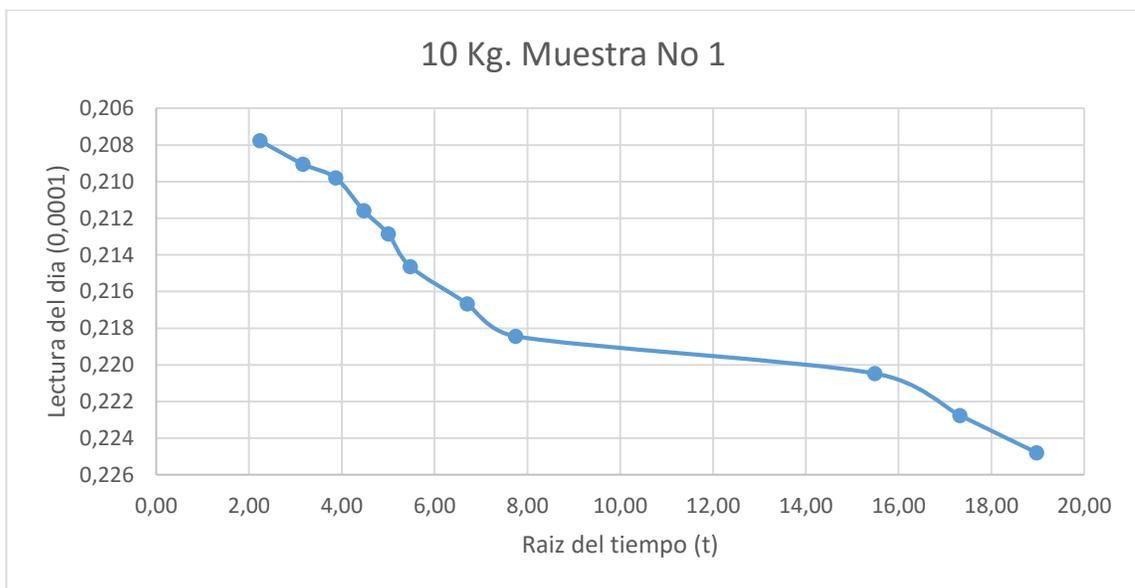
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.8. Curva de Consolidación con carga de 8kg de la muestra No 1**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.9. Curva de Consolidación con carga de 10kg de la muestra No 1**



Fuente: Elaboración propia

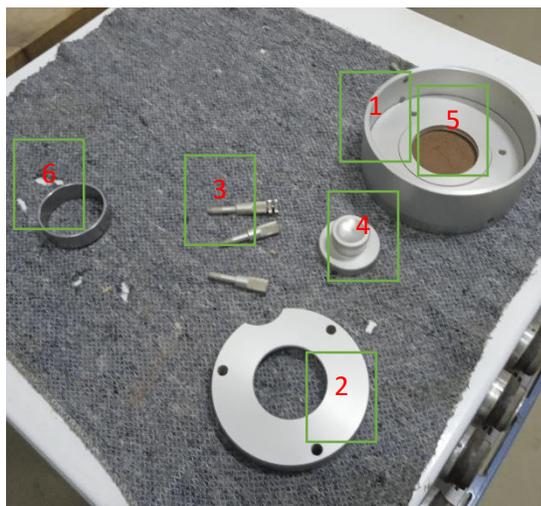
### 3.8. Consolidómetro digital (edómetro) marca ACE EmS

Primero Armar la celula de carga con la piedra porosa en la parte inferior, despues sujetar con su reten para sujetar la piedra porosa.

Segunda parte colocar la muestra inalterada encima de la piedra porosa, colocado con el anillo para que la muestra no se deslice por los costados.

Tercero colocar la segunda piedra porosa encima de la muestra, siguiente colocar el collarin con sus tornillos para sujetar todo el equipo armado y por último colocar encima de la piedra porosa el pistón de carga por donde recibirá las cargas que el aparato ha programado con las diferentes cargas que será sometido la muestra.

Figura 3.16. Partes del Consolidómetro digital



Equipo de Consolidómetro	
1	Célula Edométrica
2	Collarín
3	Tornillos de Fijación
4	Pistón de Carga
5	Piedras Porosas
6	Anillo

Fuente: Elaboración propia

Despues colocar la celula de carga ya armada con la muestra en la base del Consolidómetro y saturarlo con agua. Depsues colocar una memoria USB que lo reconozca el aparto.

El siguiente paso prender configurar las unidades e idioma (por defecto solo existe dos idiomas italiano e inglés).

Figura 3.17. Panel principal



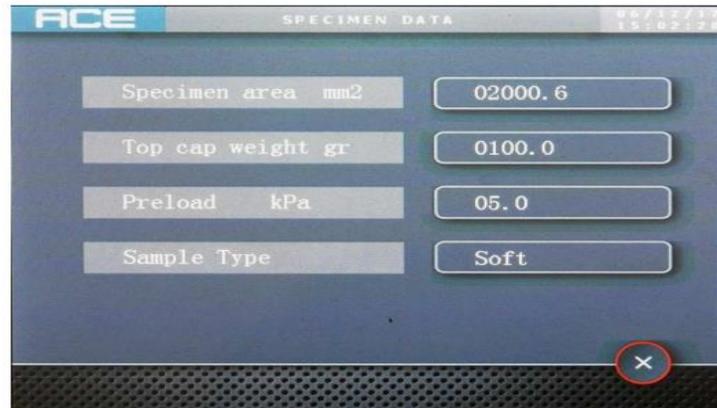
Fuente: Elaboración propia

Después entrar al programa Test Run donde escogeremos el programa que se utilizaremos donde existe dos uno es de la prueba de consolidación edemétrica y el otro es la prueba no confinada.

Escogemos la consolidación edemétrica donde existe tres ventanas donde tenemos que llenar datos.

1. Datos del espécimen que son:
  - 1.1 Área de la muestra en  $\text{mm}^2$
  - 1.2 Peso de la muestra en gr.
  - 1.3 La carga que hará la presión de precarga.
  - 1.4 Tipo de muestra entre suave y dura.

Figura 3.18. Panel para los datos de la muestra



Fuente: Elaboración propia

**2.- Tabla de Consolidación** aquí es donde colocamos la carga que se aplicara en Kpa, el tiempo que estará constante el paso de la consolidación que estara en min.

Swell significa el hinchazón en mm que se colocara un límite, si se pasa del límite el aparato se detendra y realizara el siguiente paso.

El intervalo de tiempo que controlara el hinchazón en minutos.(mayormente si coloca 1 minuto).

THRESHOLD y el intervalo de TIEMPO es para detener y saltar automaticamente al siguiente paso.

Figura 3.19. Panel para programar presion y tiempo para la prueba

The screenshot shows a control panel titled 'ACE CONSOLIDATION TABLE'. It displays a table with 10 rows and 6 columns. The first row is highlighted in blue. Navigation arrows and a close button are visible on the left and bottom.

01/10	Target	R. T(min)	Swell. T. (min)	Thr.	T. (min)
00012	01440	00.010	00010	00.000	00010
00025	01440	00.010	00010	00.000	00010
00050	01440	00.000	00010	00.000	00010
00100	01440	00.000	00010	00.000	00010
00200	01440	00.000	00010	00.000	00010
00400	01440	00.000	00010	00.000	00010
00800	01440	00.000	00010	00.000	00010
01600	01440	00.000	00010	00.000	00010
03200	01440	00.000	00010	00.000	00010
00800	00720	00.000	00010	00.000	00010

Fuente: Elaboración propia

Esta pantalla es para establecer los intervalos de registro para la adquisición de datos.

El modo de registro se selecciona tocando el botón a la izquierda de la opción requerida; el botón se vuelve azul cuando se selecciona. Solo se puede seleccionar una opción de las siguientes:

- **Modo lineal** - para registrar lecturas (en min.) a intervalos constantes.

Introduzca el intervalo (en min) en la celda de la derecha. Por ejemplo: ingrese 2.00 min para obtener lecturas en 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 .... acta.

- **Modo polinómico** – para registrar lecturas (en min.) con la fórmula  $A \times (r.n.)^B$ , donde A es el valor introducido en la 1ª celda adyacente (izquierda), B es el valor en la celda 2º segundo (derecha) y r.n. es el número de lectura, a partir de 1.

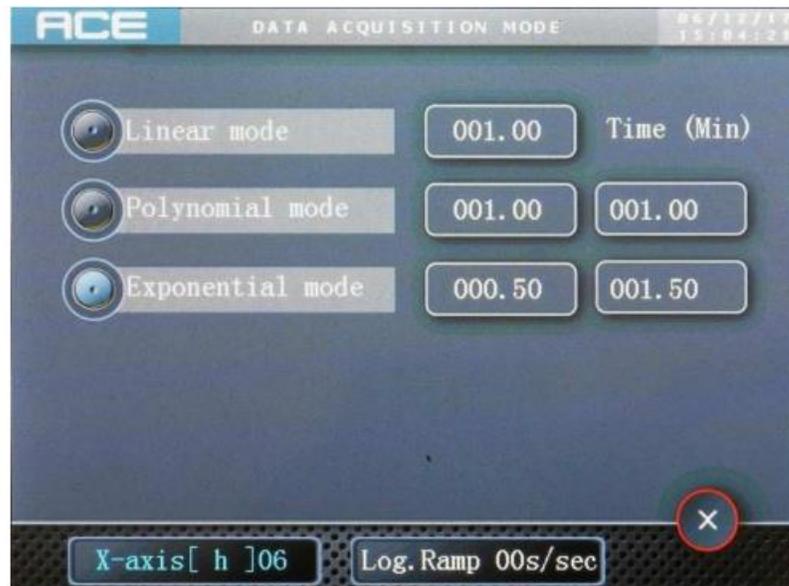
Por ejemplo: con  $A = 0.25$  &  $B = 2$  las lecturas estarán en 0.25, 1, 2.25, 4, 6.25, 9, 12.25, 16, ..... minutos, adecuado para una etapa de consolidación BS1377;

- **Modo exponencial** – para registrar lecturas (en min.) con la fórmula  $A \times B^{(r.n.)}$ , donde A es el valor introducido en la 1ª celda adyacente (izquierda), B es el valor en la 2ª celda (derecha) y r.n. es el number de lectura, a partir de 1.

Por ejemplo: con  $A = 0.05$  &  $B = 1.5$  las lecturas estarán en 0.08, 0.11, 0.17, 0.25, 0.38, 0.57, 0.85, 1.28, 1.92, ..... minutos;

- **Registro. ramp 00S/SEC** : seleccione este modo para cambiar el número de lecturas por segundo (es decir, 5 lecturas por segundo) para registrar datos durante las rampas.

Figura 3.20. Panel de tiempo para marcado de punto para gráfica



Fuente: Elaboración propia

El botón **X-AXIS SCALE** es para establecer la escala máxima del eje x del gráfico. La escala se puede cambiar tocando el texto hasta que se muestre el valor requerido: las opciones son: 1 min, 5 mins, 15 mins, 30 mins, 1 hora, 6 horas y 24 horas.

Si selecciona "Eje X[min]01", puede cambiar la escala de tiempo con el teclado.

Una vez que se hayan introducido todos los parámetros para la prueba, pulse para volver al Pantalla de prueba de consolidación edemamétrica.

Finalmente, presione el botón confirmar en la pantalla prueba de consolidación edemamétrica, para abrir la siguiente pantalla e iniciar la prueba.

Figura 3.21. Panel de Inicio de la Prueba



Fuente: Elaboración propia

**Skip** - para omitir un paso de consolidación.

Los siguientes botones están disponibles a la derecha de la pantalla para controlar el motor paso a paso antes de que se inicie la prueba.

