



U.M.S.N.H.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

TESIS:

**“COMPORTAMIENTO GRANULOMÉTRICO MEDIANTE EL
HIDRÓMETRO PARA LAS ARCILLAS DE LA PRESA DE COINTZIO”**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.

PRESENTA: ING. ALFREDO CHÁVEZ VELÁZQUEZ.

**ASESOR DE TESIS: M. EN INGENIERIA. FELIPE DE JESÚS
JERÓNIMO RODRÍGUEZ.**

JUNIO DEL 2014.



AGRADECIMIENTOS.

Le agradezco a dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Isidro y Oliva por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unión familiar. A Juvenal, Ladislao y Elida por ser un ejemplo de desarrollo profesional, a Leonardo y Dariana por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

A mí esposa Ana, por ser parte importante de mi vida, por haberme apoyado en las buenas como en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores, por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

Gracias ingeniero Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez por creer en mí y haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis profesional en el laboratorio de MECÁNICA DE SUELOS, por todo el apoyo que nos ofreció el personal del laboratorio. Por darnos la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

A mi padre que aunque ya no se encuentre físicamente, siempre estará en mi corazón, por haber creído en mí hasta el último momento. ¡Ya soy ingeniero!



Indicé.

1.- INTRODUCCIÓN.	5
1.1.- Objetivo.	7
1.2.- Antecedentes.	8
2.- MARCO TEÓRICO.	10
2.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).	12
2.2.- Relaciones granulométricas y volumétricas.	16
2.2.1.-Peso volumétrico.	17
2.2.2.- Determinación de la humedad natural.	18
2.2.3.- Granulometría.	19
2.2.4.- Plasticidad.	20
2.2.5.- Determinación del límite líquido.	21
2.2.6.- Determinación del límite plástico e índice plástico.	22
2.2.7.- Determinación del límite de contracción.	23
2.2.8.- Análisis por sedimentación.	24
2.3.- Curvas granulométricas.	25
2.4.- Ley de Stokes.	28
2.5.- Prueba del hidrómetro.	30
2.5.1.- Hidrómetro.	31
2.5.2.- Defloculante.	32



3.- PRUEBAS DE LABORATORIO.	34
3.1.- Características geográficas del sitio.	35
3.2.- Humedad natural.	37
3.3.- Granulometrías.	40
3.4.- Límites de consistencia o de Atterberg.	46
3.4.1.- Determinación del límite líquido (LL).	47
3.4.2.- Determinación del límite plástico.	56
3.4.3.- Determinación de la contracción lineal.	59
3.4.4.- Determinación de la contracción volumétrica.	61
3.5.- Calibración de los matraces.	64
3.6.- Densidad de sólidos.	68
3.7.- Calibración del hidrómetro.	75
3.8.- Prueba del hidrómetro.	83
4.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	98
4.1.- Resultados de las pruebas índice.	98
4.2.- Resultados de las granulometrías.	99
5.- CONCLUSIÓN.	114
6.- BIBLIOGRAFÍA.	116



RESUMEN

El estudio de mecánica de suelos, como ya se sabe sirve para determinar el conjunto de características que nos permitirán obtener una concepción razonable del comportamiento mecánico del suelo en estudio.

La construcción nos lleva a una gran responsabilidad social como ingenieros civiles que somos; es por eso que debemos supervisar que cada uno de los materiales con los que se construirá, sean de la mejor calidad y a un bajo costo.

Los suelos son susceptibles a cambio de propiedades a medida que transcurre el tiempo. Es por eso que ha tomado gran importancia determinar su comportamiento realizando pruebas de laboratorio para así conocer las condiciones a las que será sujeto dicho suelo en análisis al ser llevada a cabo una construcción civil.

ABSTRACT.

The study of soil mechanics, as you know used to determine the set of features that allow us to obtain a reasonable understanding of the mechanical behavior of the soil under study.

The construction leads to a great social responsibility as civil engineers we are; is why we must monitor each of the materials to be built, are of the best quality at a low cost.

The soils are susceptible to change properties as time passes. That's why it has become very important to determine their behavior by performing laboratory tests in order to know the conditions will be subject to such soil analysis to be performed civil construction.

The characterization of soils, especially the fine size part is essential to establish the soil response to the constant changes of these by the saturation stress caused by constructions that develop on natural terrain.

PALABRAS CLAVE.

Hidrómetro.

Índices.

Mecánicas.

Densidades.



1.- INTRODUCCIÓN.

El estudio de mecánica de suelos, como ya se sabe sirve para determinar el conjunto de características que nos permitirán obtener una concepción razonable del comportamiento mecánico del suelo en estudio.

La construcción nos lleva a una gran responsabilidad social como ingenieros civiles que somos; es por eso que debemos supervisar que cada uno de los materiales con los que se construirá, sean de la mejor calidad y a un bajo costo.

Los suelos son susceptibles a cambio de propiedades a medida que transcurre el tiempo. Es por eso que ha tomado gran importancia determinar su comportamiento realizando pruebas de laboratorio para así conocer las condiciones a las que será sujeto dicho suelo en análisis al ser llevada a cabo una construcción civil.

La caracterización de los suelos, en especial la parte granulométrica fina es primordial para establecer la respuesta del suelo a los constantes cambios de estos por la saturación de esfuerzo producido por las construcciones que desarrollan sobre terreno natural.

Los suelos finos se consideran como el indicador más significativo de la calidad del suelo, ya que son los componentes más importantes para definir la calidad del suelo. La granulometría es una de las propiedades principales de definir en los suelos, es por eso que existen varios métodos para determinar las propiedades granulométricas de los suelos, es por esto la importancia de esta tesis.

Para este trabajo utilizamos suelos extraídos de los bancos de materias del municipio de Irimbo, ya que este municipio tiene la mayor concentración de hornos y es el centro productivo más importante del Estado de Michoacán en la elaboración de productos para la construcción a base de arcilla en cuanto a calidad y diversidad respecta.

El método de análisis granulométrico con el hidrómetro es la base principal de esta tesis en donde se caracteriza el comportamiento granulométrico de los suelos o de las muestras trabajadas, se basa en el principio de la sedimentación de las partículas de suelo en agua.

Para llevar a cabo las pruebas de laboratorio requeridas para para el presente trabajo se ensayaron 5 muestras representativas. Mediante el uso del hidrómetro, el cual se calibra y se determina el diámetro máximo de las partículas de suelo en suspensión mediante la ley de Stokes.



Los trabajos realizados en el laboratorio consistieron en obtener las propiedades índices y mecánicas de todas las muestras extraídas de los bancos de material de Irimbo, para posteriormente hacer el análisis mediante la prueba del hidrómetro.

Los estudios fueron realizados en el laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la UMSNH en el área de Mecánica de Suelos.

Después de hacer las calibraciones del hidrómetro y las correcciones por temperatura, menisco, altura de caída necesarias para el uso de este método, se procede a analizar 5 muestras de material, a las cuales previamente se le realizaron pruebas índice, mecánicas y posteriormente la prueba del hidrómetro.



1.1.- Objetivo.

El principal objetivo del análisis del hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0.002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica cuando más del 12% del material pasa a través del tamiz No.200 no se utiliza como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva. La conducta de la fracción de suelo cohesivo del suelo dado depende principalmente del tipo y porcentaje de arcilla de suelo presente, de su historia geológica y del contenido de humedad más que de la distribución misma de los tamaños de partícula.

El análisis del hidrómetro utiliza la relación entre la velocidad de caída de esferas en un fluido, el diámetro de las esferas, el peso específico tanto de la esfera como del fluido y la viscosidad del fluido, en la forma expresada por el físico Ingles G. G. Stokes en la ecuación conocida como la ley de Stokes.



1.2.- Antecedentes.

El método más usado para hacer la determinación indirecta de porcentajes de partículas que pasan el tamiz No. 200 (0.075 mm.), hasta 0.001 mm, es el HIDRÓMETRO basado en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido, el hidrómetro sirve para la determinación de la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo y medir la altura de caída del gramo de tamaño más grande correspondiente a la densidad media.

El análisis del hidrómetro se utiliza la relación entre la velocidad de caída entre las esferas de un fluido, el diámetro de la esfera, el peso específico tanto de la esfera como del fluido, y la viscosidad del fluido, en la forma expresada por la ley de Stokes.

Al mezclar una cantidad de suelo con agua y un pequeño porcentaje de un agente dispersante para formar una solución de 1000 ml se obtiene una solución con una gravedad específica ligeramente mayor que 1.0 a 4 grados centígrados. El agente dispersante o defloculante se añade a la solución para neutralizar las cargas sobre las partículas más pequeñas del suelo, que a menudo tienen carga negativa.

El hidrómetro determina la gravedad específica de la suspensión AGUA - SUELO en el centro del bulbo. Todas las partículas de mayor tamaño que aquellas que se encuentran aún en suspensión en la zona mostrada como L (la distancia entre el centro del bulbo y la superficie del agua), habrán caído por debajo de la profundidad del centro de volumen, y esto hace decrecer permanentemente la gravedad específica de la suspensión en el centro del volumen del hidrómetro. Además es obvio que como el hidrómetro tiene un peso constante a medida que disminuye la gravedad específica de la suspensión aumenta la distancia L. Es preciso recordar también, que la gravedad específica del agua cambia con la temperatura, esto ocasiona un hundimiento mayor del hidrómetro dentro de la suspensión.

$$v = ((2*Y_s - Y_f)/9*n)*(D/2)^2 \quad (1)$$

Dónde:

v = Velocidad de caída de la esfera, cm/s

Y_s = Peso específico de la esfera, g/cm³

Y_f = Peso específico del fluido (usualmente agua)

n = Viscosidad absoluta, o dinámica del fluido, g/(cm*s).

D = Diámetro de la esfera, cm.

$g = 980.7 \text{ cm/s}^2$.



Al resolver la ecuación (1) para D utilizando el peso específico del agua, se obtiene:

$$D = (18 \cdot n \cdot v) / (sY - Y_w) \text{ cm} \quad (2)$$

El rango de los diámetros de partículas de suelo para los cuales esta ecuación es válida, es aproximadamente:

$$0.0002 \leq D \leq 0.2 \text{ mm}$$

Pues los granos mayores causan excesiva turbulencia en el fluido y los granos muy pequeños están sujetos a movimientos de tipo Browniano.

Obviamente para resolver la ecuación (2) es necesario obtener el término de velocidad v , conocer los correctos valores de Y_s y Y_w y tener acceso a la tabla de viscosidad del agua.

Como el peso específico del agua y su viscosidad varían con la temperatura, es evidente que esta variable debe ser también considerada.

Para obtener la velocidad de caída de las partículas se utiliza el hidrómetro. Este aparato se desarrolla originalmente para determinar la gravedad específica de una solución, pero alternando su escala se puede utilizar para leer otros valores.

Para nuestro ensayo la lectura del hidrómetro se utilizará para calcular la profundidad efectiva H_r . Con H_r la temperatura y el tiempo registrada en el momento del ensayo y con la gravedad específica del suelo entramos al "NOMOGRAPHIC CHART FOR SOLUTION OF STOKES' LAW" para encontrar la velocidad y el diámetro de las partículas que se encuentran en la solución.



2.- MARCO TEÓRICO.

Una de las principales necesidades de la mecánica de suelos es obtener la clasificación y calidad de los suelos para poder así conocer sus ventajas y desventajas en el ámbito de la construcción y otras actividades del interés de la ingeniería civil esto traerá grandes ventajas para agilizar, economizar y facilitar las diferentes actividades que contribuyan al mejoramiento de nuestra vida y las necesidades que ésta nos exige como son: construcción de caminos y pavimentos, agricultura, minería o geomecánica.

La clasificación, calidad del suelo, y sus diferentes distribuciones de tamaños, es una característica física más importante, pues a través de ella, se puede conocer el comportamiento físico del suelo, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes que éste contenga.

La clasificación indica la proporción de partículas por las que está conformado el suelo, ya sea por gravas, arenas, arcillas y limos, los cuales están clasificados en partículas finas y gruesas.

La determinación de distribución, clasificación y caracterización de tamaños de partículas es el proceso de interés para nuestro trabajo.

Para obtener la clasificación de los suelos existen varios métodos de clasificación.

Para nuestro caso, las distintas clasificaciones de suelos intentan capturar y describir las características de los materiales que se utiliza en las pruebas de laboratorio para hacer más fácil la realización del proyecto.

Las diferentes clasificaciones son:

- 1) El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- 2) El Sistema de la Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO).
- 3) El método propuesto por la Federal Aviation Administration (FAA).
- 4) Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).
- 5) La taxonomía del Eurocódigo, entre otros.



Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) < 0.075	

Uno de los sistemas de clasificación de suelos más usados en la actualidad es el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), el cual fue desarrollado por el Dr. Arturo Casagrande en el año 1942 para aeropuertos.



2.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

La clasificación de los suelos fue uno de los primeros objetivos de la mecánica de suelos. Antiguamente dicha clasificación se hacía en base a criterios puramente descriptivos. Actualmente dicha clasificación de suelos está basada en las propiedades mecánicas de los suelos. El sistema que utilizamos para la clasificación de las distintas muestras, fue el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual deriva directamente del sistema de clasificación de aeropuertos, propuesto en 1942 por el Dr. Arturo Casagrande, en la universidad de Harvard, y orientado hacia obras aeroportuarias. El SUCS, es actualmente el sistema más empleado en el mundo, y funciona dividiendo el suelo en dos grandes grupos. El primero es la fracción “gruesa”, que está conformada por las partículas mayores a la malla #200 (0.074mm). Y el segundo es la parte “fina”, la cual está conformada por todas aquellas partículas menores a la malla 200.

Se considera un suelo grueso, cuando el 50% del peso de la muestra queda retenido en la malla 200. Los suelos gruesos se subdividen en:

- a) gravas de símbolo genérico G.
- b) arenas, de símbolo genérico S.

Las gravas y las arenas se separan con la malla #4 (4.76mm). Se considera como grava a todo el material retenido en dicha malla. El material que pasa la malla #4 y es retenido en la malla #200, es una arena.

Estos grupos se G y S, se subdividen en cuatro grupos más, en función de su gama de tamaños, de la presencia de finos y la plasticidad de los mismos. De esta forma a cada grupo formado se la asigna un símbolo conformado por dos letras mayúsculas.

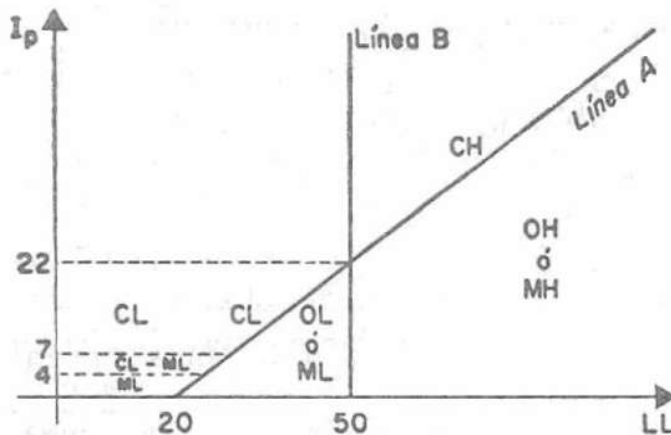
Cuando el 50% del peso total de la muestra traspasa la malla #200, se dice que el suelo es fino. De la misma forma que los suelos gruesos, los finos se subdividen en tres grupos, en función de su índice plástico (IP). Estos tres grupos son:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo genérico M.
- b) Arcillas inorgánicas, de símbolo C.
- c) Arcillas y limos orgánicos de símbolo genérico O.

Al igual que los suelos gruesos, el símbolo consta de dos letras, esta segunda letra es asignada en función de su grado de compresibilidad, definida por el límite líquido (LL), esta segunda letra puede ser H, para una alta compresibilidad o L, para baja compresibilidad.



Las divisiones entre los grupos de suelos finos son claramente definidas en la carta de plasticidad.



Sobre la línea A

Arcillas inorgánicas.

Debajo de la línea A

Limos y arcillas orgánicas.

Este sistema dividió a los suelos en dos grupos para que así fuera más fácil su clasificación:

- 1) **La primera** está clasificada como la fracción gruesa, y está conformada por las partículas con diámetro mayor al de la malla # 200 (0.074 mm.). Para considerar que un suelo es grueso, el peso del material deber ser más del 50% del total del peso de toda el material utilizado. Los suelos gruesos a su vez se subdividen en gravas (G) y arenas (S).

Para separar las gravas y arenas se utiliza la malla # 4 (4.16mm.), las gravas son las retenidas en la malla #4 y arenas son las que pasan la malla # 4.



Prefijos

(G) Gravas	El 50% o más es retenido por la malla #4
(S) Arenas	Sí más del 50% pasa la malla # 4

Sufijos

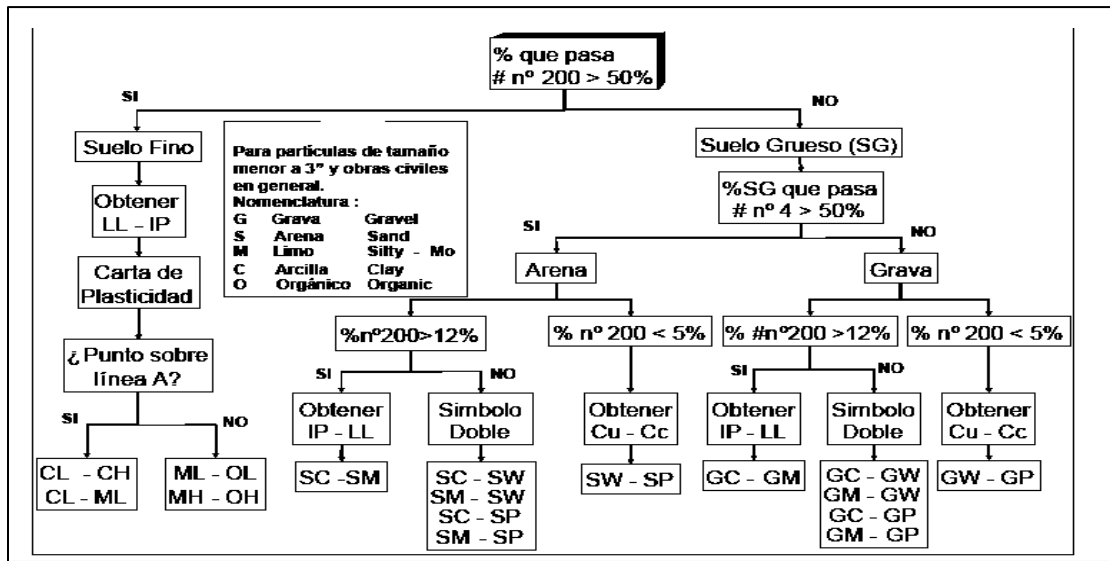
W	Bien gradado		P	Mal gradado	Depende del Cu y Cc
M	Limoso		C	Arcilloso	Depende de WL y el IP

Si menos del 5% pasa la malla #200, los sufijos son W o P, según los valores de Cu y Cc. Si más del 12% pasa la malla #200, los sufijos son M o C, dependiendo de WL e IP. Si el porcentaje de finos está entre el 5% y el 12%, se utilizan sufijos dobles (clase intermedia).

La segunda que es la fracción fina y está conformada por las partículas con diámetro menor al de la malla # 200 (0.074 mm.). Los suelos se consideran finos cuando más del 50% del peso del material pasa la malla # 200 (0.074 mm.). Los suelos finos también se subdividen en tres grupos, en función de su índice plástico (IP) las cuales son: Limos Orgánicos (M), Arcilla inorgánica (C), Arcilla y limos orgánicos (O).

Prefijos		Sufijos	
M	Limo	L	Baja plasticidad (WL > 50%)
C	Arcilla	H	Alta plasticidad (WL > 50%)
O	Orgánico		

Esta clasificación está basada sólo en los límites de Atterberg para la fracción que pasa la malla 40 y se obtiene a partir de la Carta de Plasticidad.





2.2.-Relaciones granulométricas y volumétricas

Todos los suelos se componen de tres fases, sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está constituida por las partículas minerales, la parte líquida está representada principalmente por agua, y la parte gaseosa por aire. Todas las fases ocupan un determinado volumen, y representan un determinado peso, con respecto al total de una mezcla. Las relaciones entre el peso de las distintas fases constituyentes del suelo y el volumen que éstas ocupan, dan lugar a relaciones gravimétricas y volumétricas.

Es posible determinar estas relaciones en el laboratorio mediante métodos relativamente sencillos y son de gran importancia dentro de la mecánica de suelos, ya que son necesarios para la correcta aplicación de las distintas teorías y brindan significado y sentido físico a las distintas propiedades mecánicas del suelo.



2.2.1.- Peso volumétrico.

El peso volumétrico en estado natural del suelo o peso específico de la masa de suelo, es la relación entre el peso del mismo y el volumen que ocupa.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Donde : W_m : es la masa del suelo.

V_m : es el volumen total de la muestra de suelos.



2.2.2.- Determinación de la humedad natural.

El contenido de agua de un suelo o contenido de humedad es la relación entre el agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida, y se expresa en forma de porcentaje. Este puede variar entre 0 e ∞ dependiendo de las condiciones de la humedad del sitio donde se localice el suelo. La cantidad de agua se obtiene mediante la diferencia de peso entre el suelo natural y el suelo secado en horno. La relación que expresa la humedad de un suelo es la siguiente.

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde: W_w : es el peso del agua.

W_s : es peso del suelo seco.



2.2.3. Granulometría.

Como ya hemos visto, la granulometría es muy importante en el proceso de clasificación de suelos, ya que permite en primera instancia separar la fracción gruesa de la fina. Además las características del tamaño de las partículas de un suelo, tienen gran importancia en su comportamiento mecánico, e influyen considerablemente en la compactación adecuada de suelos. La estabilidad de un suelo depende de su cantidad de vacíos, mientras ésta sea menor mejor será el comportamiento del mismo. Para lograr que los vacíos de un suelo sean reducidos al mínimo es necesario que el material tenga una gama de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupados por partículas más pequeñas.

La forma de medir el tamaño de las partículas del suelo grueso es mediante el cribado, consiste en pasar el material a través de una sucesión de mallas de aberturas distintas, y pesar el material retenido en cada malla, expresándolo en forma de porcentaje respecto al peso total de la muestra.

Nosotros realizamos el análisis granulométrico simplificado, el cual nos permite eliminar una serie de mallas, cuyo tamaño es apreciablemente mayor al tamaño del suelo. De esta forma utilizamos las mallas números 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200.

El procedimiento de cribado es aplicable solamente a las partículas gruesas del suelo, es decir a las mayores a 0.075mm, representada por la malla #200. Debido a esta condición, primeramente separamos las partículas gruesas de las finas a través de un lavado, el cual consiste en mezclar el suelo con agua, permitiendo que las partículas finas queden suspendidas en el líquido y se filtran a través de la malla #200, el análisis granulométrico para las partículas finas se determino por medio de la prueba del hidrometro, el cual describiéremos mas adelante.



2.2.4. Plasticidad.

En la mecánica de suelos la *plasticidad se puede definir como la propiedad de un material por el cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse o agrietarse.*

Atterberg determinó que la plasticidad de las arcillas es una propiedad circunstancial, que depende directamente de la cantidad de agua presente en el suelo. Es decir un mismo suelo puede pasar de un estado sólido con plasticidad nula, hasta un estado líquido donde el suelo se encuentre en forma de suspensión. El comportamiento plástico del suelo se da entre estos dos extremos. Atterberg determinó los siguientes estados de consistencia de un suelo de acuerdo al contenido decreciente de agua.

- 1.- Estado líquido. Tiene las propiedades y apariencia de una suspensión.
- 2.- Estado semilíquido. Tiene las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- Estado plástico. El suelo se comporta plásticamente.
- 4.- Estado semisólido. Tiene apariencia sólida pero presenta disminuciones de temperatura durante el secado.
- 5.- Estado sólido. El volumen del suelo ya no varía durante el secado.

La determinación de las fronteras entre estos se hace de forma convencional mediante lo que Atterberg llamo límites de consistencia.

Para nuestro estudio solo nos interesa el límite líquido, que es el límite entre los estados semilíquido y plástico que es la frontera entre los estados plásticos y semisólido. A estos dos límites se le conoce como los límites de plasticidad y existe la siguiente relación entre ellos.

$$I_p = LL - LP$$

Donde: I_p : es el Índice plástico.
 LL : es el límite líquido.
 LP : el límite plástico.



2.2.5. Determinación del límite líquido.

La determinación del límite líquido se hace mediante la copa de Casagrande, para la cual necesitaremos material cribado en la malla #40. Esta prueba consiste básicamente en depositar el material y ranurarlo, una vez ranurado se golpea la cápsula, dejándola caer desde una altura de 1cm, hasta que la ranura en el suelo se cierre en una longitud de 1.27cm, una vez que el material se haya cerrado se determina el contenido de la humedad de la muestra.