**Flechas dobles / simples** – para accionar manualmente el motor.

**Home** – para volver a la posición de inicio y para posicionar el marco vertical completamente hacia arriba.

**Stop** – para detener el movimiento de homing.

**Start** - para iniciar el registro de datos y la prueba antes hay que colocar la celula de carga en posición en contacto con el la punta del vástago del transductor de desplazamiento con la cabeza del tornillo de referencia, luego la colocado se aprieta los botones de ZERO para poner en cero la prueba y recién apretar start para iniciar la prueba.

**Parámetros** - para abrir la PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN EDEMAMÉTRICA pantalla donde se pueden gestionar los intervalos de registro de datos;

**Filename** – Es para introducir un nombre de archivo para los datos registrados en la memoria USB, cambiar cada nombre de las muestras a realizar por que se sobreponen y

se pierde los datos de la prueba. Mejor cada vez realizada una prueba descargar los datos a su computadora por seguridad.

**Tabla 3.11. Datos de Presión y Consolidación**

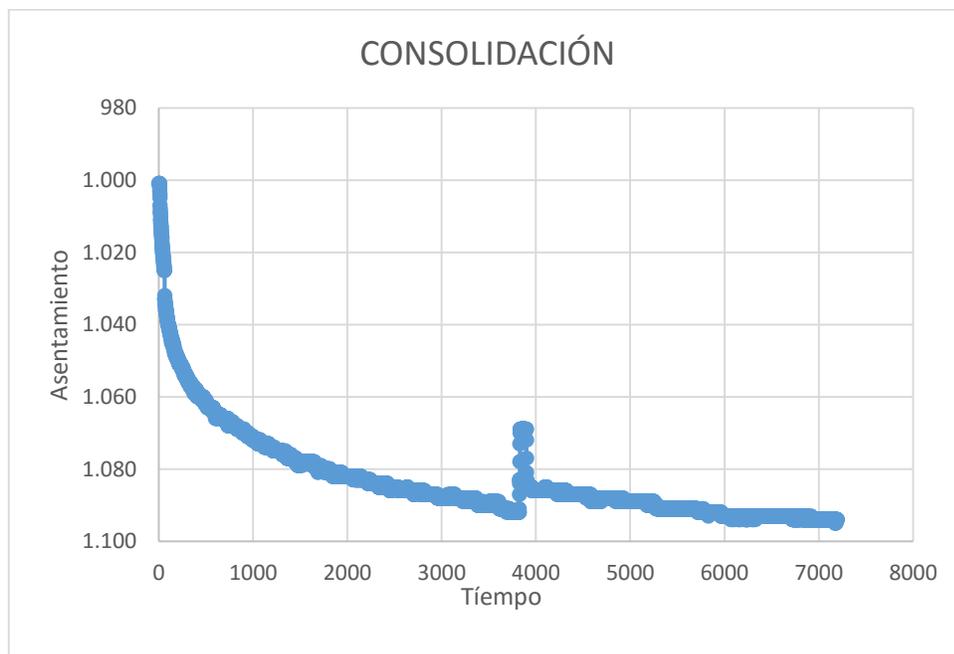
28/4/2022	08:09:08					
Nr.	Time	Time	1	2	3	4
	mins	mins	kPa	kPa	mm	kPa
1	00:00:00:00	00000.000	-0000.002	15.000	00000.172	00000.000
2	00:00:01:00	1.000	-0000.001	15.000	00000.360	00000.000
3	00:00:02:00	2.000	-0000.001	15.000	00000.430	00000.000
4	00:00:03:00	3.000	-0000.001	15.000	00000.460	00000.000
5	00:00:04:00	4.000	-0000.001	15.000	00000.478	00000.000
6	00:00:05:00	5.000	-0000.001	15.000	00000.486	00000.000
7	00:00:06:00	6.000	-0000.001	15.000	00000.491	00000.000
8	00:00:07:00	7.000	-0000.000	15.000	00000.494	00000.000
9	00:00:08:00	8.000	-0000.002	15.000	00000.497	00000.000
10	00:00:09:00	9.000	-0000.001	15.000	00000.499	00000.000
11	00:00:10:00	10.000	-0000.001	15.000	00000.502	00000.000
12	00:00:11:00	11.000	-0000.001	15.000	00000.502	00000.000
13	00:00:12:00	12.000	4.347	15.000	00000.503	00000.000
14	00:00:13:00	13.000	-0000.001	15.000	00000.503	00000.000
15	00:00:14:00	14.000	-0000.001	15.000	00000.503	00000.000
16	00:00:15:00	15.000	-0000.001	15.000	00000.503	00000.000
17	00:00:16:00	16.000	-0000.001	15.000	00000.503	00000.000
18	00:00:17:00	17.000	-0000.001	15.000	00000.503	00000.000
19	00:00:18:00	18.000	-0000.001	15.000	00000.503	00000.000
20	00:00:19:00	19.000	-0000.001	15.000	00000.503	00000.000
21	00:00:20:00	20.000	-8.752	15.000	00000.503	00000.000
22	00:00:21:00	21.000	-0000.001	15.000	00000.504	00000.000
23	00:00:22:00	22.000	-0000.001	15.000	00000.504	00000.000
24	00:00:23:00	23.000	-0000.001	15.000	00000.504	00000.000
25	00:00:24:00	24.000	-0000.001	15.000	00000.504	00000.000
26	00:00:25:00	25.000	-0000.001	15.000	00000.504	00000.000
27	00:00:26:00	26.000	-0000.000	15.000	00000.497	00000.000
28	00:00:27:00	27.000	-0000.001	15.000	00000.495	00000.000
29	00:00:28:00	28.000	-0000.001	15.000	00000.491	00000.000
30	00:00:29:00	29.000	-0000.001	15.000	00000.486	00000.000
31	00:00:30:00	30.000	-0000.001	15.000	00000.483	00000.000
32	00:00:31:00	31.000	-0000.001	15.000	00000.479	00000.000
33	00:00:32:00	32.000	-0000.001	15.000	00000.470	00000.000
34	00:00:33:00	33.000	-0000.001	15.000	00000.461	00000.000
35	00:00:34:00	34.000	-0000.001	15.000	00000.450	00000.000
36	00:00:35:00	35.000	-0000.001	15.000	00000.447	00000.000
37	00:00:36:00	36.000	-0000.001	15.000	00000.446	00000.000
38	00:00:37:00	37.000	-0000.001	15.000	00000.445	00000.000

39	00:00:38:00	38.000	-0000.001	15.000	00000.443	00000.000
40	00:00:39:00	39.000	-0000.001	15.000	00000.443	00000.000
41	00:00:40:00	40.000	-0000.001	15.000	00000.442	00000.000
42	00:00:41:00	41.000	-0000.001	15.000	00000.440	00000.000
43	00:00:42:00	42.000	-0000.001	15.000	00000.439	00000.000
44	00:00:43:00	43.000	-0000.001	15.000	00000.438	00000.000
45	00:00:44:00	44.000	-0000.001	15.000	00000.437	00000.000
46	00:00:45:00	45.000	-0000.001	15.000	00000.436	00000.000
47	00:00:46:00	46.000	-0000.001	15.000	00000.435	00000.000
48	00:00:47:00	47.000	-0000.001	15.000	00000.435	00000.000
49	00:00:48:00	48.000	-0000.001	15.000	00000.434	00000.000
50	00:00:49:00	49.000	-0000.001	15.000	00000.433	00000.000
51	00:00:50:00	50.000	-0000.001	15.000	00000.432	00000.000
52	00:00:51:00	51.000	-0000.001	15.000	00000.431	00000.000
53	00:00:52:00	52.000	-0000.001	15.000	00000.431	00000.000
54	00:00:53:00	53.000	-0000.001	15.000	00000.430	00000.000
55	00:00:54:00	54.000	-0000.001	15.000	00000.429	00000.000
56	00:00:55:00	55.000	-0000.001	15.000	00000.428	00000.000
57	00:00:56:00	56.000	-0000.001	15.000	00000.428	00000.000
58	00:00:57:00	57.000	-0000.001	15.000	00000.427	00000.000
59	00:00:58:00	58.000	-0000.001	15.000	00000.426	00000.000
60	00:00:59:00	59.000	-0000.001	15.000	00000.426	00000.000
61	00:01:00:00	60.000	-0000.001	15.000	00000.425	00000.000
62	00:01:01:00	61.000	-20.833	15.000	00000.425	00000.000
63	00:01:02:00	62.000	-0000.001	15.000	00000.424	00000.000
64	00:01:03:00	63.000	-0000.001	15.000	00000.424	00000.000
65	00:01:04:00	64.000	-0000.001	15.000	00000.423	00000.000
66	00:01:05:00	65.000	-0000.001	15.000	00000.423	00000.000
67	00:01:06:00	66.000	-0000.001	15.000	00000.422	00000.000
68	00:01:07:00	67.000	-0000.001	15.000	00000.422	00000.000
69	00:01:08:00	68.000	-0000.001	15.000	00000.421	00000.000
70	00:01:09:00	69.000	-0000.001	15.000	00000.421	00000.000
71	00:01:10:00	70.000	-0000.001	15.000	00000.420	00000.000
72	00:01:11:00	71.000	-0000.001	15.000	00000.420	00000.000
73	00:01:12:00	72.000	-0000.001	15.000	00000.419	00000.000
74	00:01:13:00	73.000	-0000.002	15.000	00000.419	00000.000
75	00:01:14:00	74.000	-0000.001	15.000	00000.418	00000.000
76	00:01:15:00	75.000	-0000.001	15.000	00000.418	00000.000
77	00:01:16:00	76.000	-0000.001	15.000	00000.418	00000.000
78	00:01:17:00	77.000	-0000.001	15.000	00000.417	00000.000
79	00:01:18:00	78.000	-0000.001	15.000	00000.417	00000.000
80	00:01:19:00	79.000	-0000.001	15.000	00000.417	00000.000
81	00:01:20:00	80.000	-0000.001	15.000	00000.416	00000.000
82	00:01:21:00	81.000	-0000.001	15.000	00000.416	00000.000
83	00:01:22:00	82.000	-0000.001	15.000	00000.416	00000.000

84	00:01:23:00	83.000	-0000.001	15.000	00000.415	00000.000
85	00:01:24:00	84.000	-0000.001	15.000	00000.415	00000.000
86	00:01:25:00	85.000	-0000.001	15.000	00000.415	00000.000
87	00:01:26:00	86.000	-0000.001	15.000	00000.413	00000.000
88	00:01:27:00	87.000	-0000.001	15.000	00000.413	00000.000
89	00:01:28:00	88.000	-0000.001	15.000	00000.413	00000.000
90	00:01:29:00	89.000	-0000.001	15.000	00000.413	00000.000
91	00:01:30:00	90.000	-0000.001	15.000	00000.413	00000.000
				MIN	0.172	
				MAX	0.504	

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 3.8. Consolidación – Tiempo vs Asentamiento**



Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE**  
**RESULTADOS**

## CAPÍTULO IV

### PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. Análisis obtenidos en el ensayo de contenido de humedad

Una vez recogido el material requerido para realizar esta práctica se procedió primeramente a pesar todas las taras, una vez pesada las taras: T1=?, T2=?, T3=?.

Prosiguiendo con la práctica se procedió a la separación de la muestra utilizando como separador el tamiz N° 200 donde al tamizar el retenido del tamizado son algunos grumos que no han sido por un completo desmenuzados antes de tamizar, lo que nos interesa en esta práctica lo que nos interesa es lo que pasa del tamiz N° 200 para realizar nuestro ensayo de consistencia de humedad.

Una vez terminado el tamizado del suelo, hasta lograr un peso de 400 gramos aproximadamente de limo que pasa el tamiz N° 200, sucesivamente de los 400 gramos aproximados de limo separamos tres muestritas en pesos parecidos entre 91 y 93 gramos, de la misma muestra, y el restante o lo que sobra se guardó para realizar otra práctica.

Estando lista ya las tres muestras de suelo procedimos a pesar las taras en la balanza mecánica de precisión de 0.01gramos con las muestras del suelo con su respectiva humedad.

Se las coloca dentro de un horno de temperatura que alcanza a unos (105°C -110°C), por un tiempo de 24 horas como mínimo.

Transcurridas las 24 horas o más se las extrae las muestras completamente secas de humedad y se las realiza un nuevo pesado en la misma balanza, aquí termina el procedimiento en laboratorio.

Figura 4.1. fórmulas para el desarrollo del ensayo

$$\text{Peso Húmedo} = (\text{Peso Tara} + \text{Muestra Húmeda}) - (\text{Peso Tara})$$

$$\text{Peso seco} = (\text{Peso tara} + \text{Muestra seca}) - (\text{Peso tara})$$

$$\text{Peso del agua} = \text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}$$

$$\text{Humedad (\%)} = \left( \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco}} \right) * 100$$

Fuente: Guía de Laboratorio de Mecanica de Suelos

**Tabla 4.1. Contenido de Humedad**

Cápsula	1 (P8-8)	2 (P8-5)	3 (8P-III)
Peso de suelo húmedo + Cápsula	91,76	91,96	92,39
Peso de suelo seco + Cápsula	86,3	85,9	86,5
Peso de cápsula	12,71	12,83	12,46
Peso de suelo seco	73,59	73,07	74,04
Peso del agua	5,46	6,06	5,89
Contenido de humedad	7,42	8,29	7,96
	Promedio	7,9	
Clasificación del suelo		Descripción	
SUCS:	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad por poca presencia de limo.	
AASHTO:	A-4 (8)		

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Límite líquido

Del suelo recogido en la anterior práctica se toma una muestra de unos 100 grs. de la porción que pasa el tamiz N° 40.

Se calibra el aparato de A. Casagrande exactamente a la altura de 1 cm.

Colocamos la muestra en la escudilla de porcelana, añadimos agua y removimos con la espátula hasta conseguir una pasta de consistencia uniforme, luego tomamos una porción de esta masa y la colocamos en el platillo de bronce del aparato de A. Casagrande, esparciéndola y nivelándola uniformemente.

Posteriormente, con la ayuda del ranurador, se dividió la muestra en el platillo con un corte firme, de arriba hacia abajo, de tal manera que se forme un canal uniforme en forma de V.

Con la muestra preparada y cortada en el plato de bronce, este se golpea con la ayuda del manubrio a una velocidad de dos golpes por segundo (2 golpes/segundo), hasta que la muestra se una en la base en una longitud de 1 cm. Y se registra el número de golpes que han sido necesarios.

Finalmente tomamos una porción de la muestra del centro del platillo de bronce y la colocamos en una tara que fue pesada y colocada en el horno durante 24 hrs. Al cabo de este tiempo nuevamente pesamos la tara con la muestra esta vez seca.

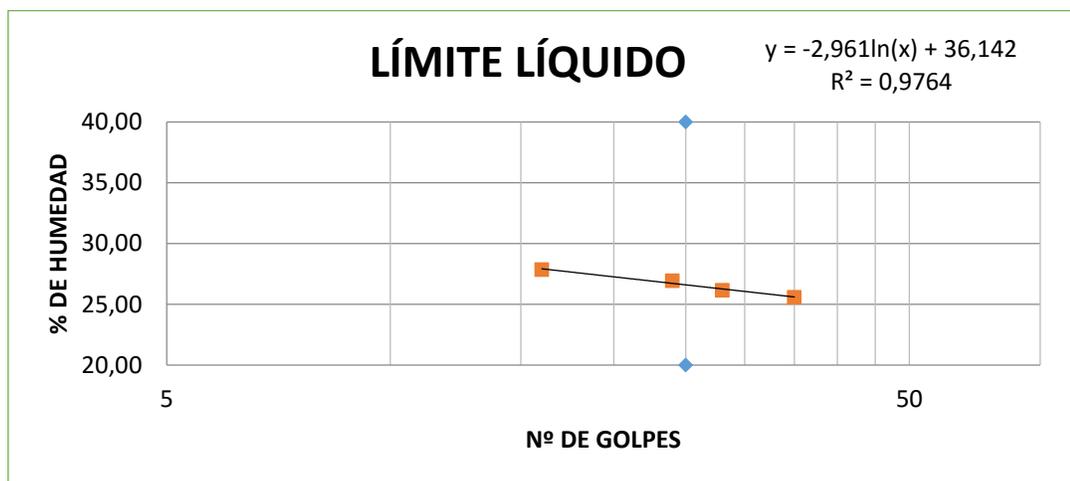
Las operaciones anteriores se realizaron 4 veces, para muestras con distinta humedad, obteniéndose variadas cantidades de golpes en cada caso.

**Tabla 4.2. Límite Líquido**

Cápsula N°	1 (14)	2 (41EFE)	3 (3EFE)	4 (P7-7)
N° de golpes	16	24	28	35
Suelo Húmedo + Cápsula	46,4	46,7	50,1	51,4
Suelo Seco + Cápsula	40,3	40,5	43,4	44,7
Peso del agua	6,1	6,2	6,7	6,7
Peso de la Cápsula	18,4	17,5	17,8	18,5
Peso Suelo seco	21,9	23	25,6	26,2
Porcentaje de Humedad	27,85	26,96	26,17	25,57

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.1. Límite Líquido



Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Límite plástico

Tomamos una muestra de aproximadamente 100 gramos de la porción que pasa el tamiz N° 40.

Luego se procede en la misma forma que en la preparación de la pasta para el límite líquido, tratando de obtener una masa suficientemente plástica realizando en la placa de vidrio unos rollitos de 3mm de espesor donde se tiene que pensar en sus respectivas tres taras ya pesadas anteriormente, después colocarlo en el horno y después de 24 horas se los pesa.

La prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro suelo requerido.

Terzaghi agregó la condición de que el diámetro sea de 3 mm. (1/8). La formación de los rollitos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rollitos llegan a los 3 mm., se doblan y presionan, formando un pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm., justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal se denominará rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico.

Se han hecho varios intentos para sustituir el rolado manual por la acción mecánica de algún aparato, pero sin resultados satisfactorios, debido, en primer lugar, a que la experiencia ha demostrado que en esta prueba la influencia del operador no es importante y, en segundo, a que, hasta la fecha, no ha podido desarrollarse ningún aparato en que la presión ejercida se ajuste a la tenacidad de los diferentes suelos; en el rolado manual, el operador, guiado por el tacto, hace el ajuste automáticamente.

**Tabla 4.3. Límite Plástico**

Cápsula	1 (P7-3)	2 (P7-9)	3 (P7-1)	Límite Líquido (LL)
Peso de suelo húmedo + Cápsula	22,4	24,06	26,18	26
Peso de suelo seco + Cápsula	21,5	23,3	25,1	Límite Plástico (LP)
Peso de cápsula	17,7	20,1	20,5	24
Peso de suelo seco	3,8	3,2	4,6	Índice de plasticidad (IP)
Peso del agua	0,9	0,76	1,08	2
Contenido de humedad	23,68	23,75	23,48	Índice de Grupo (IG)
				8

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1. Índice de plasticidad.-

El índice de plasticidad de un suelo es el campo de humedad, expresado como porcentaje del peso del suelo seco, dentro del cual el suelo permanece plástico.

El índice de plasticidad es numéricamente igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Expresa el campo de variación en que un suelo se comporta como plástico. Viene definido por la relación:

$$IP = \omega_L - \omega_P$$

Donde:

IP= Índice de plasticidad.

$\omega_P$ = Límite Plástico.

$\omega_L$ = Límite líquido.

Cuando el límite plástico no pueda ser determinado o cuando este sea igual a o mayor que el límite líquido se indicará el índice plástico como NP( no plástico).

#### **4.4. Granulometría**

##### **Método general.**

Se procede a secar el material, hasta que los granos no se encuentren pegados o formando grumos, en caso de existir grumos hay que buscar la forma de desintegrarlos, pero sin triturar las partículas verdaderas del suelo, para ello se pueden ayudar con rodillos de madera, u otros objetos parecidos.

Los tamices para disponer para la parte gruesa del material son: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", N° 4, N°10.

Los tamices para la parte fina del suelo son: N°40 y N°200.

El método general consiste en hacer pasar el material por los tamices de acuerdo a la disposición mencionada, para ello se tiene que realizar un agitado de los tamices por el tiempo de 15 minutos.

El tamizado puede ser manualmente o mecánico utilizando el Rop-Tap, aunque luego hay que realizar una revisión para observar si es que ya no pasa material por cada malla.

Si el tamizado es manual, es muy práctico utilizar bandejas en donde se depositará cada material que pasa, luego estos identificarlos de acuerdo a la malla que se haya utilizado.

Proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla y lo que pasa el tamiz N°200.

Partiendo por el tamiz N° 10.-

Una vez realizada la granulometría del grueso, se tiene un saldo de muestra que pasa el tamiz N°10. Este a veces, puede ser en una cantidad considerablemente grande, por lo que resulta moroso tamizar tanto material fino a lo que cual se realiza siguiente propuesta.

Del material que pasa el tamiz N°10, se considera pesar solamente 300 gramos, siempre referido a l peso total utilizado en el ensayo.

Luego este material se hace pasar por el tamiz N°40 y N°200 respectivamente.

Pesar los materiales retenidos en las mallas, además del material retenido en la base o pasante del N°200.

Este trabajo se tiene en la planilla, columna del porcentaje que pasa, con la siguiente regla de tres.

$$\%Tci = ( Ti * T10 ) / 100$$

Donde:

%Tci = Porcentaje que pasa corregido en cada malla del fino.

Ti = Porcentaje que pasa calculado para cada tamiz en el fino.

T10 = Porcentaje que pasa en el tamiz N°10 (Data nexa al peso total).

Si la parte fina del material contiene todavía grumos pequeños, entonces se debe realizar el ensayo por el método del lavado.

#### **Método del lavado.**

Este método, se usa para el material que pasa el tamiz N°10, donde también se puede realizar con una representación menor del peso total. Esto quiere decir que se puede usar un peso de 300 gramos aproximadamente.

La muestra hay que dejar reposar en agua hasta que esta sature completamente, haciendo que el suelo tenga características de barro o lodo. Generalmente se usa un tiempo cómodo de 24 horas o más, si es que se quiere un tiempo más corto utilizar 5 horas.

Sin perder material se introduce la muestra en la malla N°200, luego con ayuda del agua se puede lavar el suelo, hasta que el agua pasante tome aspectos más claros sin sedimentación.

Luego el material que se retiene en la malla N°200, disponer dentro de un recipiente para realizar un secado del suelo y proceder a retamizar por las mallas N°40 y N°200.

Pesar el material retenido en cada malla dispuesta para el fino.