Esta prueba se realiza tres veces, con diferentes humedades, de tal forma que obtengamos valores entre 6 y los 35 golpes. El objeto de estas pruebas es el de determinar mediante una gráfica el número de golpes, contra contenido de agua (W%), en la gráfica se ajustan los puntos obtenidos a una recta. A partir de esta recta, se busca la ordenada correspondiente a 25 golpes.



2.2.6. Determinación del límite plástico e índice plástico.

Para la determinación del límite plástico se hace formando rollitos de 3mm de espesor hechos de una pasta de suelo, estos se hacen una y otra vez hasta que estos alcancen los 3mm de grosor. En ese momento se dice que llegó a su límite plástico. De igual forma este proceso se realiza tres veces, de tal forma que el valor del límite plástico sea el promedio de estas tres pruebas.

El índice plástico es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Además de los límites de plasticidad, determinamos el límite de contracción que tenga la frontera entre los estados semisólidos y sólidos.



2.2.7. Determinación del límite de contracción.

Además de los límites de plasticidad, determinaremos el límite de contracción que tenga la frontera entre los estados semisólidos y sólidos.

El límite de contracción, el límite entre los estados semisólido y sólido, y es definido como el contenido de agua con que el suelo deja de disminuir su volumen al seguirse secando.

La determinación del límite de contracción se obtiene midiendo el peso y el volumen de una muestra de suelo, contenido en un recipiente de volumen definido. El límite de contracción está dado por la expresión.

$$LC\% = \frac{W_1 - W_s - (V_1 - V_2) \gamma_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

- W_1 : peso húmedo de la muestra
- W_s : peso seco de la muestra
- V_1 : volumen inicial de la muestra
- V_2 : volumen final de la muestra



2.2.8. Análisis por sedimentación.

El análisis por sedimentación se da cuando un suelo fino es dispersado en agua o en alguna solución.

El análisis mecánico por hidrómetro está basado en el principio de sedimentación de las partículas del suelo fino en suspensión. Cuando un suelo fino es dispersado en agua, las partículas sedimentarán a diferentes velocidades, dependiendo de su textura, tamaño y masa, además de la viscosidad del agua. Para simplificar el análisis, se asume que las partículas tienen forma esférica de tal manera que puede utilizarse la ley de Stokes para describir su comportamiento.

Existen 2 métodos por sedimentación como son el método del hidrómetro y el método de la pipeta.

“Ambos basados en las características de la sedimentación de las partículas del suelo en un medio acuoso”. Estos son aplicables solo para suelos finos que pasa la malla #200, material constituido por limos y arcillas. Y a distribución de las partículas con tamaño superior a 0.074 se determina mediante cribado, con una serie de mallas de diferentes tamaños de aberturas.

Para suelos finos es necesario la aplicación de estos métodos ya por dificultarse más el cribado se utiliza el Método del Hidrómetro, basados en la Ley de Stokes.

Para partículas menores que 0.074 mm, su tamaño se determina observando la velocidad de sedimentación de las partículas en una suspensión de densidad y viscosidades conocidas para este proyecto de tesis utilizaremos la prueba del hidrómetro.

2.3. Curvas granulométricas.

La distribución del tamaño de las partículas que constituyen un suelo grueso se puede expresar gráficamente mediante una Curva de Distribución Granulométrica. Para trazar dicha curva se usa el eje de las ordenadas a fin de localizar el porcentaje de partículas en peso, cuyo tamaño resulta menor que el diámetro dado por eje de las abscisas.

Entonces, una curva granulométrica nos indica en general el tamaño de los granos y la buena o mala graduación de estos.

A partir de la curva de distribución granulométrica pueden obtenerse dos importantes indicadores que caracterizan a un suelo.

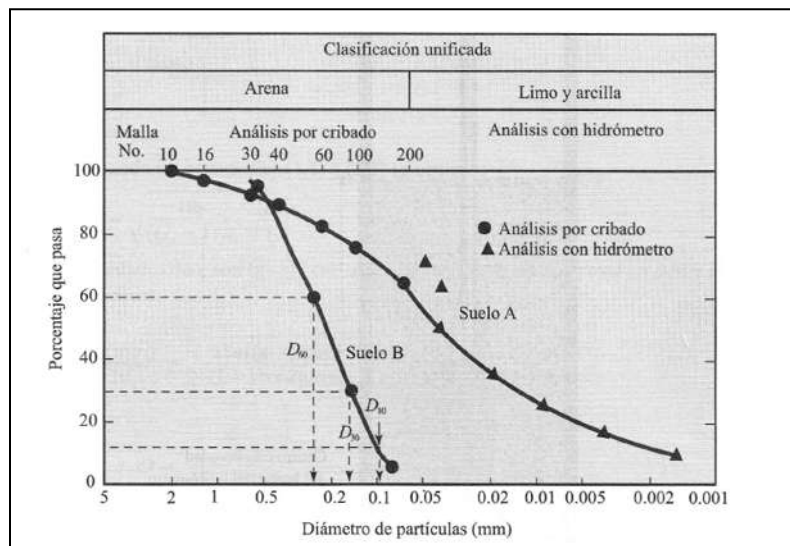


Fig. 2.5. Curvas Granulométricas



El Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc).

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}}$$

Dónde:

D_{10} = Diámetro Efectivo, ósea el diámetro que corresponde a las partículas cuyo tamaño es mayor o igual que el 10 % en peso del total de partículas de un suelo.

D_{30} = Diámetro de partículas, cuyo tamaño es mayor o igual que el 30 % en peso del total de partículas.

D_{60} = Diámetro de partículas cuyo tamaño es mayor o igual que el 60 % del peso total de las partículas.

El coeficiente de uniformidad (Cu) representa la extensión de la curva de distribución granulométrica, es decir, a mayor extensión de esta curva, se tendrá una mayor variedad de tamaños, lo que es propio de un suelo bien graduado.; generalmente esto se cumple en arenas para un $Cu > 6$, y en gravas con un $Cu > 4$.

El coeficiente de curvatura (Cc) nos indica una curva granulométrica constante, sin “escalones”; esto se cumple tanto en arenas como gravas para cuando $1 < Cc < 3$.

Por lo tanto ambos coeficientes sirven para indicarnos de una manera práctica y sencilla en el laboratorio cuando un suelo se encuentra bien graduado o mal graduado.

La materia fina del suelo es fundamental para mantener la estructura del suelo, retener el agua necesaria.



Para nuestro caso de estudio será vital conocer la clasificación fina ya que los porcentajes que pasan la malla # 200 (0.074 mm) es muy difícil conocer sus propiedades debido a que la curva granulométrica ya no tiene clasificación es por eso que se utiliza la prueba del hidrómetro, esta prueba es la más certera para conocer las granulometrías del material que pasa la malla # 200 (0.074 mm).



2.4. Ley de Stokes.

“Sobre todo cuerpo que se mueve en un fluido viscoso actúa una fuerza resistente que se opone al movimiento. La Ley de Stokes expresa que para cuerpos esféricos el valor de esta fuerza es”:

$$F_r = 6\pi\eta r v$$

Stokes determinó que la velocidad de caída de una esfera perfecta en un medio fluido es directamente proporcional a la diferencia de los pesos específicos de la esfera y el líquido, y al cuadrado del diámetro de la esfera, e inversamente proporcional a la viscosidad de la masa líquida. Estableciendo así la siguiente expresión analítica:

Dónde:

v	=	Velocidad de caída de la partícula.
g_s	=	Peso unitario de los sólidos del suelo.
g_w	=	Peso unitario del agua.
h	=	Viscosidad dinámica del fluido.
D	=	Diámetro de la partícula con forma esférica.

De esta fórmula, podemos despejar el diámetro de la esfera que se sedimenta:

$$D^2 = [18 \cdot \eta - (\gamma_s - \gamma_w)] \cdot v$$

$$D = \sqrt{[18 \cdot \eta - (\gamma_s - \gamma_w)] \cdot v}$$



Sabemos que la velocidad no es más que el espacio recorrido en una unidad de tiempo, en consecuencia, si designamos el espacio recorrido por L y el tiempo por t , la fórmula se transformaría en :

$$D = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta}{\gamma_s - \gamma_w}} \cdot \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Si suponemos esféricas las partículas finas de un suelo, la expresión anterior nos dará el diámetro de ellas en función de su velocidad de sedimentación. Para poder separar los porcentajes de cada tamaño de partículas, recurriremos al ensayo por hidrómetro.

Stokes (1851) investigó el caso particular del movimiento de una esfera en un medio viscoso y encontró una expresión para la fuerza viscosa que se opone al movimiento, para el caso en que este movimiento (esfera respecto al fluido) sea tal que se conserven las condiciones de flujo laminar.

Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

La ley de Stokes aplicada a partículas de suelo real, que se sedimentan en agua, es válida solamente en tamaños menores de 0.2 mm aproximadamente (ya que tamaños mayores afectarían a la ley de sedimentación considerablemente debido a la turbulencia).



2.5. Prueba del hidrómetro.

La prueba del hidrómetro tiene como propósito determinar el tamaño de las partículas menores a 0.075mm (malla 200), esta prueba está basada en la ley de Stokes, que dice que la velocidad de sedimentación de las partículas disueltas en un fluido es función de su tamaño. Aplicando esta ley a la mecánica de suelos, podemos determinar el diámetro equivalente de una partícula de suelo, en función de la velocidad con la que esta se sedimenta en una suspensión. Dichas velocidades pueden obtenerse midiendo el peso específico relativo de una suspensión de suelo, a una misma profundidad y en distintos tiempos.

Se debe considerar que la teoría supone las partículas de suelo como equidimensionales, (esféricas), y por eso obtenemos el diámetro equivalente de la partícula, sin embargo en la mayoría de los suelos finos, la forma de las partículas es laminar y el tamaño de la partícula puede variar considerablemente respecto al diámetro obtenido. No es raro obtener curvas granulométricas iguales para materiales completamente distintos. Por lo tanto la plasticidad del material es la que realmente identifica a los suelos finos tal como lo indica la clasificación SUCS en la tabla de plasticidad. De acuerdo con la clasificación internacional, el tamaño de grano de los limos, esta entre 0.02 y 0.002mm y las arcillas se encuentran en el rango de 0.002 y 0.0002mm. Para la prueba se utiliza una suspensión de agua destilada y glicerina como defloculante, y una concentración de material de 50g/Lt. de solución, con esta concentración se evita que las partículas choquen entre sí mientras se precipitan. La prueba del hidrómetro se realizó a los 3 y 4, en los cuales el contenido de partículas finas es mucho mayor que el de partículas gruesas.



2.5.1. Hidrómetro.

El hidrómetro o densímetros como algunas personas lo conocemos, es un instrumento que nos sirve para la determinación de la variación de la densidad relativa de algunos líquidos en suspensiones mediante el transcurso del tiempo y medir la altura de caída del gramo de tamaño más grande correspondiente a la densidad media.

El hidrómetro está fabricado con vidrio consta de un vástago en el cual se encuentra una escala de papel numerada y de un bulbo, en cuya parte inferior se encuentra un lastre. El hidrómetro de no es más que un densímetro al cual se ha colocado una escala capaz de medir gramos de suelo en suspensión. Consta de un tallo cilíndrico y una bombilla cargado con mercurio o plomo tiro para hacer que flote en posición vertical. El líquido a ensayar se vierte en una jarra alta, y el hidrómetro es ligeramente bajo en el líquido hasta que flote libremente. El punto en el que la superficie del líquido toca el vástago del hidrómetro se observa. Hidrómetros generalmente contienen una escala de papel dentro de la madre, por lo que el peso específico se pueden leer directamente.



2.5.2. Defloculante.

El defloculante es un agente dispersor de grumos que se tienden a formar entre si las partículas finas durante el proceso de sedimentación, anulando las fuerzas de atracción de partículas sólidas en suspensión acuosa. También actúa tanto por efecto estérico como aumentando el pH este se utiliza para neutralizar las cargas sobre las partículas más pequeñas de suelo que por lo general cuentan con carga negativa.

Una gran parte de sólidos no se sedimentan, pueden ser partículas coloidales. Cada una de estas partículas coloidales, se encuentran estabilizadas por una carga de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas. Esto impide que se formen masas mayores, llamadas flóculos y por lo tanto las partículas no se sedimentan. La coagulación y floculación se producen de manera simultánea. La coagulación es la desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, mientras que el proceso de floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas desestabilizadas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración, es decir, la floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microfloculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para desestabilizar el sistema coloidal. Un mezclado de gran intensidad que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas es lo más efectivo. También son importantes la coagulación, la frecuencia y el número de colisiones entre las partículas.

Una vez que se ha añadido el coagulante y se ha realizado la operación de coagulación se pasa a la formación de flóculos mayores. Puede ocurrir que el flóculo formado por la aglomeración de varios coloides sea lo suficientemente grande para sedimentarse con la rapidez deseada. Por ello, es conveniente utilizar productos coadyuvantes de la floculación o simplemente denominados floculantes. La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos. Un mezclado demasiado lento o muy rápido los rompe y rara vez se vuelven a formar en su tamaño óptimo. Una buena floculación favorece el manejo de los residuos finales.

En la etapa de desestabilización, se puede iniciar la formación de flóculos “primarios” que aún no son sedimentables (de 1 a 100 μm). Con la etapa de floculación los agregados superan 100 μm y se vuelven sedimentables.



A lo largo de los años, se han empleado muchas sustancias de diversa naturaleza, como agentes de precipitación, las más comunes se presentan. El grado de clarificación resultante depende tanto de la cantidad de productos químicos que se añade como del nivel de control de los procesos. Mediante coagulación, es posible conseguir efluentes clarificados básicamente libres de materia en suspensión y puede llegar a eliminar del 80-90% de la materia total suspendida, entre el 40-70% de la DBO_5 , del 30-60% de la DQO y entre el 80-90% de las bacterias. Estas cifras contrastan con los rendimientos de eliminación de los procesos de sedimentación simple, en los que la eliminación de la materia orgánica solo se sigue entre 30-40%.



3.- PRUEBAS DE LABORATORIO.

El estudio de mecánica de suelos, como ya se mencionó sirve para determinar el conjunto de características que nos permitirán obtener una concepción razonable del comportamiento mecánica del suelo en estudio.

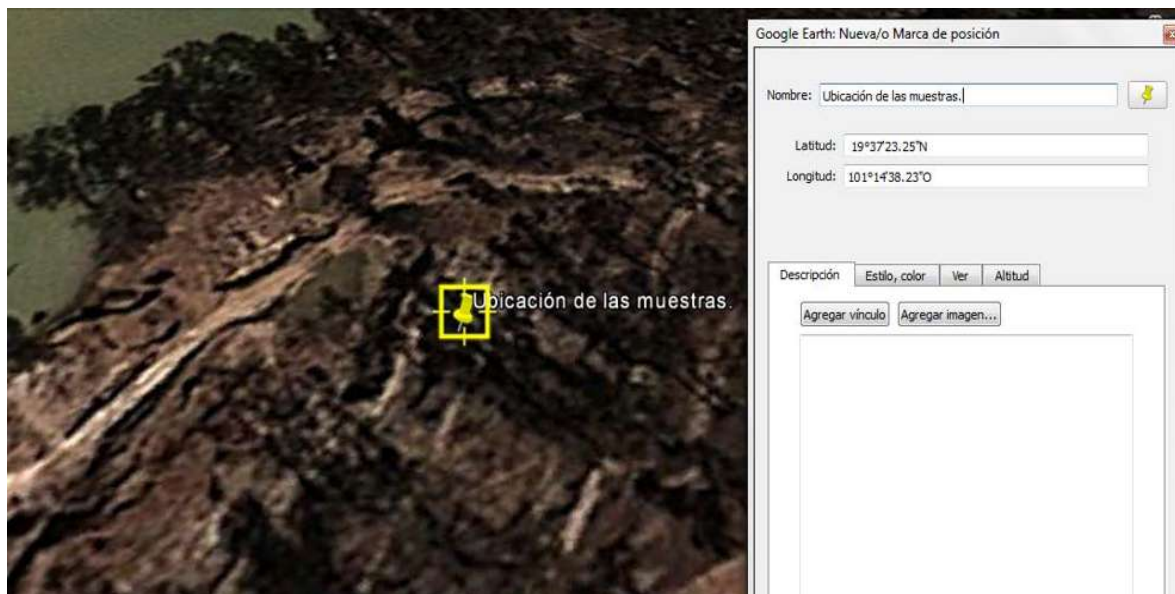
Las pruebas realizadas en este estudio de mecánica de suelos, fueron determinadas por tres factores principalmente. Las facilidades con que cuenta el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo.

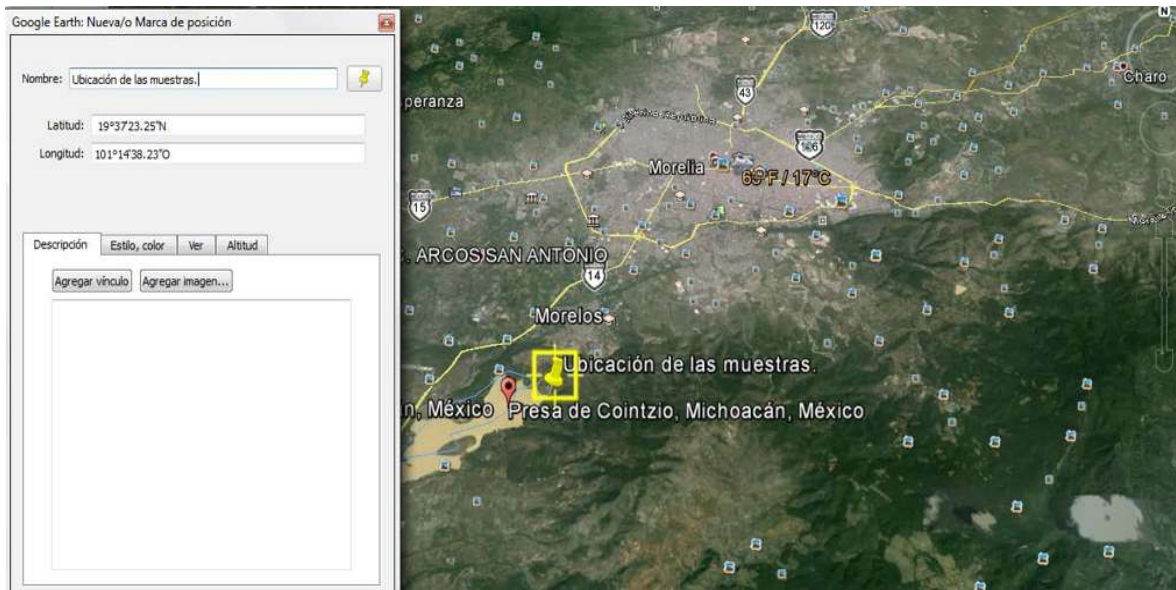
El procedimiento de prueba utilizado en los diferentes ensayos de laboratorio fue indicado por el personal del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo, Michoacán. Dicho procedimiento se apaga a la normativa del Instituto Mexicano del Transporte, adecuado a las instalaciones propias del laboratorio.



3.1.- Características geográficas del sitio.

El terreno se localiza en una tabiquería ubicada, en el municipio de Irimbo, ubicado al sur de la ciudad de Morelia, la localización exacta $19^{\circ}37'23.25''$ de longitud Norte y $101^{\circ}14'38.23''$ latitud Oeste. Las pruebas de laboratorio realizadas para este proyecto de tesis consistieron en obtener las propiedades índices y mecánicas, tales como Límites de consistencia, Densidad de Sólidos, Granulometría gruesas y fina para identificar y clasificar el material; para la primera clasificación se usó el método tradicional de mallas y la segunda prueba fue por medio del hidrómetro. El material es usado para la fabricación de materiales para la construcción a base de arcilla como lo son Tejas y Tabique rojo.

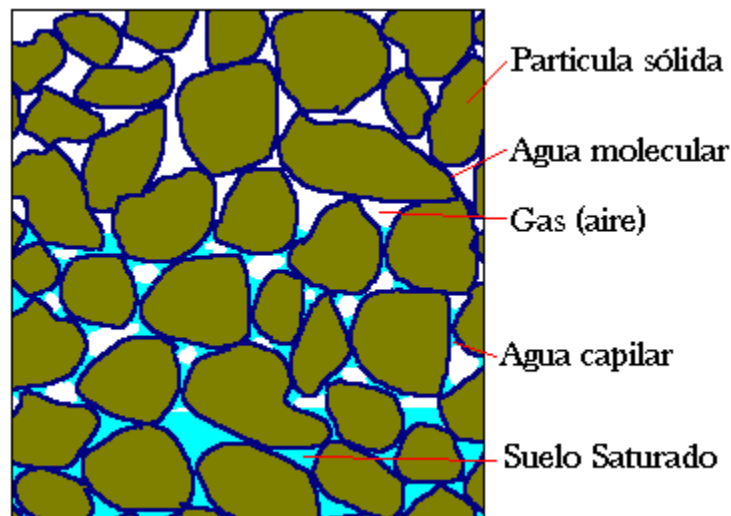




3.2.- Humedad natural.

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de *agua* por volumen de tierra que hay en un *terreno*.

Su medición exacta se realiza gravimétricamente, pesando una muestra de tierra antes y después del secado. Esta es de gran importancia debido a que el agua constituye un factor determinante en la formación, conservación, fertilidad y productividad del mismo, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.



La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en el laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas, o sea:

$$w = (W_w / W_s) * 100 \quad (\%)$$

donde:

w = contenido de humedad expresado en %
 W_w = peso del agua existente en la masa de suelo
 W_s = peso de las partículas sólidas



Observaciones:

- Se recomienda usar el horno a 60°C, para no falsear la humedad en suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica, yeso o ciertos tipos de arcillas.
- En la mayoría de los casos, el tiempo de secado varía dependiendo del tipo de suelo. Por ejemplo una muestra de arena puede secarse en sólo algunas horas, ciertas arcillas podrán tardar más de 24 horas. En caso de que el tiempo establecido sea insuficiente, la muestra continuará en el horno hasta obtener pesadas consecutivas constantes transcurridas 4 horas entre ellas.
- Para evitar pérdidas de humedad, como también absorción de humedad atmosférica luego de extraer la muestra del horno, se recomienda el empleo de recipientes herméticos con tapa.
- Las muestras ensayadas para determinar la humedad, deberán ser descartadas y no se utilizaran en ningún otro ensayo.



Resultados.

HUMEDAD DEL TERRENO				
MUESTRA	W MUESTRA	Wh (gr)	Ws (gr)	% DE AGUA
1	200	200	171.40	14.30
2	200	200	181.80	9.10
3	200	200	182.70	8.65
4	200	200	186.70	6.65
5	200	200	170.50	14.75



3.3.-Granulometrías.

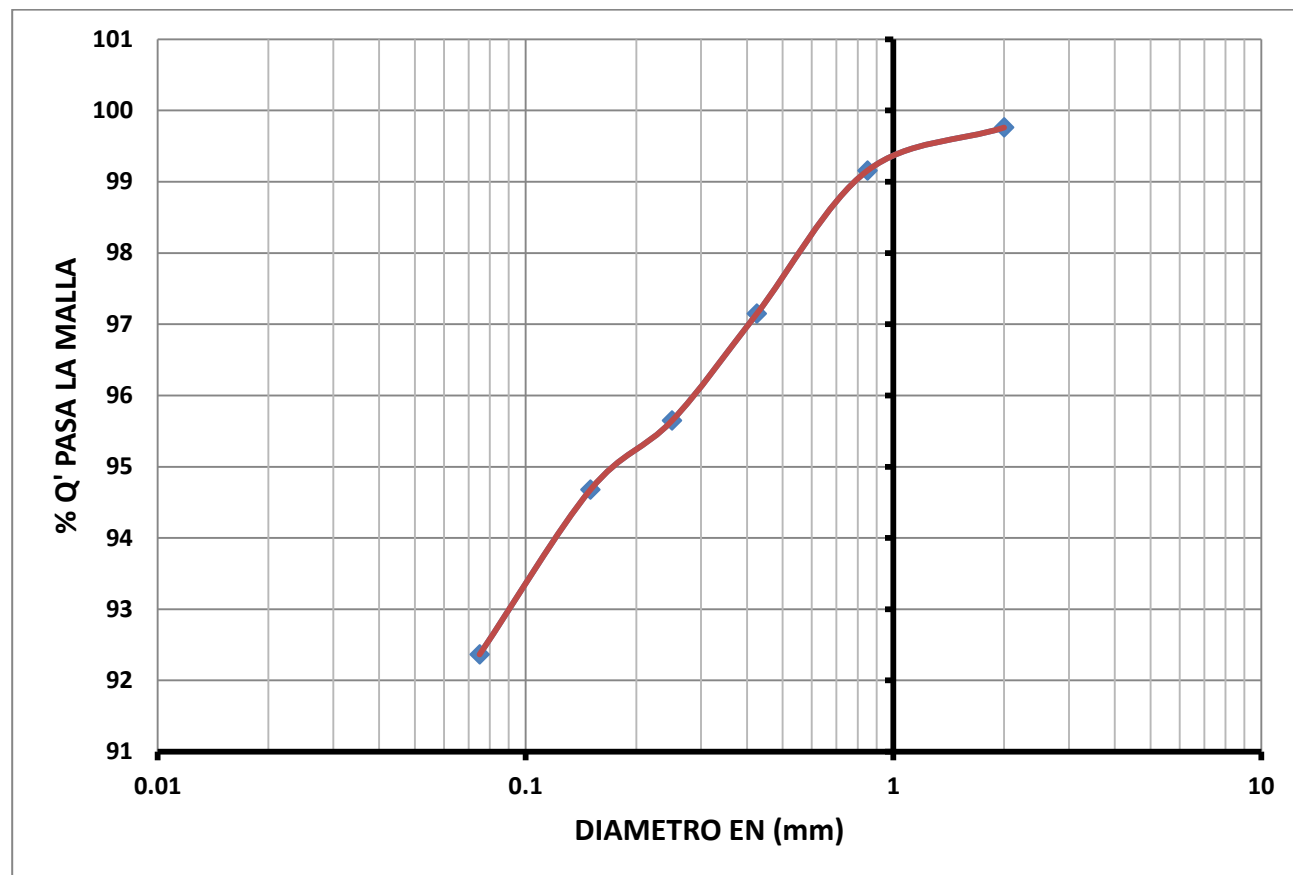
Se denomina **clasificación granulométrica** o **granulometría**, a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una *escala granulométrica*.