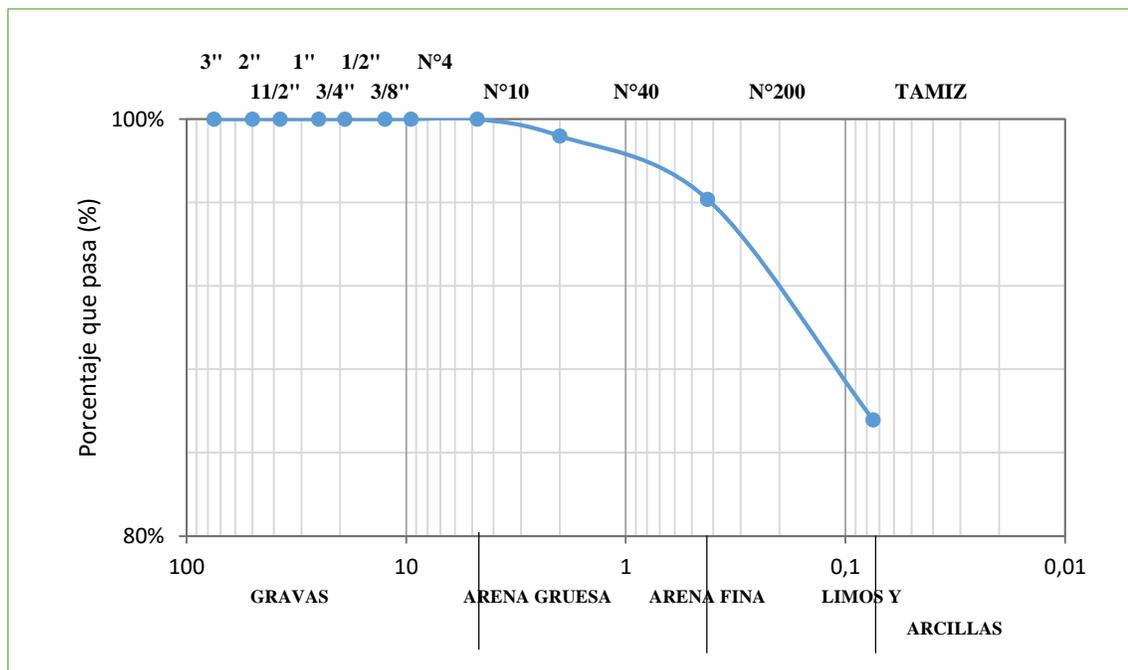
De la misma manera se tiene que corregir los porcentajes que pasan de acuerdo a la formula mencionada en el párrafo anterior.

**Tabla 4.4. Granulometría de la muestra No 1**

Peso Total (gr):		1348,2	A.S.T.M.		
Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	% peso ret	% peso ret. Acum.	% que pasa del total
3"	75	0	0	0	100
2"	50	0	0	0	100
1 1/2"	37,5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12,5	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
N°4	4,75	0	0	0	100
N° 10	2	10,9	0,81	0,81	99,19
N° 40	0,425	40,9	3,03	3,84	96,16
N° 200	0,075	142,6	10,58	14,42	85,58
Base		3,9	0,29	14,71	85,29

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.2. Curva Granulométrica**



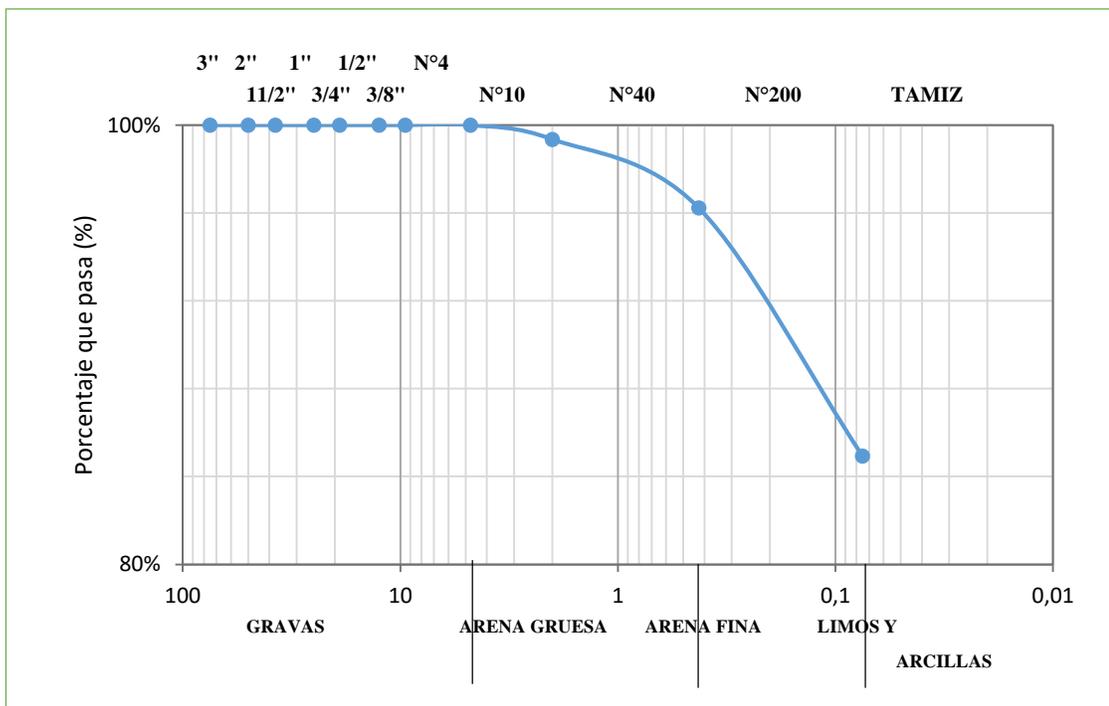
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.5. Granulometría de la muestra No 2**

Peso Total (gr):		1356,6	A.S.T.M.		
Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	% peso ret	% peso ret. acum.	% que pasa del total
3"	75	0	0	0	100
2"	50	0	0	0	100
1 1/2"	37,5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12,5	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
N°4	4,75	0	0	0	100
N° 10	2	8,77	0,65	0,65	99,35
N° 40	0,425	42,4	3,13	3,77	96,23
N° 200	0,075	153,3	11,30	15,07	84,93
Base		5,4	0,40	15,47	84,53

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.3. Curva Granulométrica de la muestra No 2**



Fuente: Elaboración propia

#### **4.5. Hidrómetro**

Se toma la muestra del tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por hidrómetro varía con el tipo de suelo a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es de 75 a 100 grs. Y para limos arcillas de 50 a 60 grs. ( peso seco) el peso exacto de la muestra en suspensión .

Puede ser determinado antes o después del ensayo. Sin embargo, el secado al horno de algunas arcillas puede causar cambios permanentes en sus tamaños de gramos aparentes. La muestra de estos suelos suele ser conservadas a su contenido de humedad natural y ensayadas sin ser secadas al horno.

Prepare la solución de acuerdo a lo siguiente: de 1000ml de solución (agua más defloculante), 8 ml debe de ser defloculante. Luego extraer 125 ml de solución para preparar la muestra.

La muestra debe depositarse en un recipiente que contenga los 125 ml de solución.

Deje la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado. Suelos altamente orgánicos requieren un tratamiento especial y suele ser necesario oxidar la muestra antes del ensayo.

Vaciar el contenido del vaso de mezclado, a una probeta graduada (que se llamara probeta de sedimentación), y aumentar agua hasta llegar a los 1000 ml.

Se preparará una probeta patrón de control de 1000 ml. Que contenga 125 ml. Preparada en el paso anterior, completar esta con agua hasta llegar a los 1000 ml.

La probeta de sedimentación se tapará con un tapón (utilizar la palma de la mano si es necesario), para evitar que durante la agitación de la misma tenga pérdidas, la agitación tiene que ser alrededor de un minuto.

Luego de sacudir la probeta, poner sobre la mesa, si es que existe espuma remover con papel absorbente, tanto para introducir el hidrómetro como para sacarlo se debe tener mucho cuidado de manera que no se perturbe la suspensión.

Se debe realizar las dos primeras lecturas, al minuto y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa, estas lecturas deben ser al tope del menisco.

Luego extraer el hidrómetro con mucho cuidado y colocarlo en el cilindro de control (el cual debe encontrarse a una temperatura que no difiera en más de 1°C del suelo).

En cada lectura del hidrómetro se debe realizar de inmediato una lectura de la temperatura.

El proceso se vuelve a repetir, comparando los resultados de las mediciones anteriores, si existe concordancia hay que seguir incrementando los tiempos de mediciones de tiempo de 2, 4, 8, 15, 30, 60 minutos y además lecturar a las 24, 48 horas.

El análisis hidrométrico se usa para obtener un estimado de la distribución es basa en la ley de Stokes. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una mása de suelo dispersado, con partículas de varias formás y tamaños. La curva granulométrica de los materiales no analizables por tamizado se puede obtener por los métodos de sedimentación. Estos se basan en la ley de STOKES que relaciona la velocidad máxima de caída de una partícula en un medio viscoso con su diámetro.

$$V = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 * \eta} * D^2$$

Para realizar el ensayo se parte de una suspensión de suelo en agua con su concentración conocida. A partir del instante inicial, las partículas empezarán su caída de tal forma que, pasado un tiempo “t”, a una profundidad determinada “z” sólo habrá partículas de tamaño inferior a:

$$D_t = \sqrt{\frac{18 * \eta}{\gamma_s - \gamma_w}} * \sqrt{\frac{z}{t}}$$

Y la cantidad de esas partículas se puede determinar con la medida de la concentración de la suspensión en ese momento y a esa profundidad, de tal forma que el porcentaje de partículas de diámetro inferior a  $D_t$  resulta ser, por comparación con la concentración inicial

$$N_t = \frac{C_t}{C_0} * 100$$

LECTURA DEL HIDRÓMETRO CORREGIDO ( $R_c$ ):

$$R_c = R_d - C_d + C_t$$

Dónde:

$R_c$  = Lectura del hidrómetro corregido. (Tabla #2)

$R_d$  = Lectura del hidrómetro.

$C_d$  = Lectura del hidrómetro en agua más de defloculante.

$C_t$  = Corrección por temperatura

CÁLCULO DEL PORCENTAJE MÁS FINO, P (%):

$$P\% = (R_c * a * 100) / W_s$$

Dónde:

$R_c$  = Lectura del hidrómetro corregido.

$a$  = Corrección por gravedad específica.

$W_s$  = Peso seco de la muestra.

$G_s$  = Peso específico de sólidos.

### **Corrección por menisco**

Los hidrómetros se calibran para leer correctamente a la altura de la superficie del líquido la suspensión del suelo no es transparente y no es posible leer directamente a la superficie del líquido por lo tanto la lectura del hidrometro se debe realizar en la parte superior del menisco.

Cada hidrómetro se debe cuidar su calibración especialmente particular.

La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado y se determina introduciendo el hidrómetro en agua destilada o desmineralizada y observando la altura a la cual el menisco se levanta por encima del agua las correcciones corrientes del  $C_m$  son:

### **Hidrómetro tipo ASTM 151 H:**

$$C_m = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ ( grs/ cm }^3\text{)}$$

### **Hidrómetro tipo ASTM 152 H**

$$C_m = 1.0 \text{ grs lts.,}$$

### **Corrección por temperatura**

A cada una de las temperaturas del hidrómetro se debe aplicar también un factor de corrección de temperatura el cual debe sumarse algebraicamente a cada lectura este factor puede ser positivo o negativo dependiendo de la temperatura de suspensión en el momento de realizar cada medición obtenga el valor del factor de corrección por temperatura para cada lectura de hidrómetro empleando la tabla # 4 y anotando los valores obtenidos en formulario.