El método de determinación granulométrico más sencillo es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores) que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices. Pero para una medición más exacta se utiliza un granulómetro láser, cuyo rayo difracta en las partículas para poder determinar su tamaño. O también se pueden utilizar los rayos gamma obs.



MUESTRA 1.

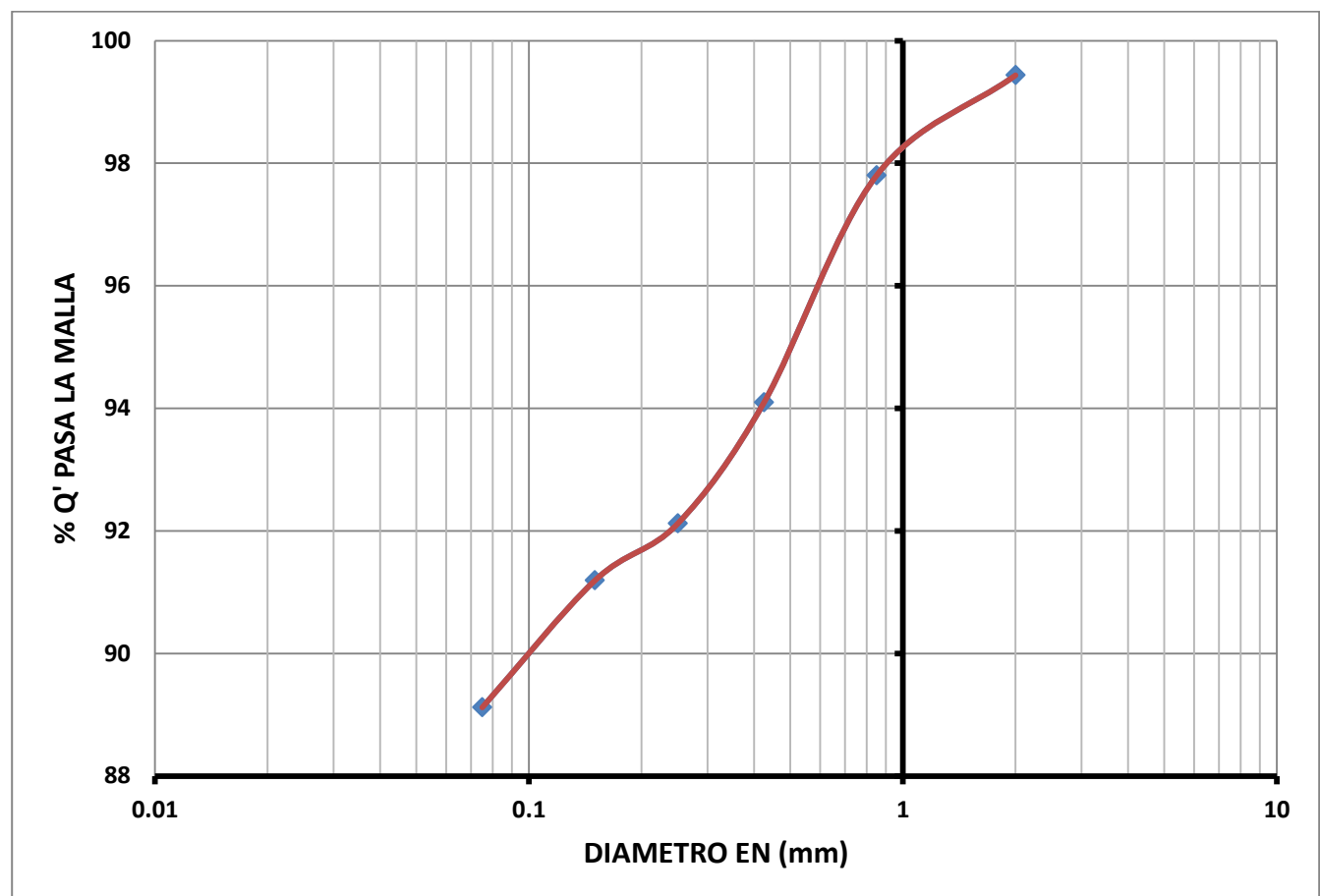
DIAMETRO	PESO (gr)	ACUMULADO	% PARCIAL	% ACUMULADO	% Q' PASA LA MALLA
2.00	0.48	0.48	0.24	0.24	99.76
0.85	1.21	1.69	0.60	0.84	99.15
0.425	4.02	5.71	2.01	2.85	97.14
0.25	3.00	8.71	1.50	4.35	95.64
0.15	1.94	10.65	0.97	5.32	94.67
0.075	4.62	15.27	2.31	7.63	92.36
PASA 200	184.73	200	92.36	100	0
SUMA	200		100		





MUESTRA 2.

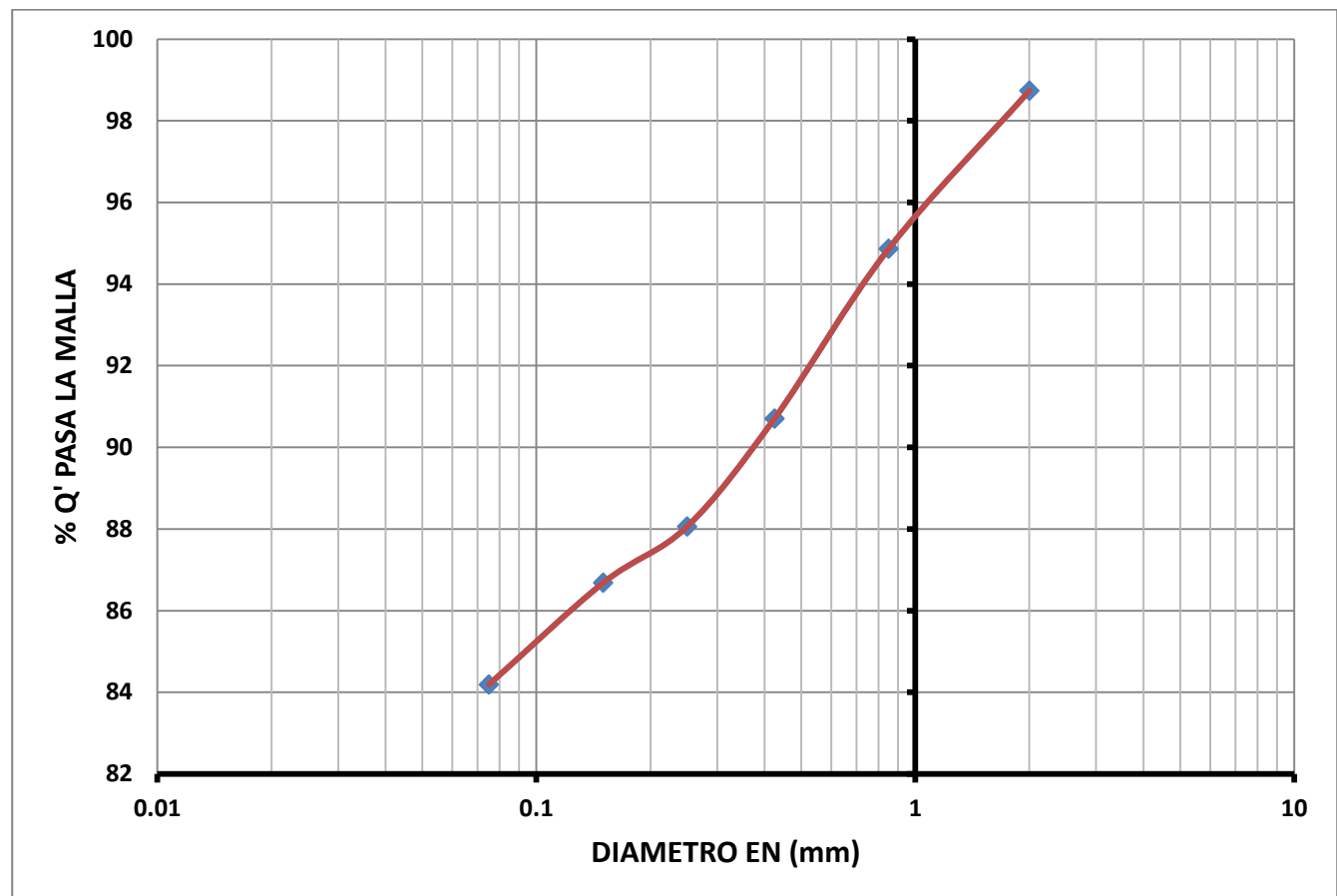
DIAMETRO	PESO (gr)	ACUMULADO	% PARCIAL	% ACUMULADO	% Q' PASA LA MALLA
2.00	1.13	1.13	0.56	0.56	99.43
0.85	3.27	4.40	1.63	2.20	97.80
0.425	7.41	11.81	3.70	5.90	94.09
0.25	3.95	15.76	1.97	7.88	92.12
0.15	1.86	17.62	0.93	8.81	91.19
0.075	4.14	21.76	2.07	10.88	89.12
PASA 200	178.24	200	89.12	100	0
SUMA	200		100		





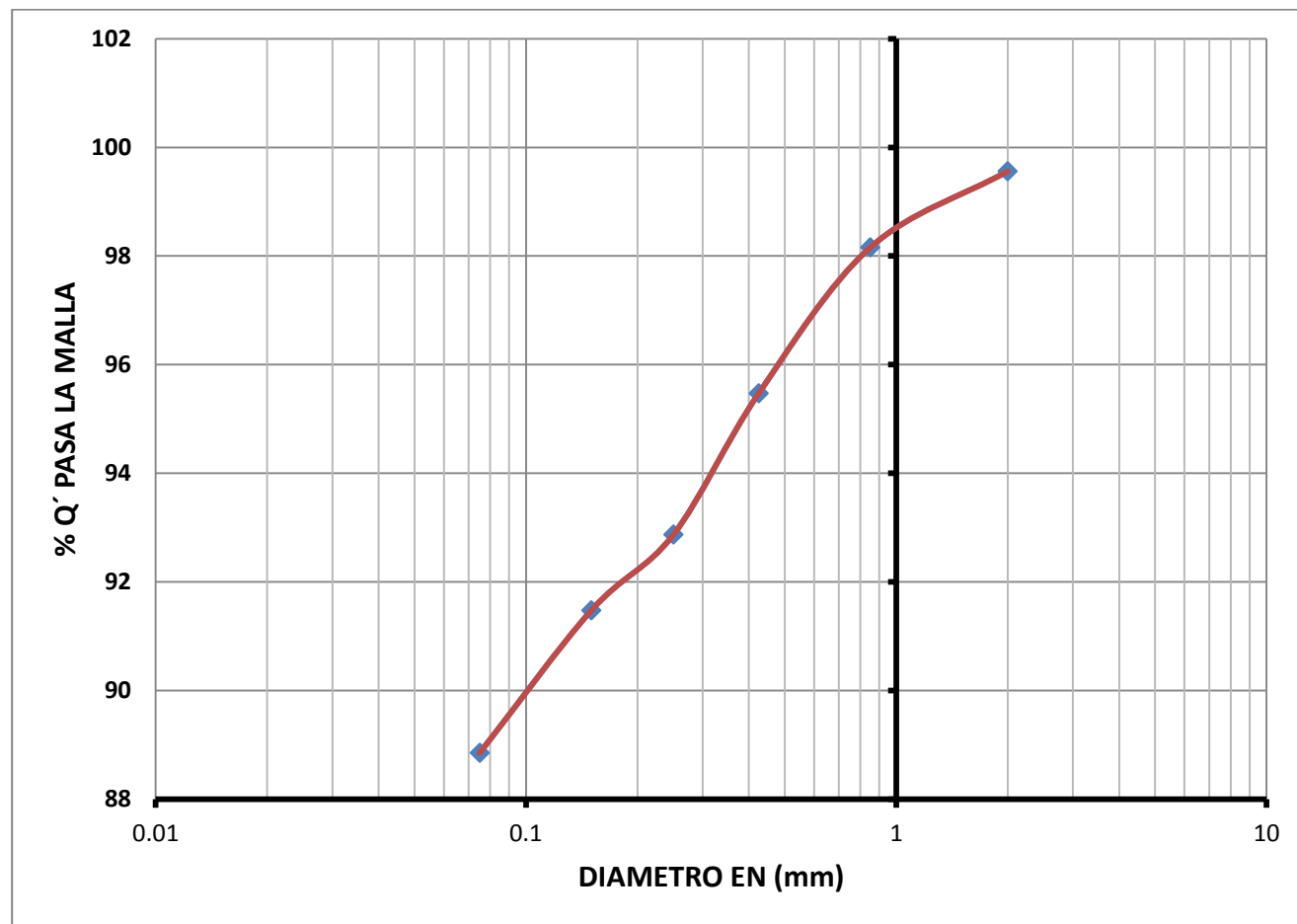
MUESTRA 3.

DIAMETRO	PESO (gr)	ACUMULADO	% PARCIAL	% ACUMULADO	% Q' PASA LA MALLA
2.00	2.53	2.53	1.265	1.265	98.73
0.85	7.75	10.28	3.875	5.14	94.86
0.425	8.31	18.59	4.155	9.295	90.70
0.25	5.29	23.88	2.645	11.94	88.06
0.15	2.76	26.64	1.38	13.32	86.68
0.075	4.98	31.62	2.49	15.81	84.19
PASA 200	168.38	200	84.19	100	0
SUMA	200		100		



**MUESTRA 4.**

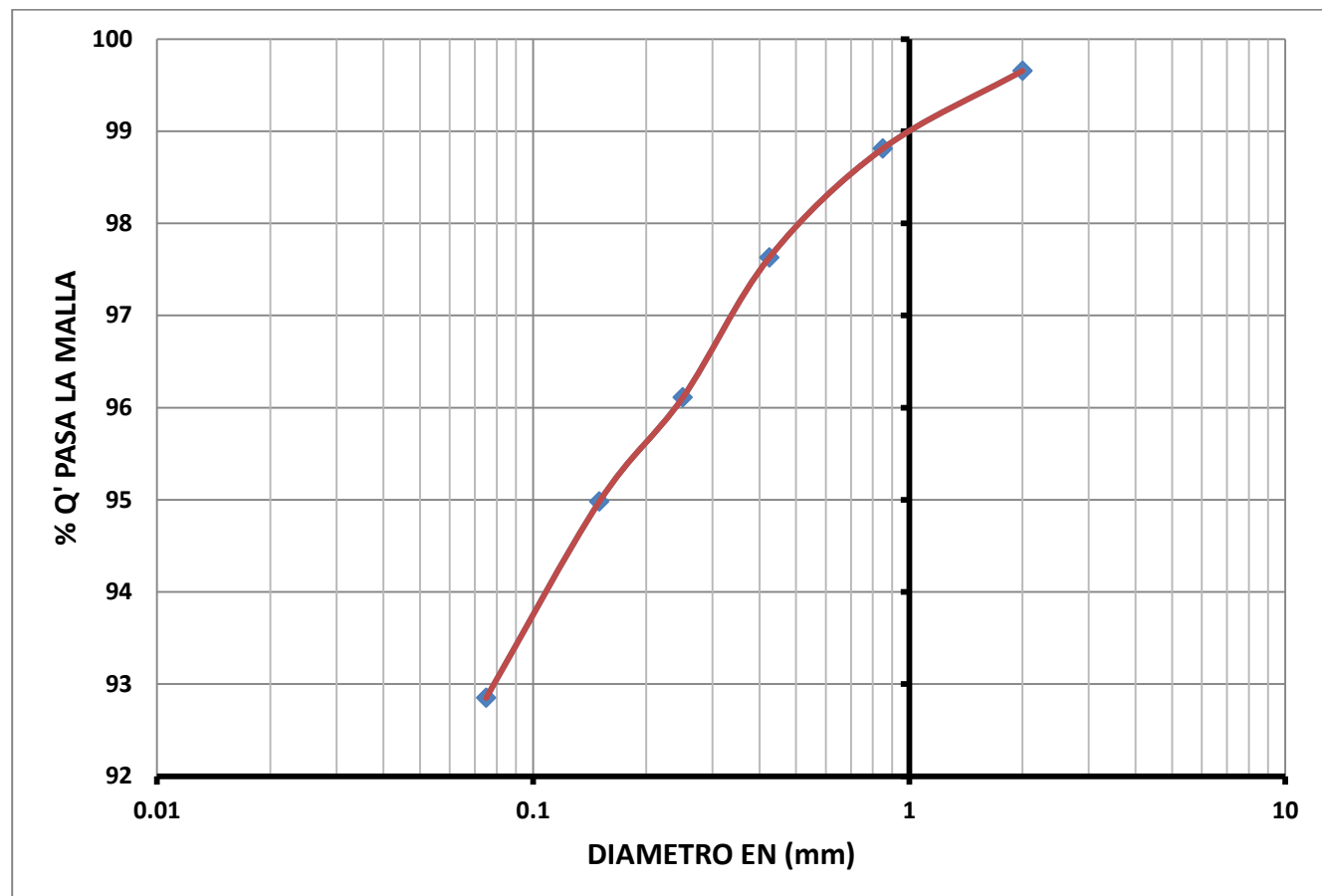
DIAMETRO	PESO (gr)	ACUMULADO	% PARCIAL	% ACUMULADO	% Q' PASA LA MALLA
2.00	0.88	0.88	0.44	0.44	99.56
0.85	2.81	3.69	1.40	1.84	98.15
0.425	5.37	9.06	2.68	4.53	95.47
0.25	5.2	14.26	2.60	7.13	92.87
0.15	2.79	17.05	1.39	8.52	91.47
0.075	5.24	22.29	2.62	11.14	88.85
PASA 200	177.71	200	88.85	100	0
SUMA	200		100		





MUESTRA 5.

DIAMETRO	PESO (gr)	ACUMULADO	% PARCIAL	% ACUMULADO	% Q' PASA LA MALLA
2.00	0.69	0.69	0.34	0.34	99.65
0.85	1.69	2.38	0.84	1.19	98.81
0.425	2.36	4.74	1.18	2.37	97.63
0.25	3.04	7.78	1.52	3.89	96.11
0.15	2.26	10.04	1.13	5.02	94.98
0.075	4.26	14.3	2.13	7.15	92.85
PASA 200	185.7	200	92.85	100	0
SUMA	200		100		





3.4.- Límites de consistencia o de Atterberg.

Los límites de Atterberg nos permiten conocer o identificar de forma sencilla algunas de las propiedades de los suelos.

Se obtuvieron los límites de consistencia del suelo, tales como el Límite Líquido, el Límite Plástico, Límite de Contracción, Contracción Lineal, Índice Plástico de cada una de las muestras.

Equipo y materiales para la prueba.

- Malla N° 40.
- Copa de casa grande calibrada para una altura de caída de 1 cm y Rasurador.
- Balanzas de 0.01 grs. y 0.1 gr de aproximación.
- Horno.
- Capsula de porcelana.
- Espátula.
- Agua destilada.
- Vidrios de reloj.
- Franela.
- Placa de vidrio grande para el límite plástico.
- Charola de evaporación.
- Calibrador Vernier.
- Equipo para el límite de contracción.
- Capsula Petri.
- Placa de vidrio con puntas.
- Mercurio.
- Charola de evaporación.
- Gotero.
- Moldes de lámina galvanizada del No.2



3.4.1.- Determinación del límite líquido (LL).

Preparación de Muestra:

- 1.- El material que se trae del campo se seca y se disgrega.
- 2.- Seco el material se criba por la malla No. 40 y se coloca en una capsula de porcelana del material que paso la malla.
- 3.- Una vez colocado el material en la capsula se le agrega el agua destilada en la cantidad necesaria para que tome el aspecto de material saturado y se deja en reposo durante 24 horas aproximadamente, en un lugar fresco.



Saturación del material.



Procedimiento de la prueba:

1.- Se toma una muestra del material preparado de acuerdo a lo anteriormente explicado, este material se coloca en una capsula de porcelana y se procede a homogenizar la humedad con la espátula, cuando se considera que ya tiene la consistencia deseada se coloca en la copa de Casagrande.



Homogenización del material.

2.- Logrando lo anterior se coloca en la copa de Casagrande, previamente calibrada, una cantidad suficiente de material para que una vez extendido con la espátula se tenga un espesor de 8 a 10 mm. En la parte central de la muestra colocada. Para extender el material se procede del centro hacia los lados, sin aplicarle una presión excesiva y con el número mínimo de pasadas con la espátula.



Extendido de material en la copa de Casagrande.



3.- Se efectúa una ranura en la parte central del material que contiene la copa con una pasada firme del ranurador, como se muestra en la Figura 3.4, manteniéndolo siempre normal a la superficie de la copa. Si el material se desliza sobre la copa cuando se use el ranurador curvo, podrá darse hasta 6 pasadas profundizando paulatinamente la ranura, de manera que solamente en la última pasada el ranurador toque el fondo de la copa.



Ranuración del material en la copa de Casagrande.

4.- Se acciona la manivela del aparato para hacer caer la copa, a razón de 2 golpes por segundo y se registra el número de golpes necesarios para que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una longitud de 13 mm.



Unión de los bordes inferiores aproximadamente 13 mm.



5.- Una vez logrado lo anterior se toma una muestra se pesa y se lleva al horno, para determinar al día siguiente la humedad.

6.- A continuación y una vez que se ha tomado la muestra para la determinación de la humedad, se regresa a la capsula de mezclado lo que contiene la copa, se lava y se seca tanto la copa como el ranurador.

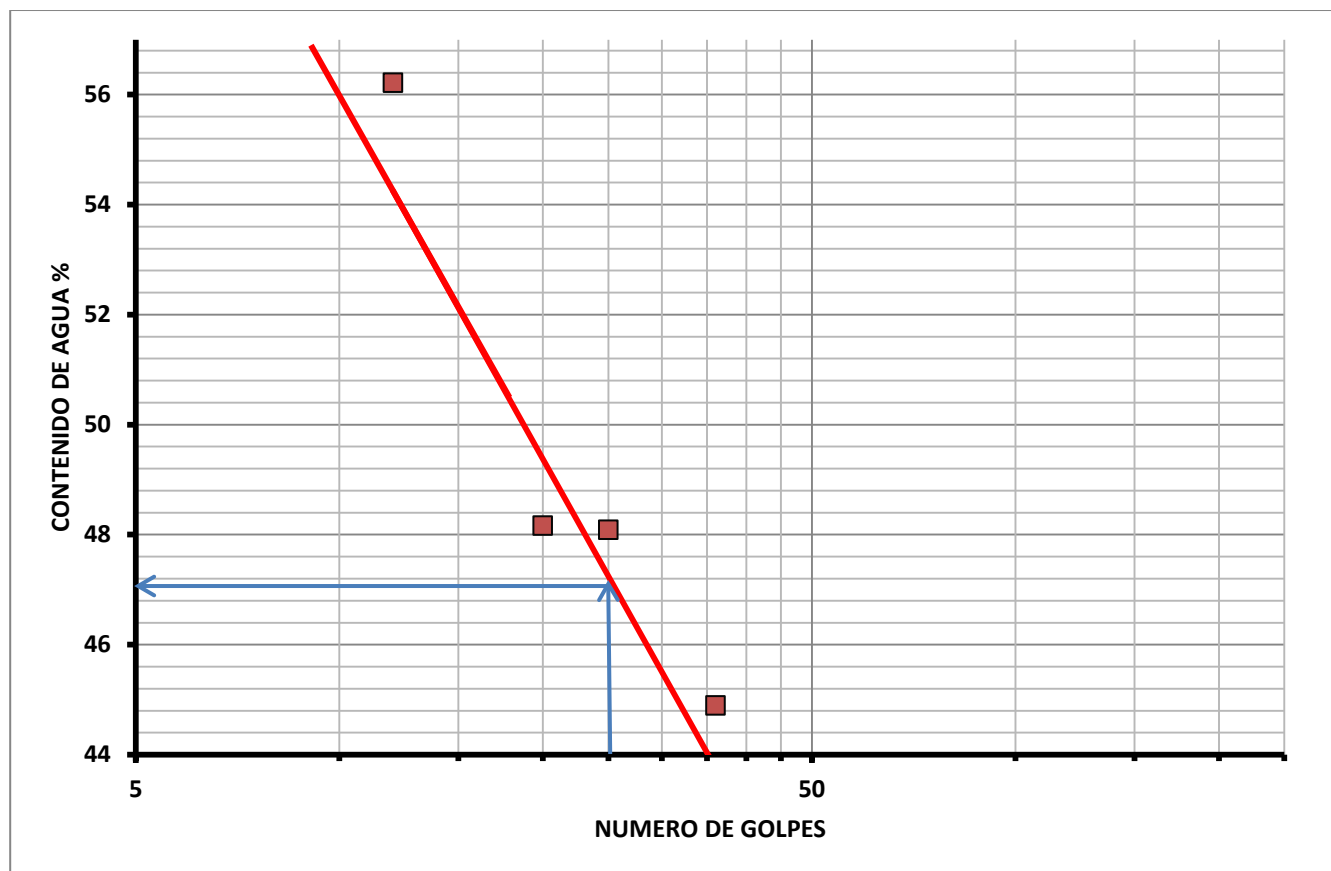
7.- En seguida se agrega agua con él cuenta gotas al material contenido en la capsula, se homogeniza el material y se vuelve a realizar las etapas anteriores.