Figura 4.2. Ensayo de Hidrómetro



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3. Hidrómetro 152 H



Fuente: Elaboración propia

**Tablas 4.5. – Tabla 4.6. Tablas para ensayo de Hidrómetro**

TABLA 4: Valores de 74corrección por temperatura	
Temp. °C	Ct
15	-1,1
16	-0,9
17	-0,7
18	-0,5
19	-0,3
20	0
21	0,2
22	0,4
23	0,7
24	1
25	1,3
26	1,6
27	2
28	2,5
29	3,05
30	3,8

TABLA 2: HIDRÓMETRO 152 H PROFUNDAD EFECTIVA			
Lect. Corr.	“L” cm	Lect. Corr.	“L” cm
0	16,3	31	11,2
1	16,1	32	11,1
2	16	33	10,9
3	15,8	34	10,7
4	15,6	35	10,6
5	15,5	36	10,4
6	15,3	37	10,2
7	15,2	38	10,1
8	15	39	9,9
9	14,8	40	9,7
10	14,7	41	9,6
11	14,5	42	9,4
12	14,3	43	9,2
13	14,2	44	9,1
14	14	45	8,9
15	13,8	46	8,8
16	13,7	47	8,6
17	13,5	48	8,4
18	13,3	49	8,3
19	13,2	50	8,1
20	13	51	7,9
21	12,9	52	7,8
22	12,7	53	7,6
23	12,5	54	7,4
24	12,4	55	7,3
25	12,2	56	7,1
26	12	57	7
27	11,9	58	6,8
28	11,7	59	6,6
29	11,5	60	6,5
30	11,4		

Fuente: Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos

Tabla 4.7. Tabla para el ensayo del Hidrómetro

TABLA 1: Valores de k para el cálculo del diámetro de la partícula en el hidrómetro									
Temp. °C	Peso Específico de las partículas del suelo								
	2,45	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8	2,85
10	0,0166	0,0161	0,016	0,01583	0,01555	0,0153	0,0151	0,0149	0,0147
11	0,0164	0,0161	0,0158	0,0156	0,0153	0,0151	0,0149	0,0147	0,0145
12	0,0161	0,0159	0,0156	0,0154	0,0151	0,0149	0,0147	0,0145	0,0143
13	0,0159	0,0157	0,0154	0,0152	0,0149	0,0147	0,0145	0,0141	0,0141
14	0,0157	0,0154	0,0152	0,015	0,0147	0,0145	0,0143	0,0139	0,0139
15	0,0155	0,0153	0,015	0,0148	0,0145	0,0143	0,0141	0,0137	0,0137
16	0,0153	0,0151	0,0148	0,0146	0,0144	0,0141	0,0139	0,0136	0,0136
17	0,0152	0,0149	0,0146	0,0144	0,0142	0,014	0,0137	0,0134	0,0134
18	0,0149	0,0147	0,0144	0,0142	0,014	0,0138	0,0136	0,0132	0,0132
19	0,0144	0,0145	0,0143	0,014	0,0138	0,0136	0,0134	0,0131	0,0131
20	0,0146	0,0143	0,0141	0,0139	0,0137	0,0134	0,0133	0,0129	0,0129
21	0,0144	0,0141	0,0139	0,0137	0,0135	0,0133	0,0131	0,0128	0,0127
22	0,0142	0,014	0,0137	0,0135	0,0133	0,0131	0,0129	0,0126	0,0126
23	0,014	0,0138	0,0136	0,0134	0,0132	0,013	0,0128	0,0125	0,0124
24	0,0139	0,0137	0,0134	0,0132	0,013	0,0128	0,0126	0,0125	0,0123
25	0,0137	0,0135	0,0133	0,0131	0,0129	0,0127	0,0125	0,0123	0,0122
26	0,0136	0,0133	0,0131	0,0129	0,0127	0,0125	0,0124	0,0122	0,012
27	0,0134	0,0132	0,013	0,0128	0,0126	0,0124	0,0122	0,012	0,0119
28	0,0133	0,013	0,0128	0,0126	0,0124	0,0123	0,0121	0,0119	0,0118
29	0,0131	0,0129	0,0127	0,0125	0,0123	0,0121	0,012	0,0118	0,0116
30	0,013	0,0128	0,0126	0,0124	0,0122	0,012	0,0118	0,0117	0,0115

Fuente: Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos

**Tabla 4.8. Hidrómetro**

Modelo Hidrómetro:			152 H		Peso específico:		2,55	gr/cm <sup>3</sup>	Agente Defloculante:		
Peso suelo seco:			65	gr	Factor (a) =		1,02		Silicato de Sodio		
Hora de Lectura	Tiempo Transc. Min.	Temp. °C	Lectura Real R`.	Lect. Corregida R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lect. Corregida Rc.	Diam. Particula mm.	% más fino
15:20	0	28	40	41	9,6	0,0128	0,000	2,5	43,5	0,0750	68,26
15:22	2	28	38	39	9,9	0,0128	4,950	2,5	41,5	0,0285	65,12
15:24	4	28	37	38	10,1	0,0128	2,525	2,5	40,5	0,0203	63,55
15:26	6	28	35	36	10,4	0,0128	1,733	2,5	38,5	0,0169	60,42
15:28	8	28	34	35	10,6	0,0128	1,325	2,5	37,5	0,0147	58,85
15:30	10	28	32	33	10,9	0,0128	1,090	2,5	35,5	0,0134	55,71
15:35	15	28	30	31	11,2	0,0128	0,747	2,5	33,5	0,0111	52,57
15:40	20	28	27	28	11,7	0,0128	0,585	2,5	30,5	0,0098	47,86
15:45	25	28	26	27	11,9	0,0128	0,476	2,5	29,5	0,0088	46,29
15:50	30	28	25	26	12	0,0128	0,400	2,5	28,5	0,0081	44,72
15:55	35	28	23	24	12,4	0,0128	0,354	2,5	26,5	0,0076	41,58
16:25	65	28	19	20	13	0,0128	0,200	2,5	22,5	0,0057	35,31
16:55	95	28	16	17	13,5	0,0128	0,142	2,5	19,5	0,0048	30,6
17:25	125	28	14	15	13,8	0,0128	0,110	2,5	17,5	0,0043	27,46
17:55	155	28	13	14	14	0,0128	0,090	2,5	16,5	0,0038	25,89
18:25	185	28	12	13	14,2	0,0128	0,077	2,5	15,5	0,0035	24,32
08:00	815	25	5	6	15,3	0,0135	0,019	1,3	7,3	0,0018	11,46
11:30	1025	25	4	5	15,5	0,0135	0,015	1,3	6,3	0,0017	9,886
15:30	1265	25	4	5	15,5	0,0135	0,012	1,3	6,3	0,0015	9,886
18:30	1475	25	4	5	15,5	0,0135	0,011	1,3	6,3	0,0014	9,886
09:30	2375	20	3	4	15,6	0,0141	0,007	0	4	0,0011	6,277
11:30	2495	20	3	4	15,6	0,0141	0,006	0	4	0,0011	6,277

$x_1 = -2,95 \quad x_2 = -2,86 \quad x = -2,699$

$y_1 = 6,28 \quad y_2 = 9,9$

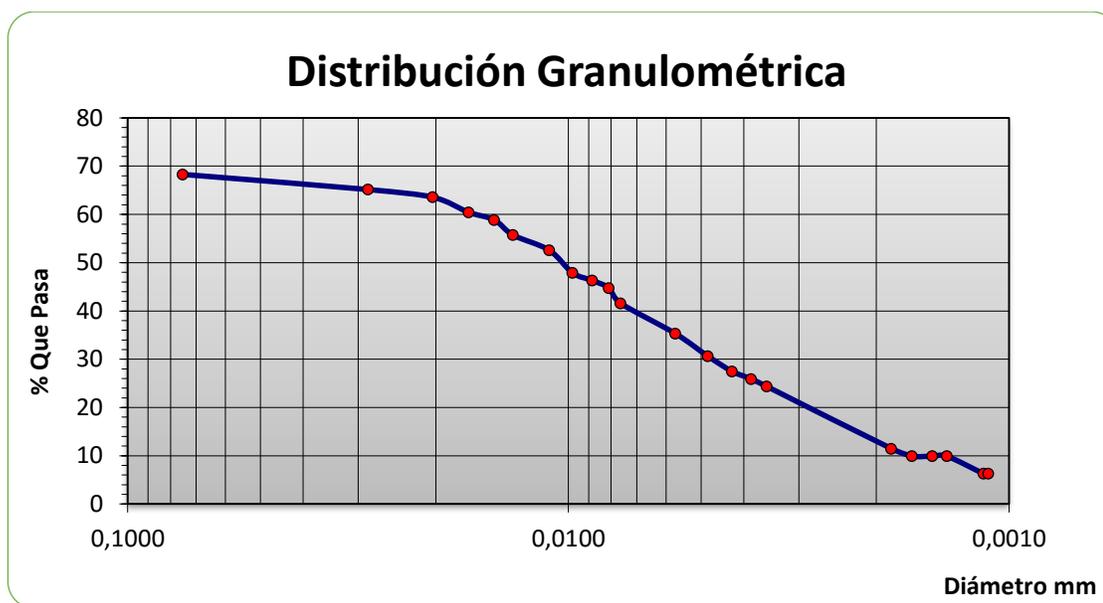
$m = 38,45$

Arcilla = 16,04

% Pasa 200 =	100,00
% Limo Parcial =	83,96
% Arcilla Parcial =	16,04

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.4. Curva Granulométrica**



Fuente: Elaboración propia

#### **4.6. Densidad absoluta y peso Específico**

Determinar el peso del frasco seco y limpio.

Llenando el frasco con agua hasta la mitad de su volumen, luego introducir el frasco en un baño María y someterlo al incremento de calor.

El baño María debe aplicarse hasta que la temperatura dentro del frasco esta alrededor de unos 60 °C.

Sacar el frasco del baño María y completar el agua a temperatura ambiente hasta 5 mm; antes de la marca de enrase.

En este punto leer la temperatura, tratando de que el termómetro se introduzca al centro del frasco, luego llenar agua con una pipeta o cuenta gotas hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de enrase.

Pesar el frasco con el agua hasta el enrase y anotar este dato.

Para bajar la temperatura del agua, se debe hacer enfriar el frasco en baño María frío.

Realizar cinco pesados del frasco a cinco diferentes temperaturas.

El rango de las temperaturas debe ser leídas entre los 5 a 30 °C.

Hay que mantener siempre la parte inferior del menisco en el nivel del enrase.

Densidad de los solidos es concoidad como la densidad relativa del suelo que viene de la siguiente expresion:

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (\text{I})$$

$\rho_s$  = densidad absoluta del suelo

$\rho_w$  = densidad del agua

donde el agua desalojada es la que desocupa el frasco al ser introducido el suelo, como dice el principio de fisica; el volumen de agua desalojada es igual al volumen que del cuerpo que ingresa, siempre cuando se mantenga el volumen constante del frasco en el nivel de enrase.

$$m_{fsws} = m_{fw} + m_s - m_w \quad (\text{II})$$

tambien se recuerda que la densidad absoluta es la densidad del solido del suelo

$$\rho_s = m_s / V_s \text{ despejando Volumen se tiene } V_s = m_s / \rho_s$$

la densidad del agua es:

$$\rho_w = m_w / V_w \text{ despejando el volumen tiene } V_w = m_w / \rho_w$$

donde el volumen que ingresa es igual al que desaloja estas espresiones tienen que igualar.