8.-La cantidad de agua agregada al material deberá ser en tal forma que las cuatro determinaciones efectuadas, queden comprendidas entre 10 y 35 golpes, siendo necesarios obtener 2 valores arriba y 2 debajo de 25 golpes. Para consistencias menores de 10 golpes es difícil identificar el momento de cierre de la ranura en la longitud especificada, por otra parte y para más de 35 golpes, se dificulta la ejecución de la prueba.

**RESULTADOS.****MUESTRA 1.**

PRUEBA NUM.	CAPSULA NUM.	NUMERO DE GOLPES	W CAPSULA +SUELO HUMEDO	W CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	CONTENIDODE AGUA (W) %
1	19	12	30.23	22.36	7.87	8.36	56.21
2	18	20	33.74	25.48	8.26	8.33	48.16
3	500	25	34.67	26.12	8.55	8.34	48.08
4	27	36	40.65	31.68	8.97	11.70	44.89
PROMEDIO							49.34

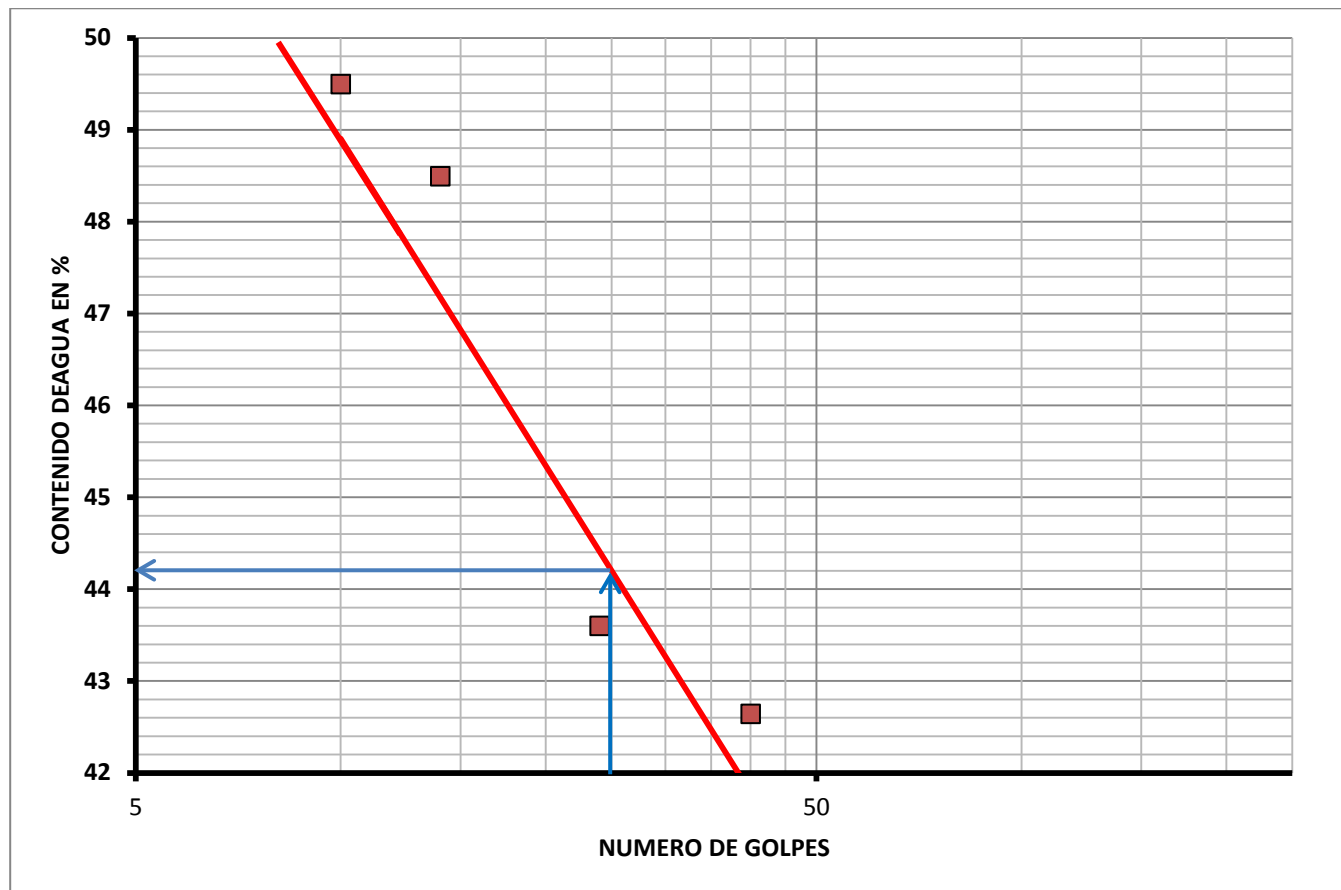
LIMITE LIQUIDO	48.57
----------------	--------------



**MUESTRA 2.**

PRUEBA NUM.	CAPSULA NUM	NUMERO DE GOLPES	PESO DE CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA+PESO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	CONTENIDODE AGUA (W) %
1	29	10	40.67	32.33	8.34	15.48	49.49
2	10	14	32.25	24.37	7.88	8.12	48.49
3	C-2	24	37.48	29.17	8.31	10.11	43.59
4	36	40	42.32	32.12	10.20	8.20	42.64
PROMEDIO							46.05

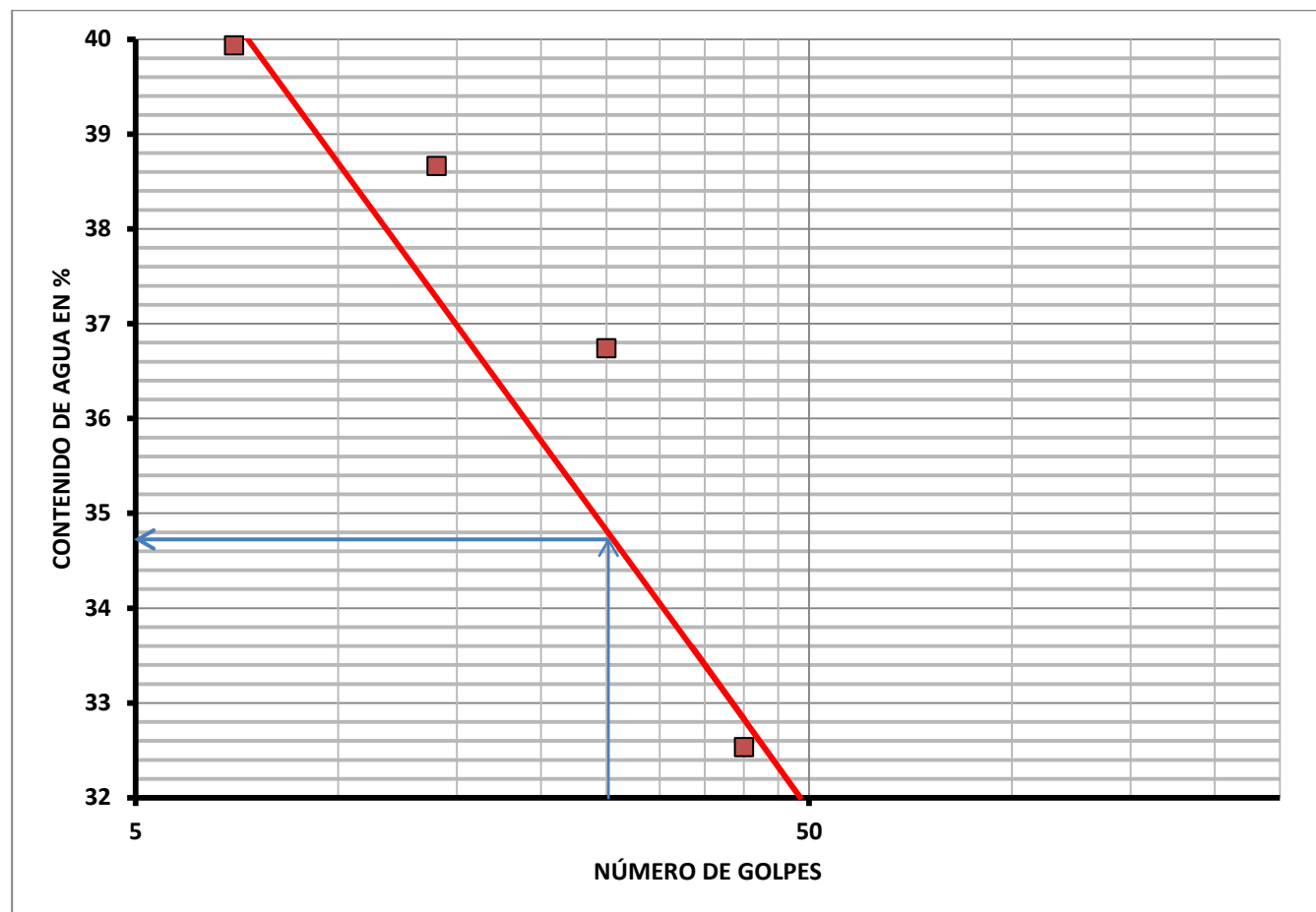
LIMITE LIQUIDO	45.34
----------------	--------------



**MUESTRA 3.**

PRUEBA NUM.	CAPSULA NUM.	NUMERO DE GOLPES	PESO DE CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA+PESO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	CONTENIDODE AGUA (W) %
1	25	7	38.32	29.77	8.55	8.36	39.93
2	26	14	41.81	33.03	8.78	10.32	38.66
3	1	25	42.64	33.90	8.74	10.11	36.73
4	9	40	39.19	31.61	7.58	8.31	32.53
PROMEDIO							36.96

LIMITE LIQUIDO	36.18
-------------------	--------------



**MUESTRA 4.**

PRUEBA NUM.	CAPSULA NUM.	NUMERO DE GOLPES	PESO DE CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA+PESO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	CONTENIDODE AGUA (W) %
1	42	10	40.25	29.9	10.35	8.19	47.67
2	11	17	38.52	29.9	8.62	10.14	43.62
3	1	24	39.40	30.76	8.64	10.11	41.84
4	45	29	37.24	28.74	8.50	8.22	41.42
PROMEDIO							43.64

LIMITE LIQUIDO	42.00
-------------------	--------------



**MUESTRA 5.**

PRUEBA NUM.	CAPSUL A NUM.	NUMERO DE GOLPES	PESO DE CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA+PES O SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	CONTENIDODE AGUA (W)
1	32	12	37.7	28.67	9.03	10.71	50.27
2	14	18	37.46	28.10	9.36	8.79	48.47
3	28	26	35.11	27.63	7.48	11.77	47.16
4	41	33	42.77	33.02	9.75	11.87	46.09
PROMEDIO							48.00

LIMITE LIQUIDO	47.47
-------------------	--------------





3.4.2.- Determinación del límite plástico.

El límite plástico en el suelo se define como el mínimo contenido de agua de la fracción que pasa la malla Núm. 0.425 (N° 40), para que se puedan formar con ella cilindros de 3mm, sin que se rompan o desmoronen.

Procedimiento de la prueba:

- 1.- Se toma una muestra de material preparado de acuerdo con la prueba de LL, a la cual se le da la forma de una pequeña esfera de aproximadamente 12 mm de diámetros, que deberá moldearse con los dedos para que pierda humedad y se forma un cilindro manipulándolo sobre la palma de la mano, aplicando con los dedos la presión necesaria para tal fin.
- 2.- A continuación, se rola el cilindro con los dedos de la mano sobre una placa de vidrio, dando la presión requerida para reducir su diámetro hasta que este sea uniforme en toda su longitud y ligeramente mayor a 3mm, la velocidad de rodado deberá ser de 50 a 80 ciclos por minuto, entendiéndose por ciclo un movimiento completo con la mano hacia adelante y hacia atrás, hasta volver a la posición de la partida.
- 3.- Si al alcanzar dicho diámetro el cilindro no se rompe en varias secciones simultáneamente, su humedad es superior a la del límite plástico. En ese caso se debe juntar todo el material, se forma nuevamente una esfera, manipulándola con los dedos para facilitar la pérdida de agua y lograr una distribución uniforme de la misma.
- 4.- Se repiten los pasos 1 hasta el 3 hasta lograr que el cilindro se rompa en varios segmentos precisamente en el momento de alcanzar el diámetro de 3 mm. Dicho diámetro se verifica con el alambre de referencia.
- 5.- En seguida se coloca en un vidrio de reloj todos los fragmentos en que se halla dividido el cilindro y se efectúa la determinación del contenido de humedad correspondiente.
- 6.- Para mayor seguridad en los resultados de la prueba, se debe llevar a cabo por lo menos 3 determinaciones sucesivas del límite plástico, en cada muestra.



7.- Los suelos con los que no es posible formar cilindros del diámetro especificado, con ningún contenido de agua, se considera como no plástico.



Muestra de Cilindros para Limite Liquido



Resultados.

MUESTRA	CAPSULA NUM.	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA +SUELO SECO	PESO DE AGUA	PESO DE LA CAPSULA	PEOS DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	31	12.23	11.39	0.84	8.32	3.07	27.36
2	30	12.58	11.76	0.82	8.23	3.53	23.22
3	28	16.57	15.83	0.74	11.60	4.23	17.49
4	27	20.30	19.00	1.30	11.73	7.27	17.88
5	43	15.61	14.15	1.46	8.20	5.95	24.53



3.4.3.- Determinación de la contracción lineal.

- 1.- Se le agrega a la muestra agua o material menos húmedo tomado de la porción preparada, hasta lograr que la humedad sea la correspondiente a la del límite líquido, lo cual se certifica empleando la copa de casa grande y cumpliendo con las condiciones de que la ranura se cierre en una longitud de 13 mm precisamente a los 25 golpes.
- 2.- Con el material preparado en las condiciones indicadas se procede a llenar el molde de prueba, al cual se le habrá aplicado previamente una capa delgada de grasa en su interior para evitar que el material se adhiera sus paredes. El llenado del molde se efectúa en 3 capas, utilizando la espátula y golpeando después de la colocación de cada capa contra una superficie dura: para esto último, deberá tomarse el molde por sus extremos, procurando siempre que el impacto lo reciba en toda su base, lo cual se logra conservando paralelismo entre dicha base y la superficie sobre la cual se golpea. En cada caso las operaciones de golpeo deberán prolongarse lo suficiente para lograr la expulsión del aire contenido en la muestra colocada, lo que se pone de manifiesto cuando ya no aparecen burbujas en la superficie.
- 3.- A continuación se enrasa el material en el molde utilizando en la espata y se deja orear a la sombra hasta que cambie ligeramente su color, después de lo cual se pone a secar en el horno por un periodo de 18 horas aproximadamente, a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 4.- Se extrae del horno el molde con el espécimen, se deja enfriar a temperatura ambiente y a continuación se saca del molde la barra.
- 5.- Finalmente se mide con el calibrador la longitud media de la barra del material seco y la longitud interior del molde, con aproximación de 0.01 cm.



Muestra de Espécimen para contracción lineal.

**Resultados.**

La contracción lineal se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$CL = \frac{Li - Lf}{Li} 100$$

Dónde:

CL= Es la contracción lineal aproximada al décimo más cercano, en %.

Li= Es la longitud inicial de la barra de suelo húmedo, que corresponde a la longitud interior del molde, en cm.

Lf= Es la longitud media de la barra de suelo seco, en cm.

DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL.				
MUESTRA	L inicial	L final	Diferencia	CL
1	10.11	8.93	1.17	11.62
2	9.95	8.72	1.23	12.40
3	9.95	9.04	0.90	9.09
4	10.12	9.07	1.05	10.37
5	10.17	9.02	1.15	11.30



3.4.4.- Determinación de la contracción volumétrica.

El límite de contracción es la frontera entre los estados semi-sólido y sólido, quedando definido como el contenido de agua mínimo para el cual el suelo no retrae su volumen aun cuando pierda o se evapore agua. Observando una gráfica de volumen del suelo en función de su contenido de humedad, observaríamos que todo suelo llega a un punto donde su volumen no decrece aun cuando el contenido de humedad siga disminuyendo. Es este punto, el contenido de humedad que deseamos cuantificar.

- 1.- Recubrir el interior del molde con una capa delgada de lubricante.
 - 2.- Colocar una porción de suelo húmedo de aproximación un tercio de la capacidad de molde en el centro de este extenderlo hasta los bordes, golpeando el molde contra una superficie firme recubierta con papel secante o similar.
 - 3.-Agregar una porción similar a la primera y golpear el molde hasta que el suelo este completamente compactado y todo el aire atrapado suba a la superficie.
 - 4.-Agregar material y compactar hasta que el molde este completamente lleno y con exceso de suelo sobre su borde.
 - 5.- Enrasar con la regla y limpiar posibles restos de suelo adherido al exterior del molde.
 - 6.-Inmediatamente de enrasado, se pesa el molde con el suelo compactado. Restar el peso del molde determinando el peso del suelo húmedo (W_h). Registrar aproximado a 0.01 grs.
 - 7.-Dejar secar lentamente al aire hasta que la pastilla de suelo se despegue de las paredes del molde o hasta que cambie de color oscuro a claro.
- Nota: Se recomienda efectuar el ensaye, hasta el inicio del secado, en cámara humedad. Si no se cuenta con este dispositivo se deberá tomar todas las precauciones necesarias para reducir la evaporación.
- 8.-Secar al horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante.
 - 9.- Pesar el molde con suelo seco. Restar el peso del molde determinando el peso del suelo seco (W_s). Registrar aproximado a 0.01 grs.
 - 10.- Determinar el volumen de la pastilla de suelo seco.
 - 11.-Llenar la taza con mercurio hasta que desborde, enrasar presionando con la placa de vidrio y limpiar los retos adheridos al exterior de la taza.



12.-Colocar la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, colocar la pastilla de mercurio sobre la superficie de mercurio y sumergirlo cuidadosamente mediante las puntas de la placa de vidrio hasta que esta tope firmemente en el borde de la taza. (No debe quedar aire atrapado sobre bajo la pastilla de suelo ni bajo la placa de vidrio).

13.-En seguida, obtener el volumen del mercurio desplazado por la pastilla de suelo, para esto se pesa y se divide por la densidad del mercurio ($Hg = 13.55 \text{ g/cm}^3$), registrarlo como volumen de la pastilla de suelo seco (V_s), aproximando a 0.01 cm^3 (0.01 ml).

14.- Calcular la humedad del suelo en el momento en que fue moldeado de acuerdo con la formula siguiente:

$$W = \left(\frac{(W_h - W_s)}{W_s} \right) \cdot 100$$

Dónde:

W = Humedad del suelo en el momento que fue moldeada %.

W_h = Peso del Suelo húmedo.

W_s = Peso del suelo seco.

15.- Calcular el límite de contracción, del suelo con la formula siguiente, aproximado al 1%.

$$W_s = W - \left(\frac{(V_h - V_s) \gamma_w}{W_s} \right) 100$$

Dónde:

W_s = límite de contracción, %.

W = Humedad del suelo en el momento que fue moldeada, %.

V_h = Volumen de la pastilla del suelo húmedo, cm^3 (ml).

V_s = Volumen de la pastilla de suelo seco, cm^3 (ml).

γ_w = Densidad del agua, gr/cm^3 (gr/ml).

W_s = Peso del suelo seco, gr.

**Resultados.**

CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA.										
MUES No.	CAP No.	VOL.			W CAPSULA SUELO HUMEDO	W CAPSULA SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONT. DE AGUA (W)
		Vi	Vf	CV						
1	15	12.08	7.987	11.30	47.36	41.66	5.70	27.44	14.22	40.08
2	18	16.02	10.71	12.64	47.23	39.42	7.81	19.66	19.76	39.52
3	17	12.00	9.507	14.82	48.35	43.46	4.89	27.29	16.17	30.24
4	16	12.10	9.05	10.93	48.45	43.63	4.82	27.44	16.19	29.77
5	18	16.02	10.69	14.02	47.43	40.30	7.13	27.44	12.86	55.44



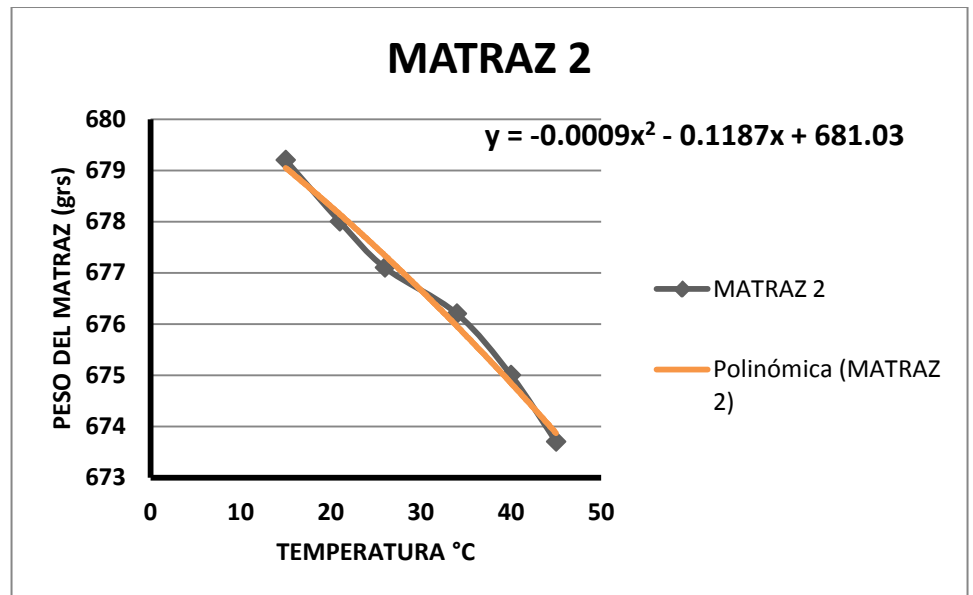
3.5.- Calibración de los matraces.

Previo al inicio de la prueba de Densidad de Sólidos, se verificara que el equipo por emplear para el material que pasa la malla N°40 se encuentre calibrado considerando lo siguiente:

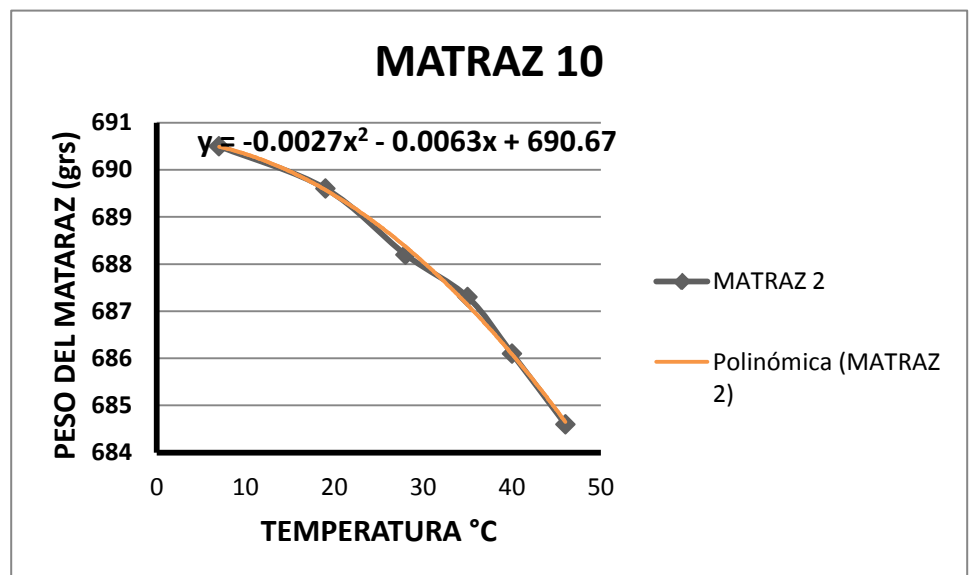
- 1.-Se lava el matraz con una mezcla crónica para eliminar la grasa adherida en su interior. La mezcla crónica para lavado se obtiene disolviendo en caliente 60 grs de bicromato de potasio en 300 cm³ de agua destilada, a la cual se le adicionan en frio 450 cm³ de ácido sulfúrico comercial.
- 2.-Se enjuaga el matraz con agua destilada y se escurre perfectamente, bañando a continuación su pared interior con alcohol para eliminar los residuos de agua.
- 3.-Para finalizar el lavado se enjuaga nuevamente el matraz con éter sulfúrico y con objeto de facilitar su eliminación, se coloca el matraz en un soporte con la boca libre hacia abajo, durante 10 minutos.
- 4.-Se determina la masa de l matraz seco y limpio, se registra como W_f en grs.
- 5.-Con agua destilada a la temperatura ambiente, se llena el matraz hasta aproximadamente 0.5 cm debajo de la marca de aforo, dejándola reposar durante unos minutos.
- 6.-Se verifica que la temperatura del agua dentro del matraz sea uniforme, para lo cual se toman lecturas con el termómetro a diferentes profundidades. Si la temperatura no es uniforme y la diferencia es menor de 0.2 °C, se tapa el matraz con la palma de la mano y se voltea lentamente procurando evitar la formación de burbujas; finalmente se mide la temperatura del agua colocando el bulbo del termómetro en el centro del matraz y se registra dicha temperatura como todo en C°.
- 7.-Utilizando el cuentagotas o pipeta, se agrega agua destilada hasta que la parte inferior del mecanismo del líquido coincida con la marca de aforo.
- 8.-Posteriormente sin tocar o alterar dicho menisco se seca cuidadosamente el interior del cuello del matraz con el lienzo absorbente enrollado y se determina la masa del matraz lleno de agua, registrándolo como P_o en gr.
- 9.-Siguiendo los pasos del 6 al 8 de la calibración del matraz, se efectúan otras cuatro determinaciones de masa P_o del matraz lleno de agua a las temperaturas de 5 y 10 °C por abajo y 5 y 10 °C por arriba.
- 10.-Finalmente, sobre un sistema de ejes coordenados, se dibuja una curva de calibración para el matraz de probeta, marcando las temperaturas en las abscisas y las masas en las ordenadas, y se traza una curva suave y continua.

**GRAFICAS.**

TEMPERATURA °C	W Matraz
15	679.20
21	678.00
26	677.10
34	676.20
40	675.00
45	673.70



TEMPERATURA °C	W Matraz
7	690.5
19	689.6
28	688.2
35	687.3
40	686.1
46	684.6





TEMPERATURA °C	W Matraz
9	695.4
22	694.1
29	692.9
36	691.8
41	690.9
47	689.8

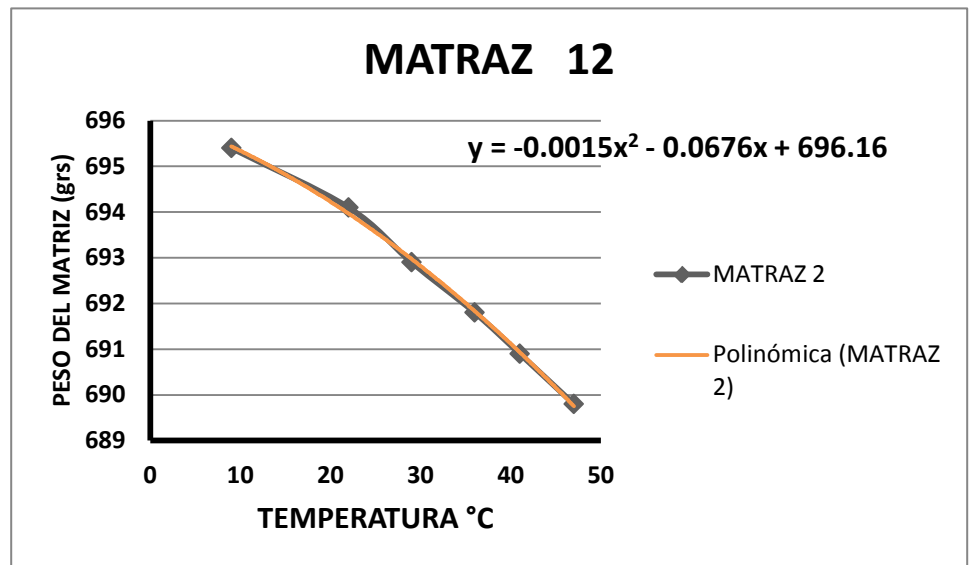




TABLA DE RESULTADOS DE CALIBRACIÓN					
MATRAZ 1		MATRAZ 10		MATRAZ 12	
TEMPERATURA	PESO Wfw	TEMPERATURA	PESO Wfw	TEMPERATURA	PESO Wfw
15	679.047	15	689.968	15	694.8085
16	678.9004	16	689.878	16	694.6944
17	678.752	17	689.7826	17	694.5773
18	678.6018	18	689.6818	18	694.4572
19	678.4498	19	689.5756	19	694.3341
20	678.296	20	689.464	20	694.208
21	678.1404	21	689.347	21	694.0789
22	677.983	22	689.2246	22	693.9468
23	677.8238	23	689.0968	23	693.8117
24	677.6628	24	688.9636	24	693.6736
25	677.5	25	688.825	25	693.5325
26	677.3354	26	688.681	26	693.3884
27	677.169	27	688.5316	27	693.2413
28	677.0008	28	688.3768	28	693.0912
29	676.8308	29	688.2166	29	692.9381
30	676.659	30	688.051	30	692.782
31	676.4854	31	687.88	31	692.6229
32	676.31	32	687.7036	32	692.4608
33	676.1328	33	687.5218	33	692.2957
34	675.9538	34	687.3346	34	692.1276
35	675.773	35	687.142	35	691.9565
36	675.5904	36	686.944	36	691.7824
37	675.406	37	686.7406	37	691.6053
38	675.2198	38	686.5318	38	691.4252
39	675.0318	39	686.3176	39	691.2421
40	674.842	40	686.098	40	691.056
41	674.6504	41	685.873	41	690.8669
42	674.457	42	685.6426	42	690.6748
43	674.2618	43	685.4068	43	690.4797
44	674.0648	44	685.1656	44	690.2816
45	673.866	45	684.919	45	690.0805



3.6.- Densidad de sólidos.

Se define como densidad de un suelo la relación entre el peso del sólido y el peso del volumen de agua que desaloja.

Tratándose de gravas o piedras, se determina la densidad con relación al agua limpia a la temperatura ambiente, estando el material saturado.

El valor de la densidad, que queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, interviene la mayor parte de los cálculos de mecánica de suelos.

Para su determinación se hace uso de matraces calibrados a distintas temperaturas.

La densidad de los suelos varía comúnmente entre los siguientes valores:

Cenizas volcánicas	2.20 a 2.50
Suelos orgánicos	2.50 a 2.65
Arenas y gravas	2.65 a 2.67
Limos inorgánicos y guijarros arcillosos	2.67 a 2.72
Arcillas poco plásticas y medianamente plásticas	2.72 a 2.78
Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas	2.78 a 2.84
Arcillas expansivas	2.84 a 2.88



Objetivo:

- a. Determinar la densidad de una arena y/o un suelo fino (dado que es el mismo procedimiento para ambos suelos), empleando para ello un matraz de fondo plano, con su correspondiente curva de calibración.
- b. Determinar la densidad y la absorción en una grava de río y en una caliza triturada.

Definición:

La densidad de sólidos se define como la relación que existe entre el peso de los sólidos y el peso del volumen del agua desalojado por los mismos.

Generalmente la variación de la densidad de sólidos es de 2.60 a 2.80, aunque existen excepciones como en el caso de la turba en la que se han registrado valores de 1.5 y aún menores, debido a la presencia de materia orgánica. En cambio en suelos con cierta cantidad de minerales de hierro la densidad de sólidos ha llegado a 3.

Aplicación:

El Peso específico relativo de los sólidos es una propiedad índice que debe determinarse a todos los suelos, debido a que este valor interviene en la mayor parte de los cálculos relacionados con la Mecánica de suelos, en forma relativa, con los diversos valores determinados en el laboratorio pueden clasificarse algunos materiales.

Una de las aplicaciones más comunes de la densidad (S_{us}), es en la obtención del volumen de sólidos, cuando se calculan las relaciones gravimétricas y volumétricas de un suelo.

Esta prueba permite determinar las relaciones masa-volumen de los materiales respecto a la relación masa-volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o mezcla de los materiales en sus diferentes condiciones de contenidos de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en sus poros, con respecto a su condición de estado seco; las pruebas se realizan de distinta manera en la fracción del material retenida en la malla No. 40 (núm. 4.75mm) y en la porción que pasa dicha malla.



EQUIPO Y MATERIALES PARA LA PRUEBA

- Malla No.40
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Horno capaz de mantener una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Lienzo o trapo.
- Matraz Calibrado.
- Probeta graduada.
- Termómetro de 0.1°C de aproximación.
- Fuente de calor (estufa).
- Bomba de vacío.
- Espátula
- Capsula de porcelana.
- Embudo.
- Agua destilada
- Bicromato de potasio.
- Molde de Latón o vidrio.

Procedimiento.

1.-Inmediatamente después de preparar la muestra que pasa la malla N°.40 (fig.3.3.1), utilizando el embudo, se introduce el material en el matraz previamente calibrado. Tres muestras con 60 gr de material cada uno.



Muestras de Material.



Posteriormente se llena el matraz con agua destilada hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.

Utilizando la Estufa o fuente de calor, se pone en ebullición el agua de matraz durante 10 minutos aproximadamente, moviendo al mismo tiempo el material con el agitador mientras hierve, hasta expulsar el aire atrapado.



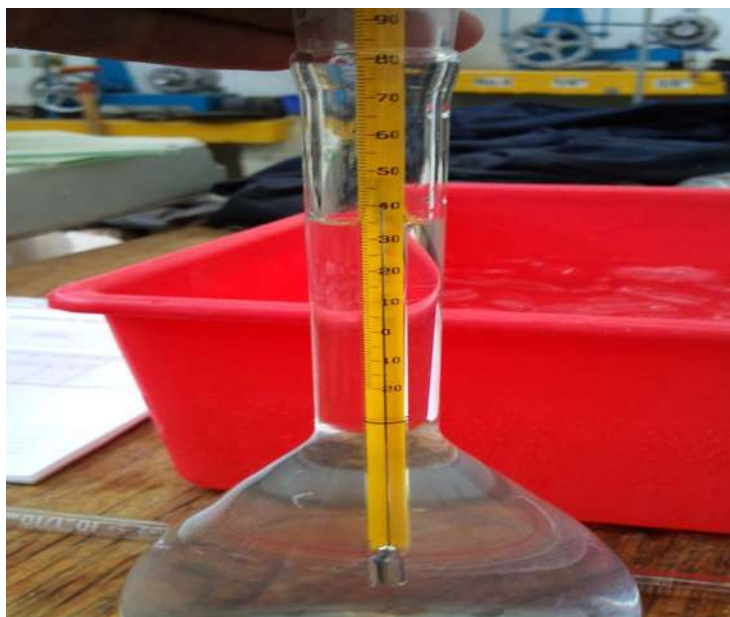
Matraces en ebullición para facilitar la expulsión del aire atrapado.

2.-Empleando el dispositivo de succión, se aplica vacío al matraz durante 15 minutos, con el objeto de extraer el aire atrapado en la muestra. Para facilitar este proceso se agita cuidadosamente la suspensión con un movimiento giratorio del matraz alrededor de su eje.

La succión máxima que se aplique no deberá exceder de 100 mm de Hg (0.136 Kg/ cm³).

Se deberá tener la precaución necesaria para no succionar demasiado la muestra ya que de lo contrario se tendrán pérdidas de material y será necesario repetir la prueba.

3.-Se deja enfriar el matraz hasta alcanzar la temperatura ambiente y se adiciona el volumen de agua destilada, necesaria para alcanzar la marca de aforo.



4.-Se secan cuidadosamente la superficie exterior del matraz y el interior del cuello del mismo. Para esta última operación se emplea un trapo absorbente enrollado, evitando tocar el menisco.

5.-Se obtiene la masa del matraz con el material y el agua registrándolo como W_{fsw} .

6.-Se tapa el matraz y se invierte varias veces en forma cuidadosa con el fin de uniformizar la temperatura de la suspensión, a continuación se coloca el bulbo del termómetro en el centro del matraz y se registra la temperatura, misma que es considerada como la temperatura de la prueba t_p .

7.-Hecho lo anterior se vierte toda la suspensión a una capsula de porcelana, empleando el agua necesaria para arrastrar todas las partículas de suelo y se deja reposar durante 24 horas. Se elimina el agua sobrante mediante una cuidadosa decantación y se lleva la muestra al horno para su secado total a masa constante, a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, se determina y se anota la masa seca de la muestra, W_s , en gr.

8.-En casos de suelos arenosos no cohesivos, el periodo de reposo podrá reducirse hasta que se observe limpio el tirante de agua, continuando la prueba en la forma descrita en el paso anterior.

9.-Finalmente utilizando la curva de calibración del matraz, se obtiene la masa del matraz con el agua, en gr, correspondiente a la temperatura de la prueba t_p y se registra como W_{fw} .

**RESULTADOS.****MUESTRA 1**

PRUEBA No.	1	2	3
Matraz No.	2	10	12
Wfsw (grs)	709.50	723.7	727.4
Temperatura (°C)	43.00	30.00	33.00
Wfw (grs)	674.26	688.05	692.29
Cápsula de evaporación No.	3	A	B
Peso cápsula muestra seca (gr)	711.30	817.50	817.30
Peso cápsula (gr)	654.00	759.10	759.5
Ws (grs).	57.30	58.40	57.80
Ss	2.59	2.56	2.54

MUESTRA 2

PRUEBA No.	1	2	3
Matraz No.	2	10	12
Wfsw (grs)	709.80	723.50	728.20
Temperatura (°C)	29.00	30.00	31.00
Wfw (grs)	676.83	688.05	692.62
Cápsula de evaporación No.	A	B	3
Peso cápsula muestra seca (gr)	816.80	817.10	710.90
Peso cápsula (gr)	759.60	760.40	654.60
Ws (grs).	57.20	56.70	56.30
Ss	2.36	2.66	2.71

**MUESTRA 3**

PRUEBA No.	1	2	3
Matraz No.	2	10	12
Wfsw (grs)	709.20	721.50	727.2
Temperatura (°C)	37.00	38.00	39.00
Wfw (grs)	675.40	686.53	691.24
Cápsula de evaporación No.	3A	NADA	20
Peso cápsula muestra seca (gr)	815.80	715.50	710.50
Peso cápsula (gr)	758.50	657.70	653.10
Ws (grs).	57.30	57.80	57.40
Ss	2.43	2.53	2.67

MUESTRA 4

PRUEBA No.	1	2	3
Matraz No.	2	10	12
Wfsw (grs)	711.20	723.50	725.70
Temperatura (°C)	37.00	36.00	39.00
Wfw (grs)	675.40	686.94	691.24
Cápsula de evaporación No.	A	B	3
Peso cápsula muestra seca (gr)	817.20	818.50	712.20
Peso cápsula (gr)	759.90	760.50	654.40
Ws (grs).	57.30	58.00	57.80
Ss	2.66	2.70	2.47

MUESTRA 5

PRUEBA No.	1	2	3
Matraz No.	2	10	12
Wfsw (grs)	707.70	722.30	726.80
Temperatura (°C)	38.00	39.00	39.00
Wfw (grs)	675.21	686.31	691.24
Cápsula de evaporación No.	GRANDE	8	3A
Peso cápsula muestra seca (gr)	1134.20	712.20	815.00
Peso cápsula (gr)	1077.20	654.10	758.80
Ws (grs).	57.00	58.10	56.20
Ss	2.32	2.62	2.72



3.7.- Calibración del hidrómetro.

EQUIPO PARA CALIBRACIÓN.

- Hidrómetro en g/lt. graduado de 0 a 60 divisiones, con precisión de 1 g/lt, calibrado a una temperatura de 20°C.
- Probeta de 500 cm³.
- Escala de acero en mm.
- Probetas de 100 cm³.
- Cloruro de sodio.
- Compas de puntas.
- Matraces Calibrados de 500 cm³.
- Balanza de 0.01 g. de aproximación.
- Termómetro.

Procedimiento de Prueba.

a) Comprobación de la escala del hidrómetro.

La escala del hidrómetro puede desplazarse dentro del vástago y dar lecturas erróneas. Para verificar, se preparan soluciones de sal químicamente pura, de concentración conocida y se observaran las lecturas del hidrómetro en cada una de las soluciones. Se comparan estas lecturas con las calculadas para cada caso. Es conveniente usar concentraciones de 8, 16, y 24 g. de sal, que con agua destilada formen 500 cm³ de solución. Para nuestro caso solo utilizaremos 5, 10, y 20 g. de sal.



Equipo para la prueba del hidrómetro (Probeta de vidrio de capacidad de 1000 ml, hidrómetro, mezclador mecánico).



Preparación de las soluciones:

1.-Se pesan en la balanza de 0.01 g, la cantidad de 5,10, 20 g. de sal, teniendo la precaución de pesarla bien seca.



Muestra de sal que se utilizaron para calibrar el hidrómetro, cuyas cantidades fueron 5, 10, 20 g de sal.

2.-Se vacía en cada porción de sal en matraces calibrados de 500 cm³ llenando estos con agua destilada hasta la marca de aforo, se pesan y se registran las temperaturas medias del líquido.

Para obtener el volumen de la solución se utiliza la fórmula:

$$V_{\text{Sol}} = \frac{\text{Peso del agua que llena el matraz}}{\text{Peso volumétrico a la temperatura de la solución}}$$

**Densidad del agua destilada a distinta temperaturas de 0° a 100° C.**

Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatur °C	Densidad kg / m ³	Temperatur °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Pesos Volumétricos del agua en función de la temperatura.



El peso volumétrico γ_m de la solución resulta:

$$\gamma_m = \frac{\text{Peso de la solución}}{\text{Volumen solución}}$$

3.-Se vierte el contenido en la probeta.

4.-Se introduce el hidrómetro en la probeta de 500 cm³ que tiene una solución y se hace la lectura cuidando que esta sea por abajo del menisco.

5.-Se repite la operación para cada una de las soluciones y para agua destilada sola. A cada una de las lecturas se le hace la corrección por temperatura como se indica más adelante.

Se usará la expresión siguiente con la cual se calculan las lecturas que el hidrómetro debería dar si su escala estuviera correcta.

$$L = \left(\frac{1000(\gamma_w - 1)S_s}{S_s - 1} \right)$$

En donde:

L= Lectura en gramos por litro, que debería leerse en el hidrómetro.

γ_w = Peso volumétrico de la solución.

S_s =2.65 (Valor constante para todos los hidrómetros).

El peso volumétrico aparente γ_a , se obtiene a partir del peso volumétrico γ_m por medio de la relación.

$$\gamma_a = \left(\frac{\gamma_m}{1 + \gamma_T - \gamma_c - \frac{m_T}{10^3}} \right)$$



Los valores de la corrección por temperatura m_T , se encuentran en la tabla γ_T , es la densidad del agua a la temperatura de la solución se encuentra en la tabla y γ_c , es la densidad del agua a la temperatura de calibración del hidrómetro.

b) Determinación del volumen del bulbo del hidrómetro V_H

1.- Se llena la probeta de 500 cm³, hasta la marca de 400 cm³, se sumerge el hidrómetro y se observa el nuevo nivel de agua. El volumen desalojado es el volumen del bulbo.

Sumergiendo el Hidrómetro para obtener el volumen del bulbo.

2.- Se pesa el hidrómetro con una aproximación de 0.01 g. Como el volumétrico del hidrómetro es aproximadamente igual a 1 g/cm², el peso en gramos debe considerarse en centímetros cúbicos. Este volumen incluye el vástago del hidrómetro, pero el error es pequeño y puede despreciarse.



c) Altura de caída de las partículas.

1.- En la probeta de 500 cm³, se vierte 420 cm³, de agua y se sumerge el hidrómetro lentamente hasta desalojar un volumen igual a la mitad del volumen del hidrómetro determinado en el V_H. En estas condiciones la superficie del agua señala la altura que se encuentra el centro de gravedad del bulbo, se hace la lectura R_k, que en la escala del hidrómetro, coincide con el borde superior de la probeta con una aproximación de 0.1 g/lt., y se mide la distancia h_k desde el citado borde a la superficie libre del agua. El valor de h_k es la distancia del centro de volumen del hidrómetro a la lectura R_k.

2.- Para referir las distancias h₁ de cada lectura R₁ del vástago al centro de volumen, se mide el vástago la distancia R₁ y R_k tomada como referencia; según sea la lectura R₁ mayor o menor R_k, se suma o se resta del valor h_k medido en el paso 3.

3.- Se determina el área A de la probeta de 1000 cm³ midiendo las distancias entre 2 graduaciones, con un compás de puntas. El área A es el coeficiente que resulta de dividir el volumen incluido, entre las distancia medida.

4.- Se corrige la distancia efectiva de caída de inmersión. A los valores H₁ hay que hacerles la corrección debida al desalojamiento del agua, producido por la inmersión del hidrómetro. La zona de la suspensión situada al nivel del centro de volumen, y que es la que determina la lectura del hidrómetro, estaba más próxima a la superficie antes de sumergir el hidrómetro que cuando este se sumerge.

La altura de caída real corregida se conocerá con la siguiente expresión:

$$H_1 = \left(h_1 - \frac{V_H}{2A} \right)$$

En donde:

H₁= Altura de caída real corregida.

h₁= Distancia al centro del volumen, correspondiente a la lectura R₁.

V_H= Volumen del hidrómetro.

A= Área de la sección transversal de la probeta.

d) Corrección por Menisco.

Los hidrómetros están calibrados para hacer lecturas al nivel libre del líquido. Al formarse el menisco alrededor del vástago, la lectura correcta no puede hacerse, ya que la suspensión del suelo no es transparente, por lo que es necesario leer donde termina el menisco y corregir la lectura sumando la altura de él.

La corrección se determina sumergiendo el hidrómetro en agua destilada y haciendo dos lecturas en escala; una en la parte superior del menisco y otra siguiendo la superficie horizontal del agua.

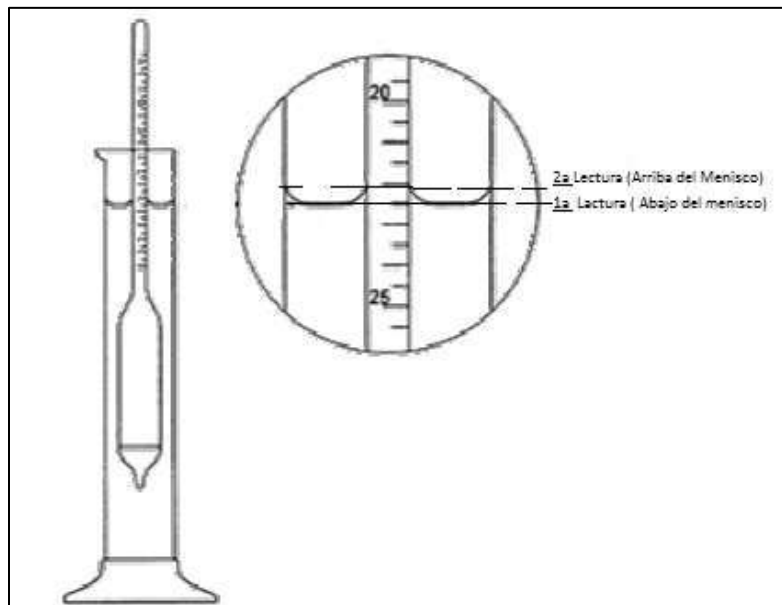


Fig. 3.4.6. Corrección por menisco.



e) Corrección por defloculante.

Al agregar un agente dispersante a la suspensión, se aumenta la densidad de ésta, por lo cual hay que hacer una nueva corrección C_d , que depende de la cantidad de defloculante (Hexametáfosfato de sodio).

Para determinar el valor de C_d , sumérgase el hidrómetro en agua destilada y hágase la lectura en la escala. Después se añade la cantidad de defloculante que se usara en la prueba y se sumerge el hidrómetro de nuevo; léase nuevamente. La diferencia entre ambas lecturas es C_d . Esta corrección es negativa.

Con los siguientes datos del cuadro de escala del hidrómetro y lecturas corregidas, se procede a construir las gráficas que nos servirán para efectuar las correcciones para la prueba por el método del hidrómetro.



3.8.- Prueba del hidrómetro.