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_w} * \rho_w$$

De I se despeja la densidad absoluta:

$$\rho_s = G_s * \rho_w$$

Igualando y despejandno la mása de la humedad  $m_w = \frac{m_s}{G_s}$

Reemplazamos en la expresión II

$$m_{fws} = m_{fw} + m_s - (m_s / G_s)$$

despejando la densidad relativa:

$$G_s = \frac{m_s}{m_{fw} + m_s - m_{fws}}$$

**Tabla 4.9. Calibración de Frasco Volumétrico**

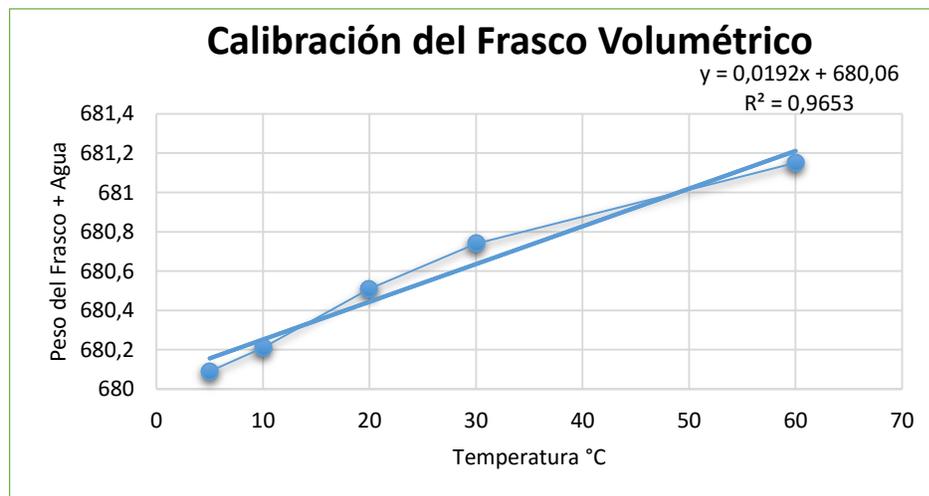
Calibración del frasco volumétrico

Peso del matraz = 199,3 gr.

Temperatura °C	Peso Frasco más agua (gr)
5	680,09
10	680,21
20	680,51
30	680,74
60	681,15

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.5 Calibración del Frasco Volumétrico**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.10. Peso Específico**

Peso del suelo húmedo:	60	gr
Peso del matraz :	199,3	gr

Identificación del frasco	1	2	3	4	5
Temperatura ensayada (°C)	60	30	20	10	5
Peso de suelo seco más tara	326,70				
Peso de la tara (gr)	248,20				
Peso del suelo seco $W_s$ (gr)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Peso del frasco más agua $W_{fw}$ (gr)	681,15	681,05	680,99	680,21	680,09
Peso del frasco + agua + suelo $W_{fws}$ (gr)	717,19	717,18	717,16	717,13	717,10
Peso Específico	2,50	2,51	2,52	2,60	2,61
Factor de corrección k	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso Específico corregido	2,49	2,51	2,52	2,60	2,61
Promedio	2,5				

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7. Consolidómetro Mecánico (edómetro)

**Consolidómetro.-** Aparato de laboratorio que permite conocer la compresibilidad del suelo resultado de su consolidación. En este permanece la muestra dentro de un anillo durante el ensayo, bien sea de manera fija o flotante y con piedras porosas en cada cara de la muestra. Dispositivo para la aplicación de cargas verticales, capaz de mantener cargas constantes con una precisión de  $\pm 0,5$  % de la carga aplicada en el momento.

Anillo de acero inoxidable u otro material que no presente corrosión ante el contacto con el material de las muestras; con borde cortante para tallar la muestra al diámetro deseado. Su rigidez debe garantizar que en el momento de aplicar la carga máxima, este no varíe su diámetro en una relación mayor de 0,3 %. EL diámetro mínimo del anillo debe ser de 60mm y su altura de 20 mm.

Piedras Porosas: Piedras porosas de material que garantice no ser susceptible a ser atacado por el contacto con las muestras o por la humedad, con características de porosidad que

impidan la entrada de las partículas de suelo en su estructura y que garanticen un óptimo drenaje durante el ensayo. El diámetro de las piedras debe ser entre 0,2 y 0,5 mm inferior al diámetro del anillo. Deben estar libres de fracturamiento y aportar la resistencia necesaria para evitar su rompimiento una vez sean aplicadas las máximas cargas.

Figura 4.4. Partes del Consolidómetro Mecánico (edómetro)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5. Equipo de Consolidómetro



Equipo de Consolidómetro	
1	Cèlula Edomètrica
2	Collarin
3	Tornillos de Fijaciòn
4	Pistòn de Carga
5	Piedras Porosas
6	Anillo

Fuente: Elaboración propia

**Temperatura:** para mantener inalterada la humedad de la muestra los sitios en donde se realizan los ensayos no deben tener variaciones de temperatura mayores a  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ , ni tampoco tener un contacto directo con la luz solar.

**Muestreo y Almacenamiento:** El muestreo de un suelo es la etapa previa al análisis y determinación de propiedades. Es probablemente la fase más importante para la obtención de datos analíticos que puedan considerarse seguros y poder hacer un dictamen verídico

sobre el suelo en análisis. Su almacenamiento debe garantizar que la muestra conserve su humedad natural y que no se presentes eventos de cambios de volumen en el mismo. Se debe evitar golpear las muestras y producir fisuras en las mismás.

La preparación de la muestra tendrá exactamente el mismo volumen que el del anillo. Para su manipulación y corte preciso se requiere el uso de herramientas de corte adecuadas. Teniendo en cuenta que el anillo tiene bordes afilados, este entrara a presión y tomara el volumen de muestra. Para retirar el material sobrante sobre las superficies se utilizarán sierras de alambre o espátulas, según sean las características del suelo. Durante este procedimiento se debe evitar golpear la muestra, producir vibraciones o torsiones con el fin de mantener intacta su estructura. Se puede hacer uso de una placa de vidrio en la cual se frota la muestra para remover el material de la cara inferior.

Figura 4.6. Anillo de acero para muestra



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7. Muestras con fill para evitar pérdida de humedad



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8. Consolidómetro Mecánico



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.11. Datos del ensayo de Consolidación**

Ws(Peso seco del espécimen)=	123	gr
Gs(Densidad de los sólidos)=	2,55	
Yw(Peso Esp, del Agua)=	1	g/cm3
Altura de la probeta =	2,0	cm
Diametro de la probeta =	6,1	cm
Area de la probeta=	29,22	cm2

H= (cm) 1,98

Ext. Vertical [ " ] = 0,0001

Peso en Kg.													
0,25		0,5		1		2		4		8		10	
Presión en Kg/cm2													
0,008554		0,017109		0,034218		0,068435		0,136871		0,273742		0,342177	
Tiempo [min]	Def. v X0,0001"	Tiempo [min]	Def. v X0,0001"	Tiempo [min]	Def. v X0,0001"	Tiempo [min]	Def. v X0,0001"	Tiempo [min]	Def. v X0,0001"	Tiempo [min]	Def. v X0,0001"	Tiempo [min]	Def. v X0,0001"
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	5	0	5	0	5	0	5	265	5	625	5	818
10	0	10	0	10	0	10	0	10	268	10	632	10	823
15	0	15	0	15	0	15	0	15	281	15	638	15	826
20	0	20	0	20	0	20	0	20	287	20	642	20	833
25	0	25	0	25	0	25	0	25	289	25	644	25	838
30	0	30	0	30	0	30	0	30	290	30	647	30	845
45	0	45	0	45	0	45	212	45	291	45	651	45	853
60	0	60	0	60	0	60	215	60	293	60	655	60	860
120	0	240	0	240	0	240	218	240	348	240	659	240	868
240	0	300	0	300	0	300	224	300	393	300	664	300	877
360	0	360	0	360	0	360	236	360	420	360	673	360	885

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.12. Consolidómetro – Método Taylor**

Método de Taylor													
T <sup>0,5</sup>	Lectura												
0	0	0,00	0,0000	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,24	0	2,24	0,0000	2,24	0	2,24	0,000	2,24	1,346	2,24	3,175	2,24	4,155
3,16	0	3,16	0,0000	3,16	0	3,16	0,000	3,16	1,361	3,16	3,211	3,16	4,181
3,87	0	3,87	0,0000	3,87	0	3,87	0,000	3,87	1,427	3,87	3,241	3,87	4,196
4,47	0	4,47	0,0000	4,47	0	4,47	0,000	4,47	1,458	4,47	3,261	4,47	4,232
5,00	0	5,00	0,0000	5,00	0	5,00	0,000	5,00	1,468	5,00	3,272	5,00	4,257
5,48	0	5,48	0,0000	5,48	0	5,48	0,000	5,48	1,473	5,48	3,287	5,48	4,293
6,71	0	6,71	0,0000	6,71	0	6,71	1,077	6,71	1,478	6,71	3,307	6,71	4,333
7,75	0	7,75	0,0000	7,75	0	7,75	1,092	7,75	1,488	7,75	3,327	7,75	4,369
10,95	0	15,49	0,0000	15,49	0	15,49	1,107	15,49	1,768	15,49	3,348	15,49	4,409
15,49	0	17,32	0,0000	17,32	0	17,32	1,138	17,32	1,996	17,32	3,373	17,32	4,455
18,97	0	18,97	0,0000	18,97	0	18,97	1,199	18,97	2,134	18,97	3,419	18,97	4,496

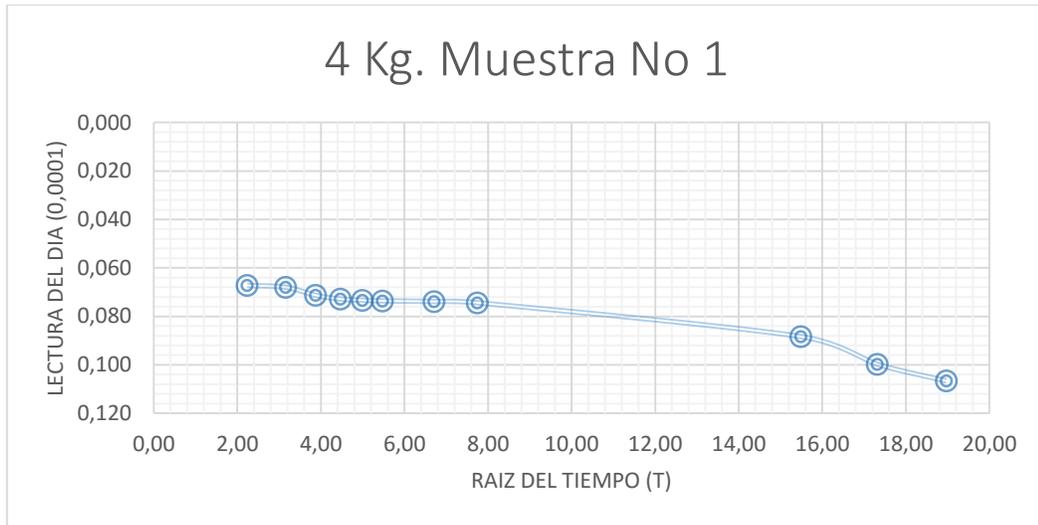
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.6. Curva de Consolidación con carga de 2kg de la muestra No 1**



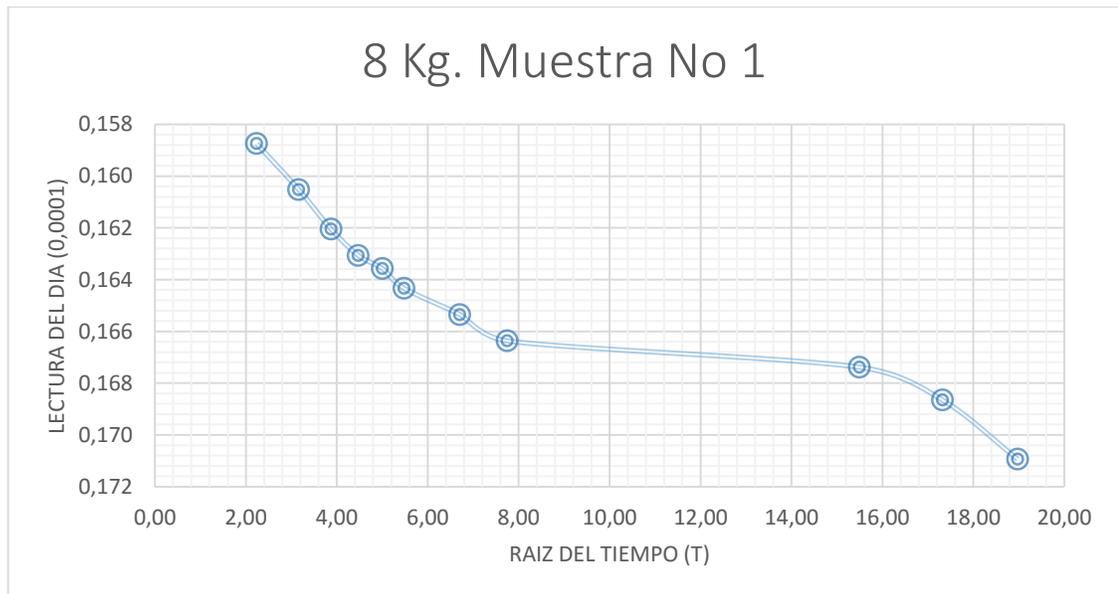
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.7. Curva de Consolidación con carga de 4kg de la muestra No 1**



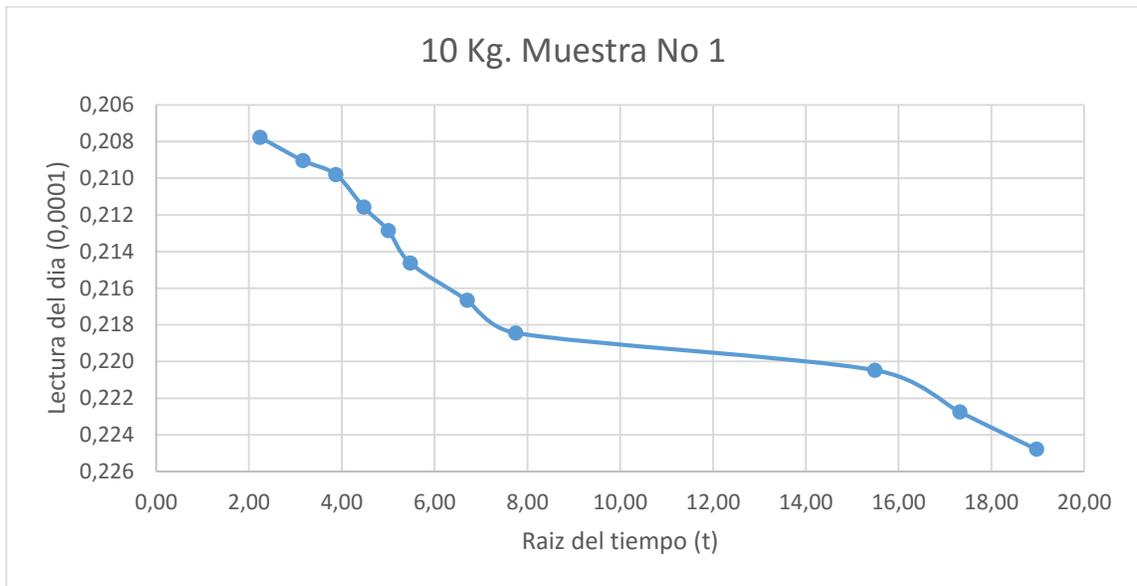
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.8. Curva de Consolidación con carga de 8kg de la muestra No 1**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.9. Curva de Consolidación con carga de 10kg de la muestra No 1**



Fuente: Elaboración propia

#### **4.8. Consolidómetro digital (edómetro) MARCA ACE EmS**

Primero armar la celula de carga con la piedra porosa en la parte inferior, despues sujetar con su reten para sujetar la piedra porosa.

Segunda parte colocar la muestra inalterada encima de la piedra porosa, colocado con el anillo para que la muestra no se deslice por los costados.

Tercero colocar la segunda piedra porosa encima de la muestra, siguiente colocar el collarin con sus tornillos para sujetar todo el equipo armado y por ultimo colocar encima de la piedra porosa el piston de carga por donde resivira las cargas que el aparato ya programado con las diferentes cargas que sera sometido la muestra.

Figura 4.9. Consolidómetro Digital



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10. Partes del Consolidómetro Digital



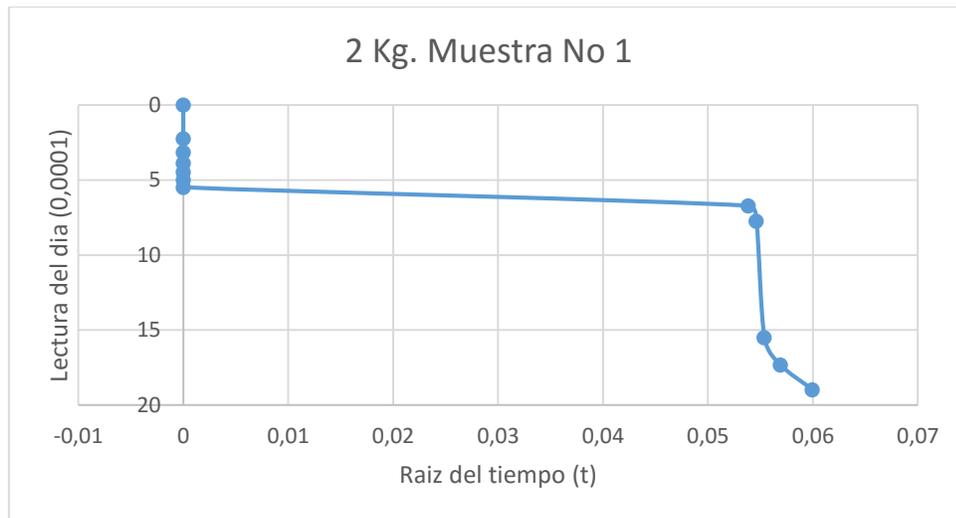
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11. Panel Digital del Consolidómetro



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.10. del Consolidómetro Mecánico**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.11. del consolidometro digital**



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, por las gráficas se nota que son muy parecidas donde se comporta el suelo en su consolidación en las maquinas utilizadas, se puede constatar que en el mecánico solo utilizamos hasta los 10 kg que genera una presión de  $0,342177 \text{ kg/cm}^2$  mientras que en el digital la presión que generamos 180 kPa que es un aproximado de 53,6415 kg de peso según la programación que demos donde podemos programar diferentes presiones desde 5kPa hasta 3500kPa como máximo según el producto.

**Tabla 4.13. del Consolidómetro Mecánico**

T <sup>0,5</sup>	Lectura												
0	0	0,00	0,0000	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,24	0	2,24	0,0000	2,24	0	2,24	0,000	2,24	1,346	2,24	3,175	2,24	4,155
3,16	0	3,16	0,0000	3,16	0	3,16	0,000	3,16	1,361	3,16	3,211	3,16	4,181
3,87	0	3,87	0,0000	3,87	0	3,87	0,000	3,87	1,427	3,87	3,241	3,87	4,196
4,47	0	4,47	0,0000	4,47	0	4,47	0,000	4,47	1,458	4,47	3,261	4,47	4,232
5,00	0	5,00	0,0000	5,00	0	5,00	0,000	5,00	1,468	5,00	3,272	5,00	4,257
5,48	0	5,48	0,0000	5,48	0	5,48	0,000	5,48	1,473	5,48	3,287	5,48	4,293
6,71	0	6,71	0,0000	6,71	0	6,71	1,077	6,71	1,478	6,71	3,307	6,71	4,333
7,75	0	7,75	0,0000	7,75	0	7,75	1,092	7,75	1,488	7,75	3,327	7,75	4,369
10,95	0	15,49	0,0000	15,49	0	15,49	1,107	15,49	1,768	15,49	3,348	15,49	4,409
15,49	0	17,32	0,0000	17,32	0	17,32	1,138	17,32	1,996	17,32	3,373	17,32	4,455
18,97	0	18,97	0,0000	18,97	0	18,97	1,199	18,97	2,134	18,97	3,419	18,97	4,496

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.14. Presiones Utilizadas en los Consolidómetros**  
CONVERSIÓN - EQUIVALENTES

1	kPa	0,0101972	kg/cm <sup>2</sup>				
PRESIÓN UTILIZADA EN EL MECÁNICO				PRESIÓN UTILIZADA EN EL DIGITAL			
0,25	kg.	0,008554	kg/cm <sup>2</sup>	15	kPa	0,152957	kg/cm <sup>2</sup>
0,5	kg.	0,017109	kg/cm <sup>2</sup>	25	kPa	0,254929	kg/cm <sup>2</sup>
1	kg.	0,034218	kg/cm <sup>2</sup>	50	kPa	0,509858	kg/cm <sup>2</sup>
2	kg.	0,068435	kg/cm <sup>2</sup>	80	kPa	0,815773	kg/cm <sup>2</sup>
4	kg.	0,1368708	kg/cm <sup>2</sup>	100	kPa	1,01972	kg/cm <sup>2</sup>
8	kg.	0,2737416	kg/cm <sup>2</sup>	150	kPa	1,52957	kg/cm <sup>2</sup>
10	kg.	0,342177	kg/cm <sup>2</sup>	180	kPa	1,83549	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.15. del Consolidómetro Digital**

9/5/2022	16:29:02					
Nr.	Time	Time	1	2	3	4
	mins	mins	kPa	kPa	mm	kPa
1	00:00:00:00	00000.000	2.653	180.000	1.686	00000.000
2	00:00:01:00	1.000	8.185	180.000	1.729	00000.000
3	00:00:02:00	2.000	4.573	180.000	1.743	00000.000
4	00:00:03:00	3.000	6.210	180.000	1.747	00000.000
5	00:00:04:00	4.000	2.427	180.000	1.753	00000.000
6	00:00:05:00	5.000	6.831	180.000	1.757	00000.000
7	00:00:06:00	6.000	00000.847	180.000	1.761	00000.000
8	00:00:07:00	7.000	1.806	180.000	1.764	00000.000
9	00:00:08:00	8.000	7.169	180.000	1.767	00000.000
10	00:00:09:00	9.000	00000.113	180.000	1.770	00000.000
11	00:00:10:00	10.000	39.798	180.000	1.772	00000.000
12	00:00:11:00	11.000	42.621	180.000	1.774	00000.000
13	00:00:12:00	12.000	3.895	180.000	1.776	00000.000
14	00:00:13:00	13.000	2.653	180.000	1.778	00000.000
15	00:00:14:00	14.000	2.540	180.000	1.779	00000.000
16	00:00:15:00	15.000	9.597	180.000	1.779	00000.000
17	00:00:16:00	16.000	2.145	180.000	1.780	00000.000
18	00:00:17:00	17.000	7.508	180.000	1.780	00000.000
19	00:00:18:00	18.000	8.016	180.000	1.781	00000.000
20	00:00:19:00	19.000	2.484	180.000	1.782	00000.000
21	00:00:20:00	20.000	2.710	180.000	1.783	00000.000
22	00:00:21:00	21.000	5.306	180.000	1.784	00000.000
23	00:00:22:00	22.000	-0000.000	180.000	1.786	00000.000
24	00:00:23:00	23.000	-0000.000	180.000	1.786	00000.000
25	00:00:24:00	24.000	-0000.000	180.000	1.787	00000.000
26	00:00:25:00	25.000	2.823	180.000	1.788	00000.000
27	00:00:26:00	26.000	5.250	180.000	1.788	00000.000