Cuando los suelos no son grueso granulares, sino que los suelos tienen tamaños de grano pequeños no se podrá hacer análisis granulométrico por mallas, para determinar el porcentaje de peso de los diferentes tamaños de los granos de suelo. Lo apropiado es aplicar el método del hidrómetro (densímetro), hoy en día para suelos finos quizá es el ensayo de mayor uso, el hecho se basa en que las partículas tienen una velocidad de sedimentación que se relaciona con el tamaño de las partículas.

La ley fundamental para realizar análisis granulométrico por hidrómetro es formulada por Stokes, en esta ley se enuncia que si una partícula esférica cae dentro del agua adquiere pronto una velocidad uniforme que depende del diámetro de la partícula, de su densidad y de la viscosidad del agua.

Para la realización del ensayo no se usa una suspensión compuesta de agua y suelo, porque se precipitaría, en muy poco tiempo casi todo el suelo, debido a la formación de flóculos originados por la presencia de diferentes cargas eléctricas en las partículas del suelo. Se utiliza un agente defloculante que neutralice las cargas eléctricas, permitiendo que las partículas se precipiten de forma individual. Tipos de dispersantes usados comúnmente:

Silicato de Sodio (vidrio líquido). Es una solución de silicato de sodio, para lograr la concentración necesaria se usa un hidrómetro 151 H.

Hexametafosfato de sodio (NaPO_3). Comercialmente se conoce como Calgon. Se usará agua destilada a razón de 40 g de hexametafosfato sódico por cada litro de solución.

Ya que la solución es ácida se puede considerar mayor eficacia como agente defloculante en suelos alcalinos.



Para el ensayo de hidrómetro existe corrección dependiendo del tipo de hidrómetro empleado, la corrección se hará con la diferencia de la lectura del hidrómetro y un coeficiente que depende del tipo de hidrómetro, para 151 H es la unidad y para 152 H es cero.

Los hidrómetros están calibrados para hacer la lectura al nivel libre del líquido. Al formarse el menisco alrededor del vástago, la lectura correcta no puede hacerse, ya que las suspensiones de suelo son transparentes, por lo que se necesita leer donde termina el menisco y corregir la lectura sumando la altura del menisco. Esta corrección se hace sumergiendo el hidrómetro en agua destilada y haciendo dos lecturas en la escala; una en la parte superior del menisco (para que el menisco se forme completo, el cuello debe limpiarse con alcohol para eliminar la grasa) y otra siguiendo la superficie horizontal del agua. La diferencia de las dos lecturas nos da la corrección que debe sumarse a las lecturas hechas al estar operando.



Equipo.

Hidrómetro, en gr/lit, graduado de 0 a 60, con precisión de 1 gr/lit.

Probeta Bouyoucos, de 1000 cm³ sin vertedero.

Probeta ordinaria, de 1000 cm³.

Cronometro para tomar tiempos de reposo.

Termómetro, graduado, en 0.1°C, de 0 a 50°C.

Balanza con capacidad de 800 gr y precisión de 0.01 gr.

Mezclador mecánico.

Vaso de precipitado.

Defloculante.

Cápsula de porcelana.

Horno a temperatura constante (110°C).



Procedimiento.

Si la prueba es parte de una prueba combinado, se forma, con los finos obtenidos por lavado, se comienza del paso 7 que a continuación se enlista pero como en nuestro caso es directo de una muestra suelo fino se procede como sigue.

- 1.- Se pesa una cantidad de suelo húmedo que contenga, aproximadamente, 50gr de sólidos y hasta 100gr si el suelo contiene un porcentaje apreciable de granos gruesos que, sin embargo, no justifique un análisis combinado (menos de 25 por ciento retenido en la malla N° 200).
- 2.- Se prepara una solución de 900 cm³, con la cantidad total de defloculante que debe emplearse en la suspensión.
- 3.- Se agrega una parte de esta solución al suelo y se mezcla hasta obtener la consistencia de una pasta fluida.
- 4.- Se transfiere la pasta a un mezclador mecánico, y se agrega otra parte de la solución preparada en el segundo paso hasta obtener, aproximadamente, 300 cm³ de pasta líquida.
- 5.- La suspensión suelo-agua se revuelve, en el mezclador mecánico, durante 15 minutos por lo menos.
- 6.- Se vierte la suspensión en una probeta Bouyoucos. Se agrega el resto de la solución y agua destilada hasta la marca de aforo (1000 cm³). Si se trata de un material muy plástico, es conveniente dejar reposar la suspensión el defloculante de un día para otro.
- 7.- Con la mano se obtura la boca de la probeta y se agita vigorosamente durante un minuto, haciéndola girar 180° en un plano vertical.
- 8.- Se coloca cuidadosamente, pero rápidamente, la probeta en una mesa firme, se pone en marcha el cronómetro y, poco a poco, se sumerge el hidrómetro hasta que comience a flotar. Se deja durante dos minutos, tomando lecturas a los 20, 40, 80 y 120 segundos. Las lecturas deberán anotarse en el registro.
- 9.- Se retira el hidrómetro y se sumerge en una probeta con agua limpia, se toma la temperatura de la suspensión.
10. Se repiten los pasos 7 y 9 hasta obtener un juego consistente de lecturas para los dos primeros minutos del proceso de decantación.



11.- Se reinicia la prueba como se indica en los puntos 7 y 8, pero insertado el hidrómetro solamente a los 100 segundos para realizar la lectura de los dos minutos. Después de esta lectura, se retira el hidrómetro de la suspensión y se toma la temperatura.

12.- Se repiten las lecturas a los 5, 10, 20, 25 y 30 minutos, y a la 1, 1.5, 2, 3, 24 y 48 horas. El hidrómetro se introduce en la suspensión, aproximadamente 20 segundos antes de hacer nada una de las lecturas, y se registra la temperatura de esta después de cada operación. El hidrómetro debe permanecer en una probeta de agua limpia, la cual estará junto a la de sedimentación, de modo de que el hidrómetro se encuentre a la misma temperatura que la suspensión en la probeta contigua. El vástago del hidrómetro deberá limpiarse con papel absorbente antes de cada lectura. Las probetas de sedimentación y de agua limpia deberán mantenerse tapadas para evitar evaporación y depósito de polvo.

13.- Después de la última lectura, la probeta se agita vigorosamente para poner, nuevamente, los sedimentos en suspensión. Se transfiere la suspensión a una cápsula de 1300 cm³ de capacidad, y se seca al horno. Se calcula el peso seco de los sólidos, sustrayendo el del defloculante.



RESULTADOS.

PRUEBA 1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

HIDÓMETRO N° 152H

Gs DE LOS SOLIDOS 2.58

α 0.99 (DEL FORMATO)

AGENTE DISPERSANTE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO

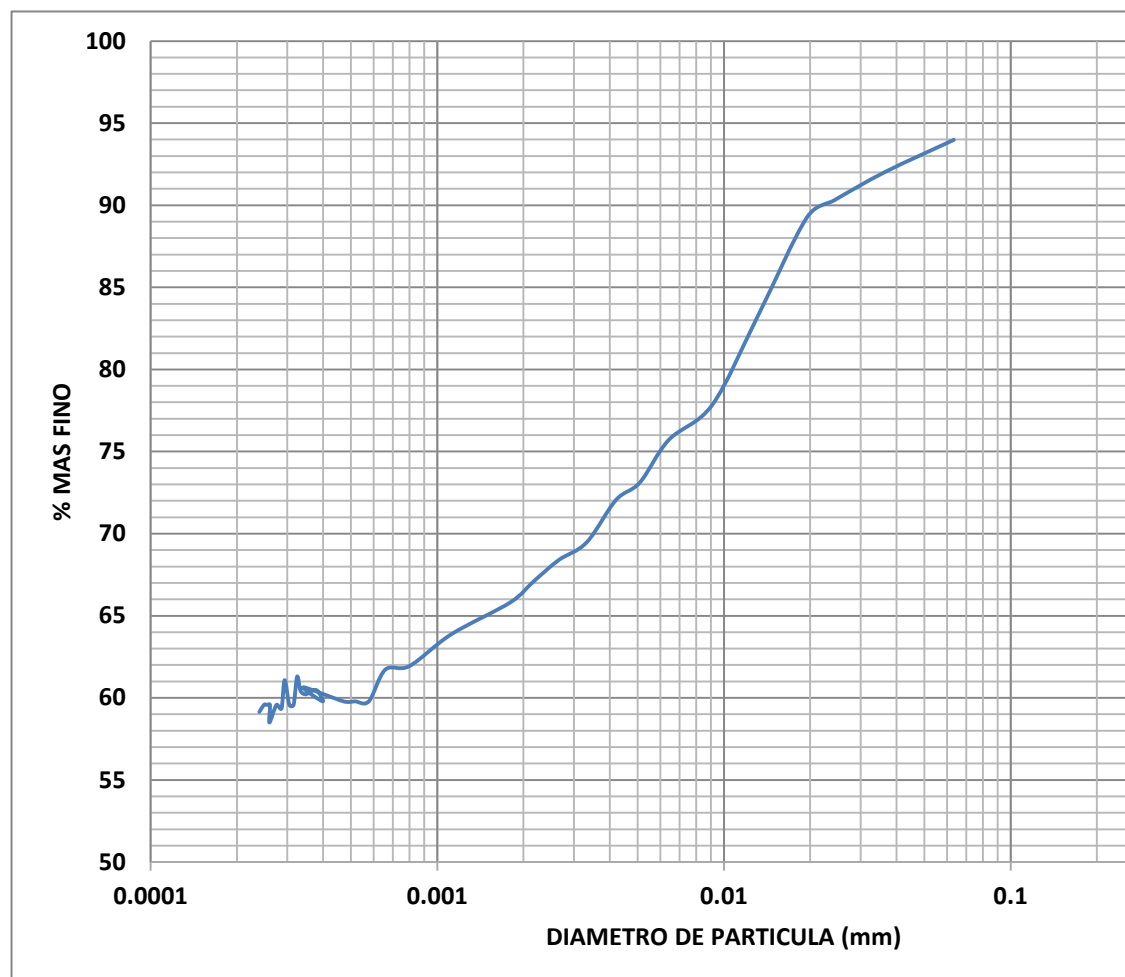
CANTIDAD DEL DISPERSANTE 14.0gr

VOLUMEN DEL HIDRÓMETRO 67cm³ AREA=28.143

CORRECCIÓN DE CERO 15.8

PESO DE SUELO Ws 42.5

CORRECCIÓN DEL MENISCO 1.1





FECHA	TIEMPO (MIN)	TEMP. °C	LECTURA DEL HIDROMETRO	LECTURA CORREGIDA	% MAS FINO	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	L DE LA TABLA 6-5	L/t	K DE LA TABLA 6-4	D, mm
13-nov-13	0.33	18°C	59	43.7	93.983	60	6.5	19.697	0.01428	0.06338
13-nov-13	1	18°C	58.1	42.8	92.047	59	6.6	6.6	0.01428	0.03669
13-nov-13	2.33	18°C	57.3	42	90.326	58	6.8	2.91845	0.01428	0.0244
13-nov-13	3.66	18°C	56.8	41.5	89.251	58	6.8	1.85792	0.01428	0.01946
13-nov-13	8.66	18°C	54	38.7	83.229	55	7.3	0.84296	0.01428	0.01311
13-nov-13	18.66	18°C	51.5	36.2	77.853	53	7.6	0.40729	0.01428	0.00911
13-nov-13	38.66	18°C	50.5	35.2	75.702	52	7.8	0.20176	0.01428	0.00641
13-nov-13	63.66	18°C	49.3	34	73.121	50	8.1	0.12724	0.01428	0.00509
13-nov-13	93.66	18°C	48.8	33.5	72.046	50	8.1	0.08648	0.01428	0.0042
13-nov-13	153.66	18°C	47.6	32.3	69.465	49	8.3	0.05402	0.01428	0.00332
13-nov-13	243.66	18°C	47.1	31.8	68.39	48	8.4	0.03447	0.01428	0.00265
13-nov-13	363.66	18°C	46.5	31.2	67.1	48	8.4	0.0231	0.01428	0.00217
13-nov-13	543.66	18°C	45.9	30.6	65.809	47	8.6	0.01582	0.01428	0.0018
14-nov-13	1513.66	16°C	45	29.7	63.874	46	8.8	0.00581	0.01468	0.00112
15-nov-13	2913.66	17°C	44.1	28.8	61.938	45	8.9	0.00305	0.01448	0.0008
16-nov-13	4294.66	17°C	44	28.7	61.723	45	8.9	0.00207	0.01448	0.00066
17-nov-13	5729.66	17°C	43.1	27.8	59.787	44	9.1	0.00159	0.01448	0.00058
18-nov-13	7161.66	17°C	43.1	27.8	59.787	44	9.1	0.00127	0.01448	0.00052
19-nov-13	8601.66	17°C	43.1	27.8	59.787	44	9.1	0.00106	0.01448	0.00047
20-nov-13	10049.7	16.5°C	43.5	28.2	60.648	45	8.9	0.00089	0.011474	0.00034
21-nov-13	11712.7	18°C	43.1	27.8	59.787	44	9.1	0.00078	0.01428	0.0004
22-nov-13	13152.7	16°C	43.4	28.1	60.433	45	8.9	0.00068	0.01468	0.00038
23-nov-13	14386.7	16°C	43.4	28.1	60.433	45	8.9	0.00062	0.01468	0.00037
24-nov-13	15794.7	17°C	43.3	28	60.218	44	9.1	0.00058	0.01448	0.00035
25-nov-13	17254.7	16°C	43.4	28.1	60.433	45	8.9	0.00052	0.01468	0.00033
26-nov-13	18711.7	15°C	43.8	28.5	61.293	45	8.9	0.00048	0.01488	0.00032
27-nov-13	20254.7	15°C	43	27.7	59.572	44	9.1	0.00045	0.01488	0.00032
28-nov-13	21694.7	15°C	43	27.7	59.572	44	9.1	0.00042	0.01488	0.0003
29-nov-13	23134.7	13.5°C	43.7	28.4	61.078	45	8.9	0.00038	0.01496	0.00029
30-nov-13	24584.7	15°C	42.9	27.6	59.357	44	9.1	0.00037	0.01488	0.00029
01-dic-13	25964.7	16°C	43	27.7	59.572	44	9.1	0.00035	0.01468	0.00027
02-dic-13	27487.7	18°C	42.5	27.2	58.497	44	9.1	0.00033	0.01428	0.00026
03-dic-13	28807.7	16°C	43	27.7	59.572	44	9.1	0.00032	0.01468	0.00026
04-dic-13	30201.7	16°C	43	27.7	59.572	44	9.1	0.0003	0.01468	0.00025
05-dic-13	31739.7	16°C	43	27.7	59.572	44	9.1	0.00029	0.01468	0.00025
06-dic-13	33235.7	17°C	42.8	27.5	59.142	44	9.1	0.00027	0.01448	0.00024



MUESTRA 2.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

HIDRÓMETRO N° 152H

Gs DE LOS SÓLIDOS 2.69

α 0.99 (DEL FORMATO)

AGENTE DISPERSANTE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO

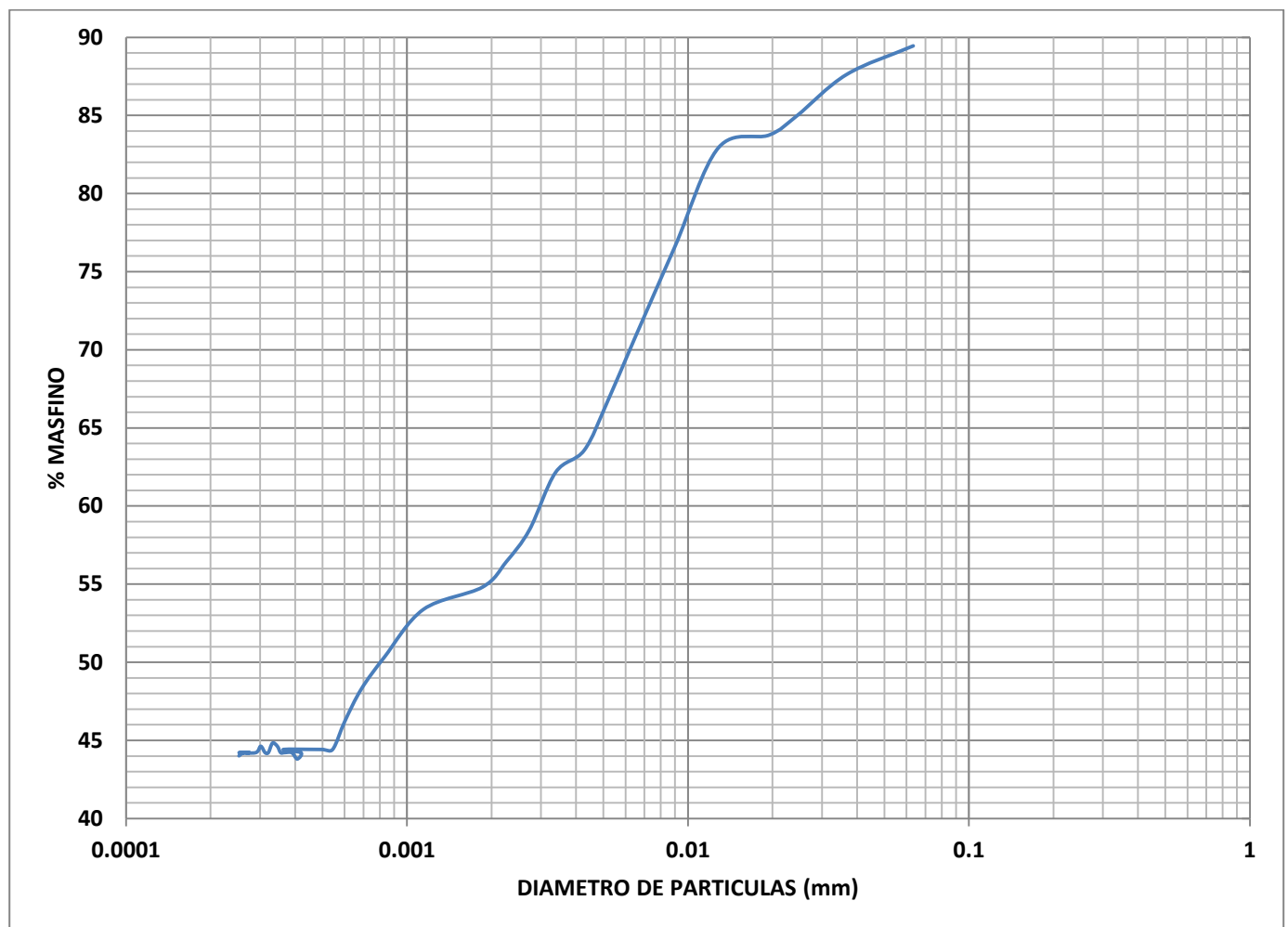
CANTIDAD DEL DISPERSANTE 14.0gr

VOLUMEN DEL HIDRÓMETRO 67cm³ AREA=28.143

CORRECCIÓN DE CERO 15.8

PESO DE SUELO Ws 43.3

CORRECCIÓN DEL MENISCO 1.1





FECHA	TIEMPO (MIN)	TEMP. °C	LECTURA DEL HIDROMETRO	LECTURA CORREGIDA	% MAS FINO	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	L DE LA TABLA 6-5	L/t	K DE LA TABLA 6-4	D, mm
13-nov-13	0.33	18°C	59.2	43.9	89.4514	60	6.5	19.697	0.01428	0.06338
13-nov-13	1	18°C	58.3	43	87.6175	59	6.6	6.6	0.01428	0.03669
13-nov-13	2.33	18°C	57	41.7	84.9686	58	6.8	2.91845	0.01428	0.0244
13-nov-13	3.66	18°C	56.4	41.1	83.746	58	6.8	1.85792	0.01428	0.01946
13-nov-13	8.66	18°C	56	40.7	82.931	57	7	0.80831	0.01428	0.01284
13-nov-13	18.66	18°C	52.9	37.6	76.6144	54	7.4	0.39657	0.01428	0.00899
13-nov-13	38.66	18°C	50	34.7	70.7053	51	7.9	0.20435	0.01428	0.00646
13-nov-13	63.66	18°C	48	32.7	66.6301	49	8.3	0.13038	0.01428	0.00516
13-nov-13	93.66	18°C	46.5	31.2	63.5736	48	8.4	0.08969	0.01428	0.00428
13-nov-13	153.66	18°C	45.8	30.5	62.1473	47	8.6	0.05597	0.01428	0.00338
13-nov-13	243.66	18°C	44	28.7	58.4796	45	8.9	0.03653	0.01428	0.00273
13-nov-13	363.66	18°C	43	27.7	56.442	44	9.1	0.02502	0.01428	0.00226
13-nov-13	543.66	18°C	42.2	26.9	54.8119	43	9.2	0.01692	0.01428	0.00186
14-nov-13	1513.66	16°C	41.5	26.2	53.3856	43	9.2	0.00608	0.01468	0.00114
15-nov-13	2913.66	17°C	40	24.7	50.3291	41	9.6	0.00329	0.01448	0.00083
16-nov-13	4294.66	17°C	39	23.7	48.2915	40	9.7	0.00226	0.01448	0.00069
17-nov-13	5729.66	17°C	38	22.7	46.2539	39	9.9	0.00173	0.01448	0.0006
18-nov-13	7161.66	17°C	37.1	21.8	44.42	38	10.1	0.00141	0.01448	0.00054
19-nov-13	8601.66	17°C	37.1	21.8	44.42	38	10.1	0.00117	0.01448	0.0005
20-nov-13	10049.66	16.5°C	37.1	21.8	44.42	38	10.1	0.00101	0.011474	0.00036
21-nov-13	11712.66	18°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00086	0.01428	0.00042
22-nov-13	13152.66	16°C	36.8	21.5	43.8088	38	10.1	0.00077	0.01468	0.00041
23-nov-13	14386.66	16°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.0007	0.01468	0.00039
24-nov-13	15794.66	17°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00064	0.01448	0.00037
25-nov-13	17254.66	16°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00059	0.01468	0.00036
26-nov-13	18711.66	15°C	37.2	21.9	44.6238	38	10.1	0.00054	0.01488	0.00035
27-nov-13	20254.66	15°C	37.3	22	44.8276	38	10.1	0.0005	0.01488	0.00033
28-nov-13	21694.66	15°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00047	0.01488	0.00032
29-nov-13	23134.66	13.5°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00044	0.01496	0.00031
30-nov-13	24584.66	15°C	37.2	21.9	44.6238	38	10.1	0.00041	0.01488	0.0003
01-dic-13	25964.66	16°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00039	0.01468	0.00029
02-dic-13	27487.66	18°C	37	21.7	44.2163	38	8.6	0.00031	0.01428	0.00025
03-dic-13	28807.66	16°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00035	0.01468	0.00027
04-dic-13	30201.66	16°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00033	0.01468	0.00027
05-dic-13	31739.66	16°C	37	21.7	44.2163	38	10.1	0.00032	0.01468	0.00026
06-dic-13	33235.66	17°C	36.9	21.6	44.0125	38	10.1	0.0003	0.01448	0.00025



PRUEBA 3.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

HIDRÓMETRO N° 152H

Gs DE LOS SOLIDOS 2.60

α 0.99 (DEL FORMATO)