28	00:00:27:00	27.000	-0000.000	180.000	1.789	00000.000
29	00:00:28:00	28.000	4.403	180.000	1.790	00000.000
30	00:00:29:00	29.000	6.097	180.000	1.791	00000.000
31	00:00:30:00	30.000	7.565	180.000	1.792	00000.000
32	00:00:31:00	31.000	4.911	180.000	1.792	00000.000
33	00:00:32:00	32.000	00000.847	180.000	1.794	00000.000
34	00:00:33:00	33.000	6.210	180.000	1.794	00000.000
35	00:00:34:00	34.000	4.573	180.000	1.795	00000.000
36	00:00:35:00	35.000	2.823	180.000	1.796	00000.000
37	00:00:36:00	36.000	2.371	180.000	1.796	00000.000
38	00:00:37:00	37.000	6.944	180.000	1.797	00000.000
39	00:00:38:00	38.000	7.960	180.000	1.798	00000.000
40	00:00:39:00	39.000	9.879	180.000	1.799	00000.000
41	00:00:40:00	40.000	-0000.000	180.000	1.799	00000.000
42	00:00:41:00	41.000	9.710	180.000	1.800	00000.000
43	00:00:42:00	42.000	2.032	180.000	1.801	00000.000
44	00:00:43:00	43.000	6.266	180.000	1.801	00000.000
45	00:00:44:00	44.000	-0000.000	180.000	1.801	00000.000
46	00:00:45:00	45.000	8.073	180.000	1.802	00000.000
47	00:00:46:00	46.000	-0000.000	180.000	1.803	00000.000
48	00:00:47:00	47.000	2.202	180.000	1.803	00000.000
49	00:00:48:00	48.000	5.476	180.000	1.804	00000.000
50	00:00:49:00	49.000	44.258	180.000	1.804	00000.000
51	00:00:50:00	50.000	1.073	180.000	1.806	00000.000
52	00:00:51:00	51.000	-0000.000	180.000	1.806	00000.000
53	00:00:52:00	52.000	9.089	180.000	1.807	00000.000
54	00:00:53:00	53.000	4.516	180.000	1.807	00000.000
55	00:00:54:00	54.000	-0000.000	180.000	1.808	00000.000
56	00:00:55:00	55.000	00000.339	180.000	1.809	00000.000
57	00:00:56:00	56.000	3.218	180.000	1.808	00000.000
58	00:00:57:00	57.000	-0000.000	180.000	1.809	00000.000

59	00:00:58:00	58.000	00000.339	180.000	1.810	00000.000
60	00:00:59:00	59.000	2.823	180.000	1.810	00000.000
61	00:01:00:00	60.000	3.387	180.000	1.810	00000.000
				MIN	1.686	
				MAX	1.810	

Fuente: Elaboración propia

Entonces su asentamiento máximo en el Consolidómetro mecánico es de 0,4496 mm. Mientras que en el Consolidómetro digital su máximo asentamiento es de 1,810 mm.

Según el análisis la diferencia es de 15,0% a 20% que no es mucho por la cantidad de peso que utilizamos en el Consolidómetro Mecánico que ejercía una presión de 0,342177 kg/cm<sup>2</sup> mientras que en el digital se ejercía una presión de 180 kPa que representa una presión más o menos 1,83549 kg/cm<sup>2</sup> que representa un peso aproximado de 53,6415 kg.

Ósea la diferencia de cantidad de peso utilizado en el mecánico vs el digital es notable que en porcentaje y la gráfica los resultados son los mismos en su comportamiento del suelo.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**LABORATORIO DE SUELOS**



**TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS**

**Proyecto: COMPARACION DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES DE LOS SUELOS FINOS CONSOLIDÓMETRO MECÁNICO VS CONSOLIDÓMETRO DIGITAL**

**DATOS DE LOS CONSOLIDÓMETROS**

**CONSOLIDÓMETRO MECÁNICO**

PESO	PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	MIN.	MAX.
2 kg	0,0684354	0,212	0,236
4 kg	0,1368708	0,265	0,420
8 kg	0,273741601	0,625	0,673
10 kg	0,342177001	0,818	0,885

**CONSOLIDÓMETRO DIGITAL**

PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	MIN.	MAX.
0,1018592	0,351	0,495
0,2037183	0,623	0,699
0,4074367	1,245	1,398
0,5092958	1,556	1,748

**CARGAS PARA EL DIGITAL SEGÚN EL DIÁMETRO DE LA MUESTRA**

Día(cm)	5		
Alto	2		
Área	19,63		
Peso kg	2		
Presión	0,10186	10,0	kPa
	0,010197	1	kPa

Día(cm)	5		
Alto	2		
Área	19,63		
Peso kg	8		
Presión	0,40744	40,0	kPa
	0,0101972	1	kPa

Día(cm)	5		
Alto	2		
Área	19,63		
Peso kg	4		
Presión	0,20372	20,0	kPa
	0,010197	1	kPa

Día(cm)	5		
Alto	2		
Área	19,63		
Peso kg	10		
Presión	0,50930	49,9	kPa
	0,0101972	1	kPa

En laboratorio se cuenta con un ensayo de consolidación mediante edómetro unidireccional Mecánico (ASTM D2435 AASTHO T216) con un precio de muestra de 174,00 Bs.

En el ensayo de Consolidación mediante el edómetro digital el precio estimado por muestra sería lo siguiente.

**4.9. Precio general**

	<b>Proyecto: PROYECTO DE GRADO II</b>				
	<b>Cliente: UAJMS</b>				
	<b>Lugar: Sin determinar</b>				
	<b>Fecha: 06/oct/2022</b>				
	<b>Tipo de cambio: 6,96</b>				
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	CONSOLIDACIÓN DIGITAL	glb	1,00	400,85	400,85
	<b>Total presupuesto:</b>				<b>400,85</b>

#### 4.8.1. Precios unitarios

		Ítem: CONSOLIDACIÓN DIGITAL	Unidad: glb				
		Proyecto: PROYECTO DE GRADO II	Fecha: 06/oct/2022				
				Tipo de cambio: 6,96			
N°	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)	
	A	MATERIA					
1	-	EDOMETRO DIGITAL	PZA	1,00	220,00	220,00	
	D	TOTAL MATERIALES			(A) =	220,00	
	B	OBRERO					
1	-	Especialista	hr	1,00	40,00	40,00	
	F	Beneficios Sociales		35,00% de	(B) =	14,00	
	G	TOTAL MANO DE OBRA			(B+E+F) =	54,00	
	C	EQUIPO					
1	-	COMPUTADORA	pto	1,00	50,00	50,00	
	H	Herramientas menores		5,00% de	(B) =	2,00	
	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO			(C+H) =	52,00	
	J	SUB TOTAL			(D+G+I) =	326,00	
	L	Gastos Generales		3,00% de	(J) =	9,78	
	M	Utilidad		3,00% de	(J) =	9,78	
	N	PARCIAL			(J+K+L+M) =	345,56	
	O	IVA		3,00% de	(N) =	10,37	
	P	IT		13,00% de	(N) =	44,92	
>	Q	TOTAL ITEM			(N+O+P) =	<b>400,85</b>	
>		PRECIO ADOPTADO:				<b>400,85</b>	

**CÁPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CÁPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Después de realizar las pruebas en los aparatos y anotar los datos, se realizó los cálculos se analizó y se llegó a la conclusión que aparte de la diferencia de pesos utilizado en las pruebas y presiones a las diferentes muestras de los dos consolidómetros los resultados son muy similares a pesar del tamaño de las muestras entre el mecánico y el digital en un porcentaje de 15 a 20% por el cual los resultados son muy similares y como se muestra su comportamiento de los suelos en las distintas gráficas de los dos consolidómetros.
- En conclusión, por las gráficas se nota que son muy parecidas donde se comporta el suelo en su consolidación en las maquinas utilizadas, se puede constatar que en el mecánico solo utilizamos hasta los 10 kg que genera una presión de 0,342177 kg/cm<sup>2</sup> mientras que en el digital la presión que generamos 180 kPa que es un aproximado de 53,6415 kg de peso según la programación que demos donde podemos programar diferentes presiones desde 5kPa hasta 3500kPa como máximo según el producto.
- Vemos que el consolidómetro digital es más preciso y nos evita tener algún error que como realizar en el consolidómetro mecánico que tenemos que calcular con formulas, además el consolidómetro digital podemos realizar pruebas con grandes pesos y darnos un asentamiento o consolidación del suelo sin ningún error.

Conversión - Equivalentes

1	kPa	0,0101972	kg/cm2				
Presión utilizada en el mecánico				Presión utilizada en el digital			
0,25	kg.	0,008554	kg/cm2	15	kPa	0,152957	kg/cm2
0,5	kg.	0,017109	kg/cm2	25	kPa	0,254929	kg/cm2
1	kg.	0,034218	kg/cm2	50	kPa	0,509858	kg/cm2
2	kg.	0,068435	kg/cm2	80	kPa	0,815773	kg/cm2
4	kg.	0,1368708	kg/cm2	100	kPa	1,01972	kg/cm2
8	kg.	0,2737416	kg/cm2	150	kPa	1,52957	kg/cm2
10	kg.	0,342177	kg/cm2	180	kPa	1,83549	kg/cm2

- En la siguiente tabla notamos que con el peso que se utilizo en ambos consolidómetros pero con diferente presión debido al area de las muestras de cada

aparato y que la deformación que sufren es casi el doble eso debido a la diferencia de áreas de las muestras, pero sufren con el mismo comportamiento de la deformación según las Gráficas de cada prueba.

Consolidómetro mecánico				Consolidómetro digital		
Peso	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Min.	Max.	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Min.	Max.
2 kg	0,0684354	0,212	0,236	0,1018592	0,351	0,495
4 kg	0,1368708	0,265	0,420	0,2037183	0,623	0,699
8 kg	0,273741601	0,625	0,673	0,4074367	1,245	1,398
10 kg	0,342177001	0,818	0,885	0,5092958	1,556	1,748

- Aquí corroboramos que los asentamientos tiene su diferencia en un 15 a 20% en el mínimo y máximo eso debido por la diferencia de área de las muestras pero con los mismos pesos utilizados, en las gráficas muestra el mismo comportamiento en la deformación del suelo, donde tienen la misma tendencia en la deformación.

## 5.2 Recomendaciones

- Durante el proceso del consolidómetro mecánico hay que tener en cuenta que el aparato debe estar en un lugar rígido y sin que llegue la luz solar por que afecta a la muestra mientras está en saturación con agua.
- Tener en cuenta que en el uso del consolidómetro digital hay que tener en cuenta que el aparato reconozca el USB para el uso donde se guardará los datos de la prueba caso contrario se perderá y tendríamos una pérdida de una prueba.
- En el programa colocar el tiempo de los puntos de graficación más lejano así se evita tener una gran cantidad de datos para poder realizar la graficación, lo más recomendable sería cada 10 o 15 minutos los puntos que daría para la graficación.
- En el tiempo que corre el programa para realizar la prueba con las diferentes presiones se debería colocar un tiempo de 1 hora para cada presión así se podría colocar más cantidades de presiones con la cual se podría tener las cantidades de datos.
- Con el método de Taylor se pudo realizar la reducción del tiempo de las pruebas de consolidación mecánica pero como existía más compañeros que necesitan el aparato se tenía poco tiempo para realizar más cantidades de pruebas.

- En el consolidómetro mecánico hay que tener cuenta que no tiene que recibir golpes o movimientos bruscos por que causa saltos en el extensómetro asi lecturando con errores los datos donde se podría cometer errores en los cálculos.