AGENTE DISPERSANTE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO

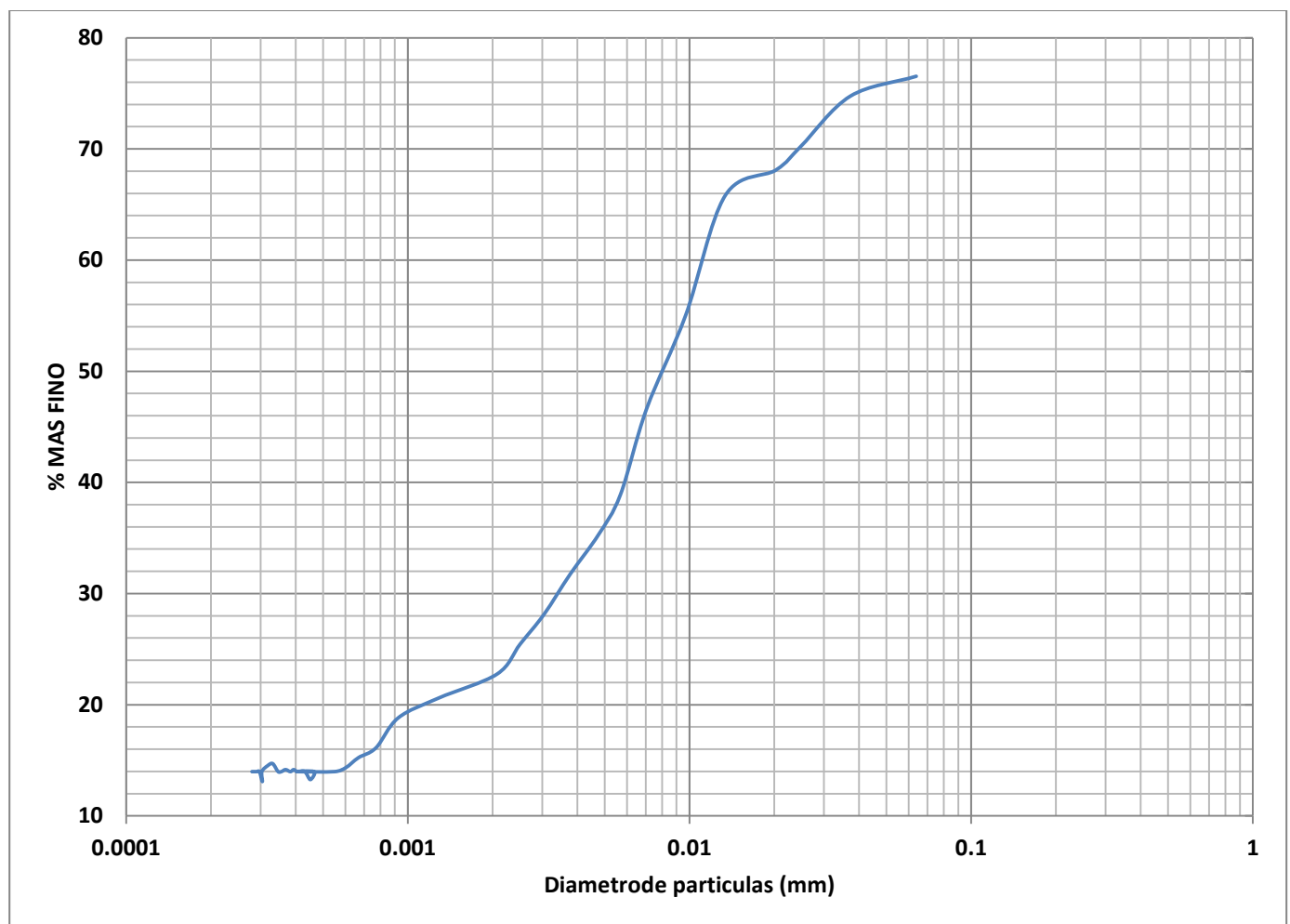
CANTIDAD DEL DISPERSANTE 14.0gr

VOLUMEN DEL HIDRÓMETRO 67cm³ AREA=28.143

CORRECCIÓN DE CERO 15.8

PESO DE SUELO Ws 46.5

CORRECCIÓN DEL MENISCO 1.1





FECHA	TIEMPO (MIN)	TEMP. °C	LECTURA DEL HIDROMETRO	LECTURA CORREGIDA	% MAS FINO	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	L DE LA TABLA 6-5	L/t	K DE LA TABLA 6-4	D, mm
13-nov-13	0.33	18°C	58	42.7	76.5369	59	6.6	20	0.01428	0.06386
13-nov-13	1	18°C	57	41.7	74.7444	58	6.8	6.8	0.01428	0.03724
13-nov-13	2.33	18°C	54.5	39.2	70.2633	56	7.1	3.0472	0.01428	0.02493
13-nov-13	3.66	18°C	53.3	38	68.1124	54	7.4	2.0219	0.01428	0.02031
13-nov-13	8.66	18°C	52	36.7	65.7823	53	7.6	0.8776	0.01428	0.01338
13-nov-13	18.66	18°C	46	30.7	55.0277	47	8.6	0.4609	0.01428	0.00969
13-nov-13	38.66	18°C	41.3	26	46.6032	42	9.4	0.2431	0.01428	0.00704
13-nov-13	63.66	18°C	37	21.7	38.8958	38	10.1	0.1587	0.01428	0.00569
13-nov-13	93.66	18°C	35	19.7	35.3109	36	10.4	0.111	0.01428	0.00476
13-nov-13	153.66	18°C	33	17.7	31.7261	34	10.7	0.0696	0.01428	0.00377
13-nov-13	243.66	18°C	31	15.7	28.1412	32	11.1	0.0456	0.01428	0.00305
13-nov-13	363.66	18°C	29.5	14.2	25.4525	31	11.2	0.0308	0.01428	0.00251
13-nov-13	543.66	18°C	28	12.7	22.7639	29	11.5	0.0212	0.01428	0.00208
14-nov-13	1513.66	16°C	26.8	11.5	20.613	28	11.7	0.0077	0.01468	0.00129
15-nov-13	2913.66	17°C	25.8	10.5	18.8205	27	11.9	0.0041	0.01448	0.00093
16-nov-13	4294.66	17°C	24.3	9	16.1319	25	12.2	0.0028	0.01448	0.00077
17-nov-13	5729.66	17°C	23.8	8.5	15.2357	25	12.2	0.0021	0.01448	0.00067
18-nov-13	7161.66	17°C	23.3	8	14.3395	24	12.4	0.0017	0.01448	0.0006
19-nov-13	8601.66	17°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0014	0.01448	0.00055
20-nov-13	10049.66	16.5°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0012	0.011474	0.0004
21-nov-13	11712.66	18°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0011	0.01428	0.00046
22-nov-13	13152.66	16°C	22.7	7.4	13.264	24	12.4	0.0009	0.01468	0.00045
23-nov-13	14386.66	16°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0009	0.01468	0.00043
24-nov-13	15794.66	17°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0008	0.01448	0.00041
25-nov-13	17254.66	16°C	23.2	7.9	14.1602	24	12.4	0.0007	0.01468	0.00039
26-nov-13	18711.66	15°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0007	0.01488	0.00038
27-nov-13	20254.66	15°C	23.2	7.9	14.1602	24	12.4	0.0006	0.01488	0.00037
28-nov-13	21694.66	15°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0006	0.01488	0.00036
29-nov-13	23134.66	13.5°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0005	0.01496	0.00035
30-nov-13	24584.66	15°C	23.5	8.2	14.6979	25	12.2	0.0005	0.01488	0.00033
01-dic-13	25964.66	16°C	23.4	8.1	14.5187	25	12.2	0.0005	0.01468	0.00032
02-dic-13	27487.66	18°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0005	0.01428	0.0003
03-dic-13	28807.66	16°C	22.6	7.3	13.0848	24	12.4	0.0004	0.01468	0.0003
04-dic-13	30201.66	16°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0004	0.01468	0.0003
05-dic-13	31739.66	16°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0004	0.01468	0.00029
06-dic-13	33235.66	17°C	23.1	7.8	13.981	24	12.4	0.0004	0.01448	0.00028



PRUEBA 4.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

HIDRÓMETRO N° 152H

Gs DE LOS SOLIDOS 2.68

α 0.99 (DEL FORMATO)

AGENTE DISPERSANTE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO

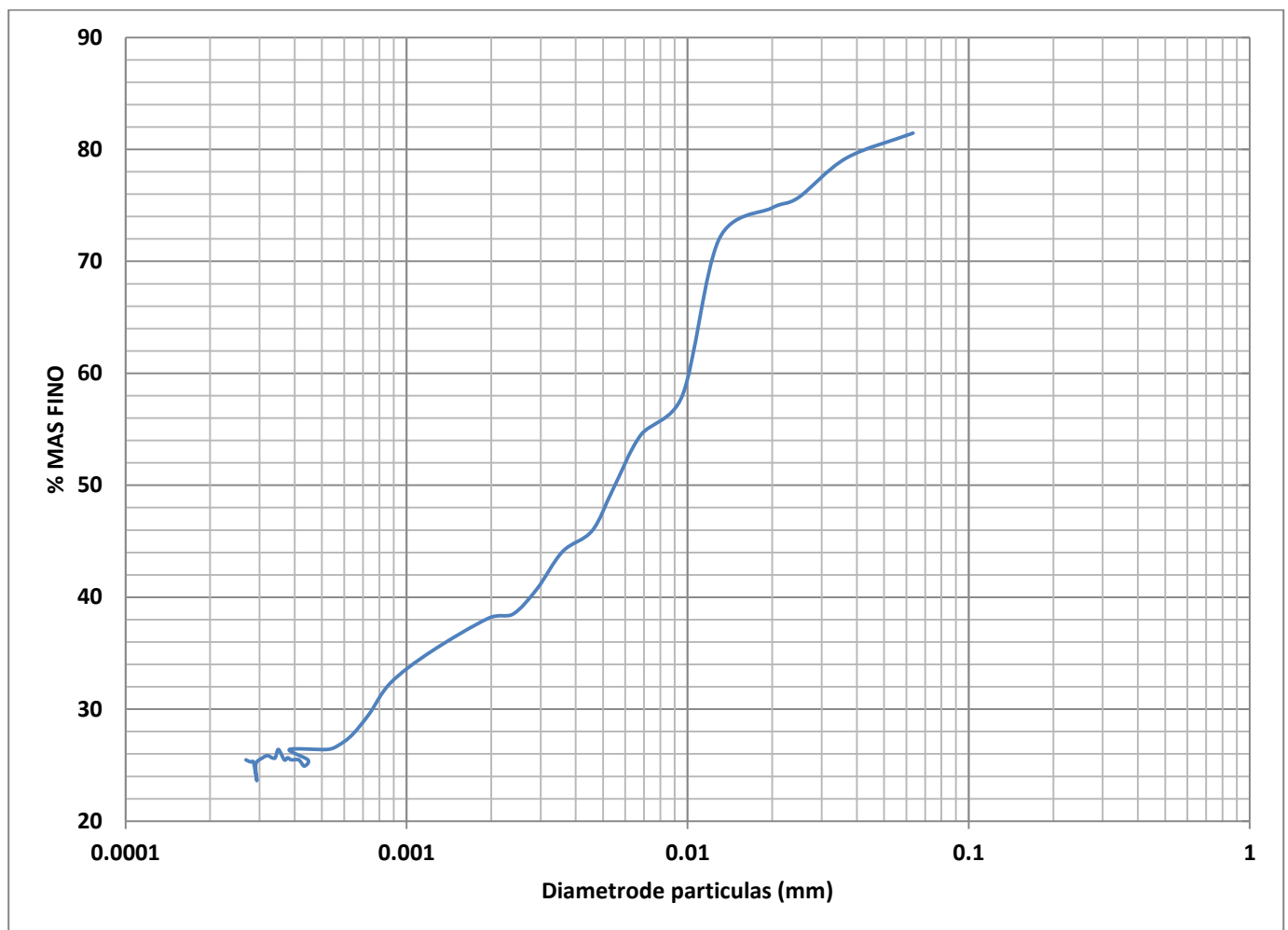
CANTIDAD DEL DISPERSANTE 14.0gr

VOLUMEN DEL HIDRÓMETRO 67cm³ AREA=28.143

CORRECCIÓN DE CERO 15.8

PESO DE SUELO Ws 47.3

CORRECCIÓN DEL MENISCO 1.1





FECHA	TIEMPO (MIN)	TEMP. °C	LECTURA DEL HIDROMETRO	LECTURA CORREGIDA	% MAS FINO	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	L DE LA TABLA 6-5	L/t	K DE LA TABLA 6-4	D, mm
13-nov-13	0.33	18°C	59.1	43.8	81.4527	60	6.5	19.697	0.01428	0.063376
13-nov-13	1	18°C	57.9	42.6	79.2211	59	6.6	6.6	0.01428	0.036686
13-nov-13	2.33	18°C	56	40.7	75.6878	57	7	3.00429	0.01428	0.024751
13-nov-13	3.66	18°C	55.5	40.2	74.758	57	7.1	1.93989	0.01428	0.019889
13-nov-13	8.66	18°C	54	38.7	71.9685	55	7.1	0.81986	0.01428	0.01293
13-nov-13	18.66	18°C	46.5	31.2	58.0211	48	8.4	0.45016	0.01428	0.009581
13-nov-13	38.66	18°C	44.6	29.3	54.4878	46	8.8	0.22763	0.01428	0.006813
13-nov-13	63.66	18°C	42	26.7	49.6527	43	9.2	0.14452	0.01428	0.005429
13-nov-13	93.66	18°C	40	24.7	45.9334	41	9.6	0.1025	0.01428	0.004572
13-nov-13	153.66	18°C	39	23.7	44.0737	40	9.7	0.06313	0.01428	0.003588
13-nov-13	243.66	18°C	37.2	21.9	40.7264	38	10.1	0.04145	0.01428	0.002907
13-nov-13	363.66	18°C	36	20.7	38.4948	37	10.2	0.02805	0.01428	0.002392
13-nov-13	543.66	18°C	35.8	20.5	38.1228	37	10.2	0.01876	0.01428	0.001956
14-nov-13	1513.66	16°C	34.2	18.9	35.1474	35	10.5	0.00694	0.01468	0.001223
15-nov-13	2913.66	17°C	32.7	17.4	32.3579	34	10.7	0.00367	0.01448	0.000877
16-nov-13	4294.66	17°C	31.2	15.9	29.5685	32	11.1	0.00258	0.01448	0.000736
17-nov-13	5729.66	17°C	30.2	14.9	27.7088	31	11.2	0.00195	0.01448	0.00064
18-nov-13	7161.66	17°C	29.7	14.4	26.779	31	11.2	0.00156	0.01448	0.000573
19-nov-13	8601.66	17°C	29.5	14.2	26.407	31	11.2	0.0013	0.01448	0.000523
20-nov-13	10049.66	16.5°C	29.5	14.2	26.407	31	11.2	0.00111	0.011474	0.000383
21-nov-13	11712.66	18°C	29	13.7	25.4772	30	11.4	0.00097	0.01428	0.000446
22-nov-13	13152.66	16°C	28.7	13.4	24.9193	30	11.4	0.00087	0.01468	0.000432
23-nov-13	14386.66	16°C	29	13.7	25.4772	30	11.4	0.00079	0.01468	0.000413
24-nov-13	15794.66	17°C	29	13.7	25.4772	30	11.4	0.00072	0.01448	0.000389
25-nov-13	17254.66	16°C	29.1	13.8	25.6632	30	11.4	0.00066	0.01468	0.000377
26-nov-13	18711.66	15°C	29	13.7	25.4772	30	11.4	0.00061	0.01488	0.000367
27-nov-13	20254.66	15°C	29.5	14.2	26.407	31	11.2	0.00055	0.01488	0.00035
28-nov-13	21694.66	15°C	29.1	13.8	25.6632	30	11.4	0.00053	0.01488	0.000341
29-nov-13	23134.66	13.5°C	29.1	13.8	25.6632	30	11.4	0.00049	0.01496	0.000332
30-nov-13	24584.66	15°C	29.2	13.9	25.8492	30	11.4	0.00046	0.01488	0.00032
01-dic-13	25964.66	16°C	29.1	13.8	25.6632	30	11.4	0.00044	0.01468	0.000308
02-dic-13	27487.66	18°C	28.8	13.5	25.1053	30	11.4	0.00041	0.01428	0.000291
03-dic-13	28807.66	16°C	28	12.7	23.6176	29	11.5	0.0004	0.01468	0.000293
04-dic-13	30201.66	16°C	28.9	13.6	25.2913	30	11.4	0.00038	0.01468	0.000285
05-dic-13	31739.66	16°C	28.9	13.6	25.2913	30	11.4	0.00036	0.01468	0.000278
06-dic-13	33235.66	17°C	29	13.7	25.4772	30	11.4	0.00034	0.01448	0.000268



PRUEBA 5.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

HIDRÓMETRO N° 152H

Gs DE LOS SÓLIDOS 2.67

α 0.99 (DEL FORMATO)

AGENTE DISPERSANTE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO

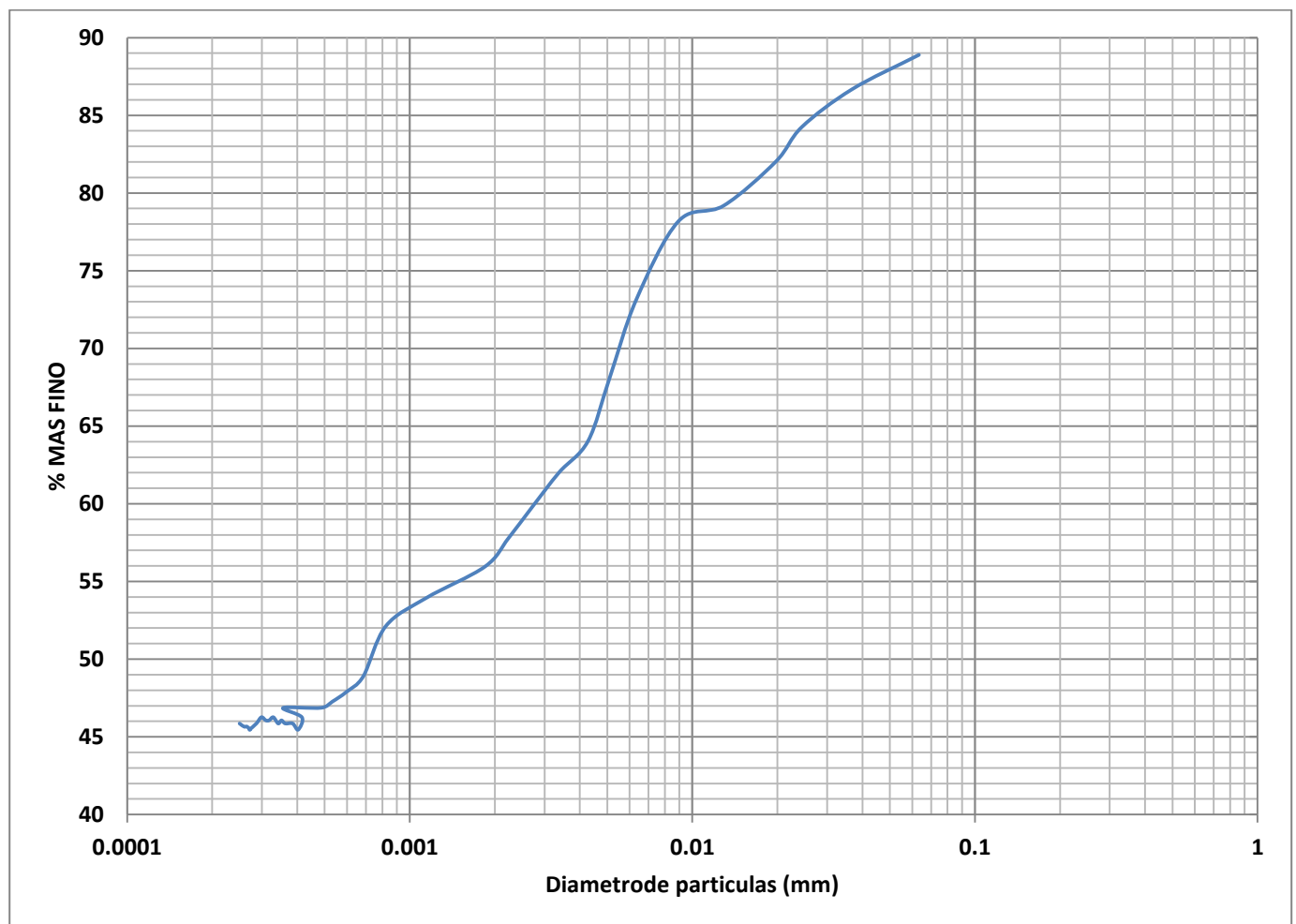
CANTIDAD DEL DISPERSANTE 14.0gr

VOLUMEN DEL HIDRÓMETRO 67cm³ AREA=28.143

CORRECCIÓN DE CERO 15.8

PESO DE SUELO Ws 45.5

CORRECCIÓN DEL MENISCO 1.1





FECHA	TIEMPO (MIN)	TEMP. °C	LECTURA DEL HIDROMETRO	LECTURA CORREGIDA	% MAS FINO	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	L DE LA TABLA 6-5	L/t	K DE LA TABLA 6-4	D, mm
13-nov-13	0.33	18°C	59.3	44	88.89112	60	6.5	19.697	0.01428	0.063376
13-nov-13	1	18°C	58.2	42.9	86.66884	59	6.6	6.6	0.01428	0.036686
13-nov-13	2.33	18°C	57	41.7	84.24454	58	6.8	2.91845	0.01428	0.024395
13-nov-13	3.66	18°C	55.9	40.6	82.02226	57	7	1.91257	0.01428	0.019749
13-nov-13	8.66	18°C	54.5	39.2	79.19391	56	7.1	0.81986	0.01428	0.01293
13-nov-13	18.66	18°C	54	38.7	78.18378	55	7.3	0.39121	0.01428	0.008932
13-nov-13	38.66	18°C	51.5	36.2	73.13315	53	7.6	0.19659	0.01428	0.006331
13-nov-13	63.66	18°C	49	33.7	68.08252	50	8.1	0.12724	0.01428	0.005094
13-nov-13	93.66	18°C	47	31.7	64.04201	48	8.4	0.08969	0.01428	0.004277
13-nov-13	153.66	18°C	46	30.7	62.02176	47	8.6	0.05597	0.01428	0.003378
13-nov-13	243.66	18°C	44.9	29.6	59.79948	46	8.8	0.03612	0.01428	0.002714
13-nov-13	363.66	18°C	43.9	28.6	57.77923	45	8.9	0.02447	0.01428	0.002234
13-nov-13	543.66	18°C	43	27.7	55.961	44	9.1	0.01674	0.01428	0.001848
14-nov-13	1513.66	16°C	42	26.7	53.94075	43	9.2	0.00608	0.01468	0.001144
15-nov-13	2913.66	17°C	41.1	25.8	52.12252	42	9.4	0.00323	0.01448	0.000822
16-nov-13	4294.66	17°C	39.5	24.2	48.89012	41	9.6	0.00224	0.01448	0.000685
17-nov-13	5729.66	17°C	39	23.7	47.87999	40	9.7	0.00169	0.01448	0.000596
18-nov-13	7161.66	17°C	38.7	23.4	47.27391	40	9.7	0.00135	0.01448	0.000533
19-nov-13	8601.66	17°C	38.5	23.2	46.86986	40	9.7	0.00113	0.01448	0.000486
20-nov-13	10049.66	16.5°C	38.5	23.2	46.86986	40	9.7	0.00097	0.011474	0.000356
21-nov-13	11712.66	18°C	38.2	22.9	46.26379	39	9.9	0.00085	0.01428	0.000415
22-nov-13	13152.66	16°C	37.8	22.5	45.45569	39	9.9	0.00075	0.01468	0.000403
23-nov-13	14386.66	16°C	38	22.7	45.85974	39	9.9	0.00069	0.01468	0.000385
24-nov-13	15794.66	17°C	38	22.7	45.85974	39	9.9	0.00063	0.01448	0.000363
25-nov-13	17254.66	16°C	38.1	22.8	46.06176	39	9.9	0.00057	0.01468	0.000352
26-nov-13	18711.66	15°C	38	22.7	45.85974	39	9.9	0.00053	0.01488	0.000342
27-nov-13	20254.66	15°C	38.2	22.9	46.26379	39	9.9	0.00049	0.01488	0.000329
28-nov-13	21694.66	15°C	38.1	22.8	46.06176	39	9.9	0.00046	0.01488	0.000318
29-nov-13	23134.66	13.5°C	38.1	22.8	46.06176	39	9.9	0.00043	0.01496	0.000309
30-nov-13	24584.66	15°C	38.2	22.9	46.26379	39	9.9	0.0004	0.01488	0.000299
01-dic-13	25964.66	16°C	38	22.7	45.85974	39	9.9	0.00038	0.01468	0.000287
02-dic-13	27487.66	18°C	37.8	22.5	45.45569	39	9.9	0.00036	0.01428	0.000271
03-dic-13	28807.66	16°C	37.8	22.5	45.45569	39	9.9	0.00034	0.01468	0.000272
04-dic-13	30201.66	16°C	37.9	22.6	45.65771	39	9.9	0.00033	0.01468	0.000266
05-dic-13	31739.66	16°C	37.9	22.6	45.65771	39	9.9	0.00031	0.01468	0.000259
06-dic-13	33235.66	17°C	38	22.7	45.85974	39	9.9	0.0003	0.01448	0.00025

**4.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.****4.1.- Resultados de las pruebas índice.****TABA DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE****LABORATORIO.**

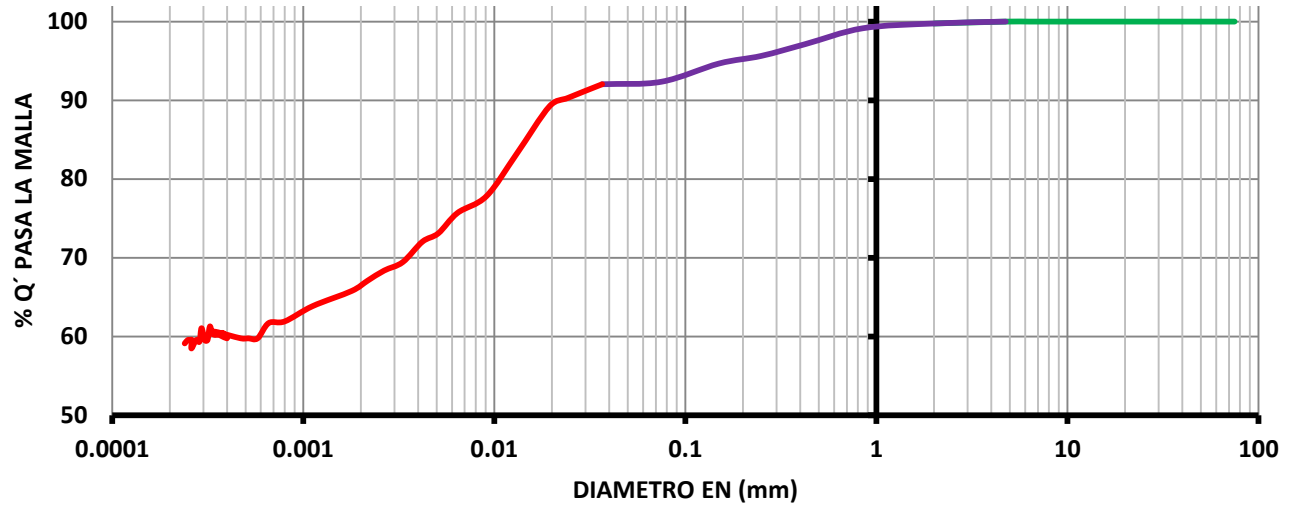
DATOS	MUESTR 1	MUESTR 2	MUESTR 3	MUESTR 4	MUESTR 5
ENSAYE No.					
PCA No.					
ESTRATO No.					
PROFUNDIDAD MUESTRA (m).					
TIPO DE MUESTRA.					
PRUEBAS REALIZADAS.					
GRANULOMETRÍA.	1	2	3	4	5
% FRAGMENTOS DE ROCA.	0	0	0	0	0
% PASA MALLA 3"	100	100	100	100	100
% PASA MALLA No. 4	100	100	100	100	100
% PASA MALLA No. 40	97	94	91	95	98
% PASA MALLA No. 200	92	89	84	89	93
LIMITES DE CONSISTENCIA.					
% HUMEDAD NATURAL. (W)	14.3	9.1	8.66	6.65	14.75
% LIMITE LÍQUIDO. (LL)	48.57	45.8	36.18	42	47.47
% LIMITE PLÁSTICO. (LP)	27.36	23.23	17.49	17.88	24.54
% INDICE PLÁSTICO. (IP)	21.21	22.07	18.69	24.12	22.93
% CONTRACCIÓN LINEAL. (CL)	11.62	12.4	9.09	10.37	11.3
% LIMITE DE CONTACCIÓN. (CV)	11.3	12.65	14.83	10.93	14.02
CLASIFICACIÓN SUCS.					
RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS					
PESO VOL. SECO DEL LUGAR EN (tn/m ³) (Y ^d)					
PESO VOLUMÉTRICO DEL LUGAR EN (tn/m ³) (Y ^m)					
DESIDAD DE SÓLIDOS. (Ss)					
RELACIONES DE VACÍOS. (e)					
POROCIDAD EN (%). (n)					
GRADO DE SATURACIÓN EN (%) (Gw)					

**4.2.- Resultados de las granulometrías.****MUESTRA 1.**

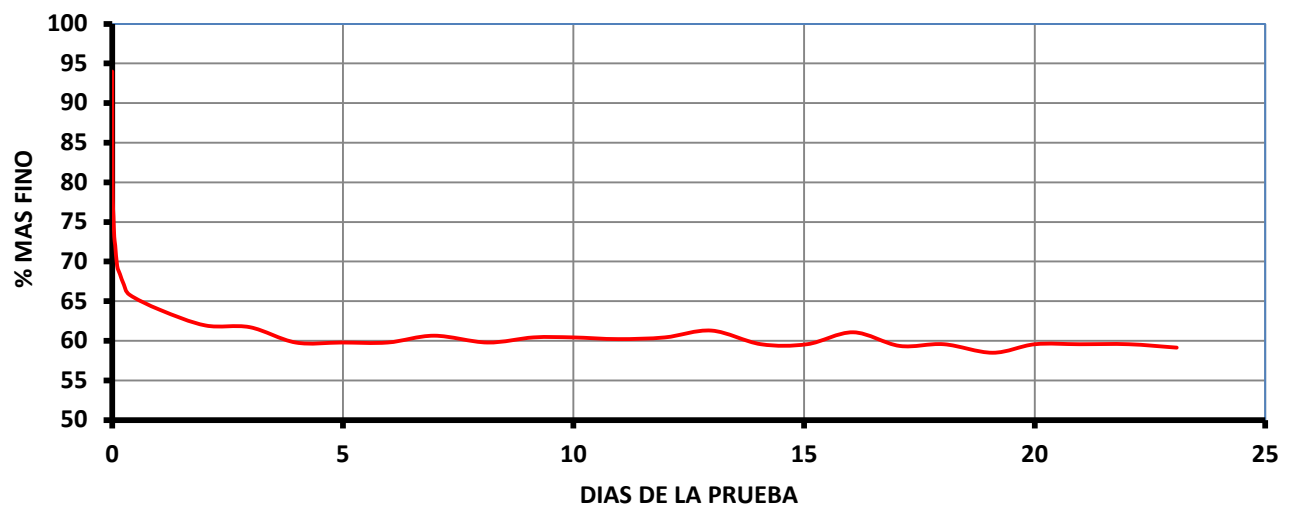
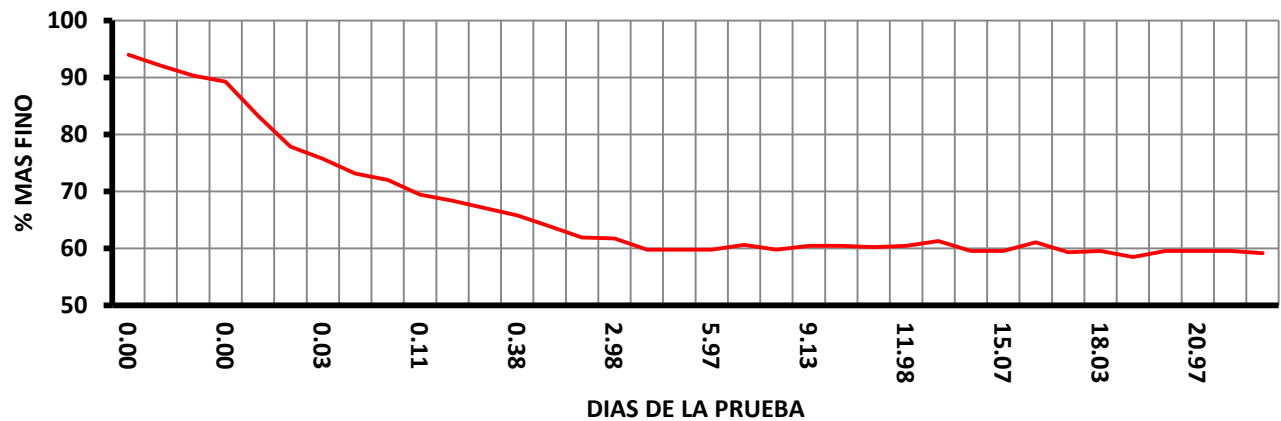
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	36.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	0	100
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.52	0	0	0	100
N° 4.	4.76	0	0	0	100
Pasa N° 4					
SUMA					
10	2.00	0.48	0.24	0.24	99.76
20	0.84	1.21	0.60	0.84	99.15
40	0.42	4.02	2.01	2.85	97.14
60	0.25	3	1.5	4.35	95.64
100	0.149	1.94	0.97	5.32	94.67
200	0.074	4.62	2.31	7.63	92.36
Pasa 200		184.73	92.36	100	
SUMA		200			



MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
	0.063376451				92.04
	0.036685984				90.32
	0.024395218				89.25
	0.019464449				83.22
	0.013110845				77.85
	0.009113374				75.70
	0.006414231				73.12
	0.005093747				72.04
	0.004199462				69.46
	0.003318844				68.39
	0.002651403				67.09
	0.002170302				65.80
	0.001796031				63.87
	0.001119317				61.93
	0.000800284				61.72
	0.000659173				59.78
	0.000577065				59.78
	0.000516158				59.78
	0.000470975				60.64
	0.000341456				59.78
	0.000398035				60.43
	0.000381869				60.43
	0.000365125				60.21
	0.000347563				60.43
	0.000333402				61.29
	0.00032452				59.57
	0.0003154				59.57
	0.000304752				61.07
	0.000293424				59.35
	0.00028628				59.57
	0.000274824				58.49
	0.000259824				59.57
	0.000260911				59.57
	0.000254819				59.57
	0.000248568				59.14



GRAFICA DEL TIEMPO

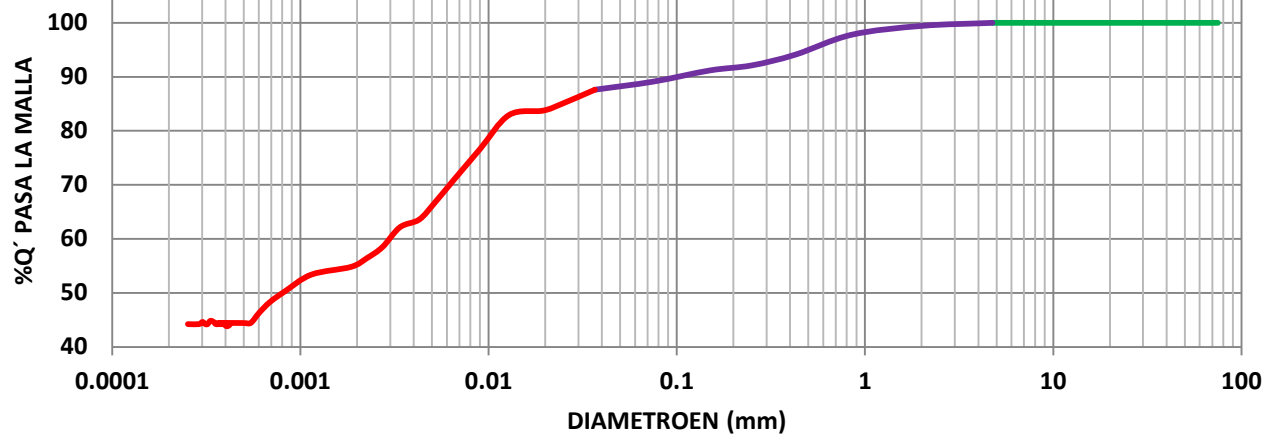


**MUESTRA 2.**

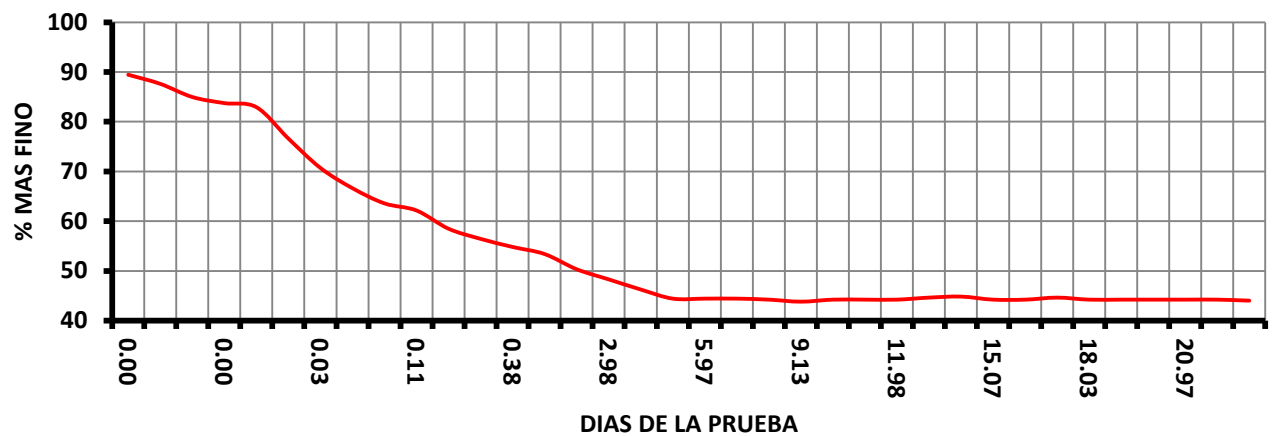
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	36.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	0	100
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.52	0	0	0	100
N° 4.	4.76	0	0	0	100
Pasa N° 4					
SUMA					
10	2.00	1.13	0.565	0.565	99.435
20	0.84	3.27	1.635	2.2	97.8
40	0.42	7.41	3.705	5.905	94.095
60	0.25	3.95	1.975	7.88	92.12
100	0.149	1.86	0.93	8.81	91.19
200	0.074	4.14	2.07	10.88	89.12
Pasa 200		178.24	89.12	100	
SUMA		200			



MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
	0.063376451				87.61
	0.036685984				84.96
	0.024395218				83.74
	0.019464449				82.93
	0.012838618				76.61
	0.008992662				70.70
	0.006455217				66.63
	0.00515625				63.57
	0.004276523				62.14
	0.003378291				58.47
	0.002729173				56.44
	0.002258921				54.81
	0.001857627				53.38
	0.001144474				50.32
	0.00083116				48.29
	0.000688161				46.25
	0.000601896				44.42
	0.000543779				44.42
	0.000496179				44.42
	0.000363747				44.21
	0.000419335				43.80
	0.000406799				44.21
	0.000388962				44.21
	0.000366163				44.21
	0.000355168				44.62
	0.000345706				44.82
	0.000332278				44.21
	0.000321061				44.21
	0.00031258				44.62
	0.0003016				44.21
	0.000289531				44.21
	0.000252586				44.21
	0.000274873				44.21
	0.000268455				44.21
	0.00026187				44.01



GRAFICA DEL TIEMPO



GRAFICA DEL TIEMPO

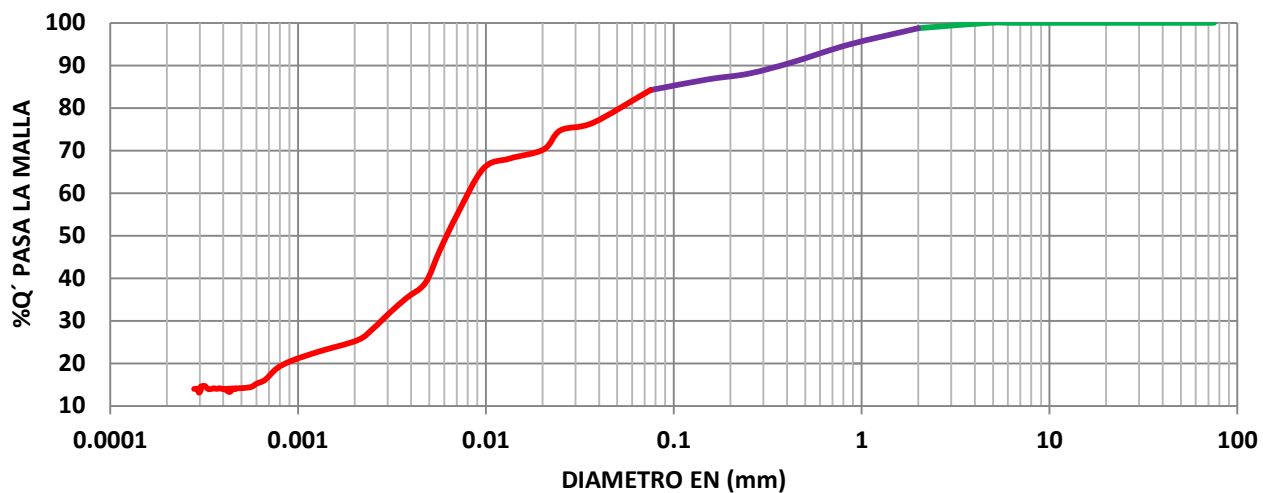


**MUESTRA 3.**

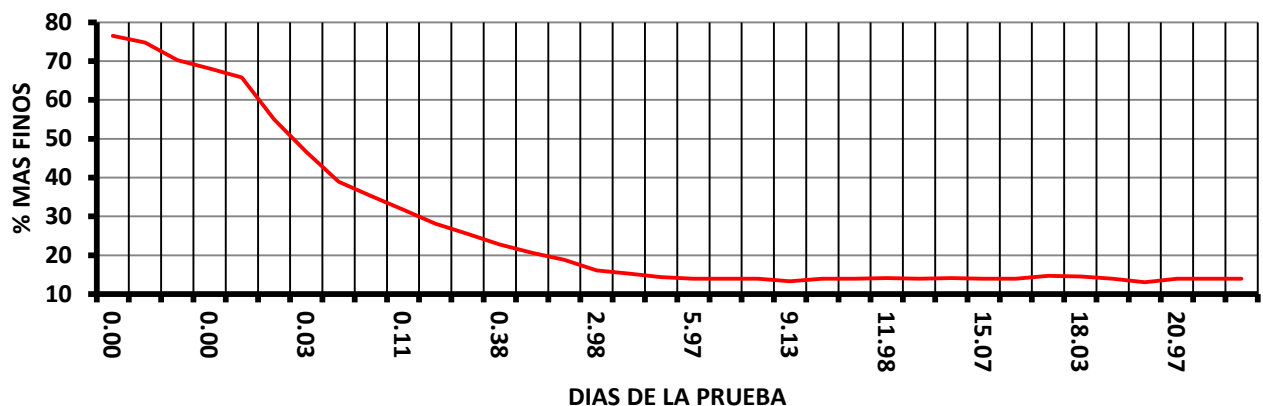
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	36.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	0	100
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.52	0	0	0	100
N° 4.	4.76	0	0	0	100
Pasa N° 4					
SUMA					
10	2.00	2.53	1.265	1.265	98.735
20	0.84	7.75	3.875	5.14	94.86
40	0.42	8.31	4.155	9.295	90.705
60	0.25	5.29	2.645	11.94	88.06
100	0.149	2.76	1.38	13.32	86.68
200	0.074	4.98	2.49	15.81	84.19
Pasa 200		168.38	84.19	100	
SUMA		200			



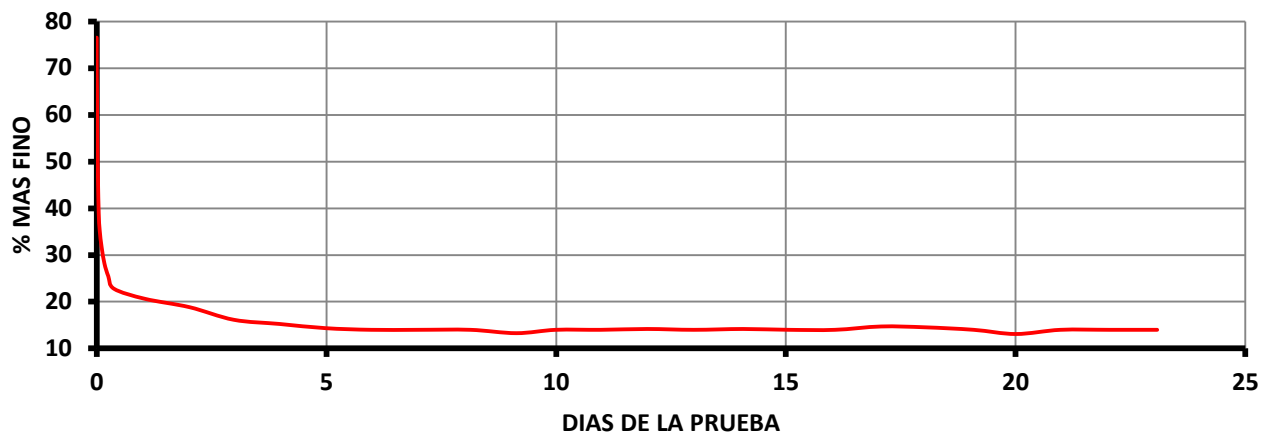
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
	0.063862101				76.53
	0.037237684				74.74
	0.02492754				70.26
	0.020305025				68.11
	0.013377534				65.78
	0.009694415				55.02
	0.007041436				46.60
	0.005687947				38.89
	0.004758475				35.31
	0.00376825				31.72
	0.003047878				28.14
	0.002506048				25.45
	0.00207689				22.76
	0.001290639				20.61
	0.000925385				18.82
	0.000771763				16.13
	0.000668166				15.23
	0.000602522				14.33
	0.000549779				13.98
	0.000403042				13.98
	0.000464634				13.98
	0.000450744				13.26
	0.00043098				13.98
	0.000405718				13.90
	0.000393535				14.16
	0.000383052				13.98
	0.000368172				14.16
	0.000355744				13.98
	0.000346347				13.98
	0.000331475				14.69
	0.000318211				14.51
	0.000303298				13.98
	0.000304567				13.08
	0.000297455				13.98
	0.000290159				13.98
	0.00027969				13.98



GRAFICA DEL TIEMPO



GRAFICA DEL TIEMPO

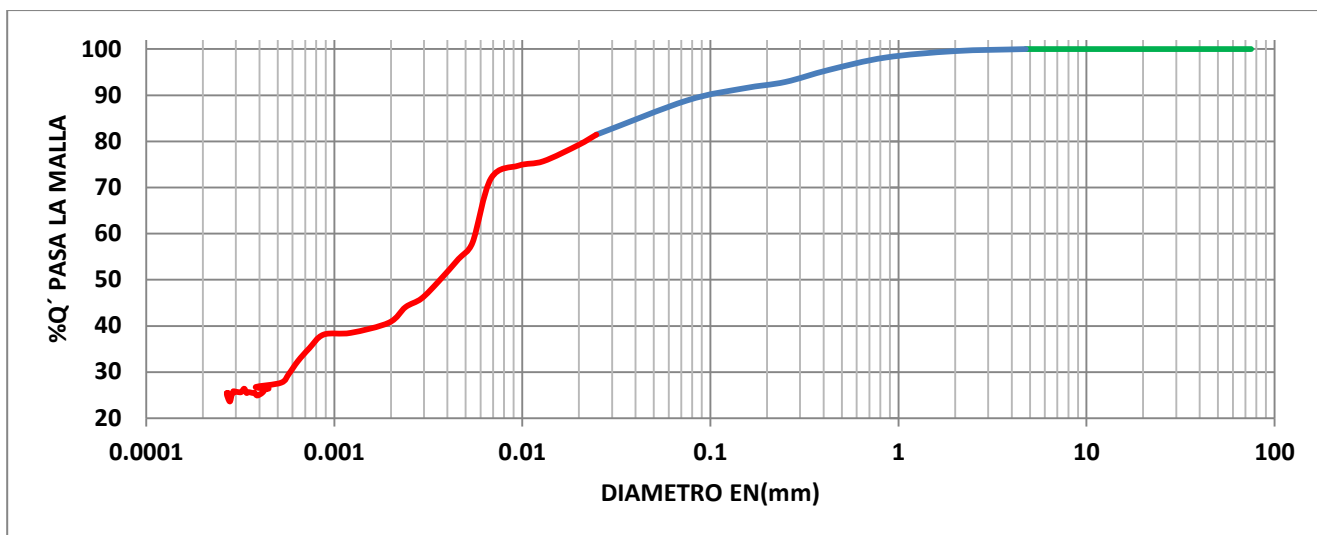


**MUESTRA 4.**

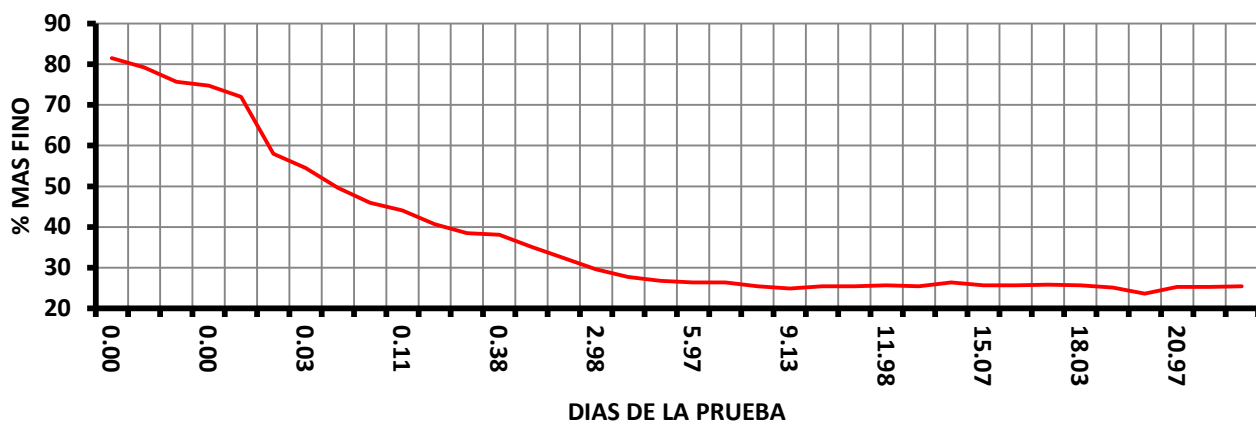
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	36.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	0	100
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.52	0	0	0	100
N° 4.	4.76	0	0	0	100
Pasa N° 4					
SUMA					
10	2.00	0.88	0.44	0.44	99.56
20	0.84	2.81	1.405	1.845	98.155
40	0.42	5.37	2.685	4.53	95.47
60	0.25	5.2	2.6	7.13	92.87
100	0.149	2.79	1.395	8.525	91.475
200	0.074	5.24	2.62	11.145	88.855
Pasa 200		177.71	88.855	100	
SUMA		200			



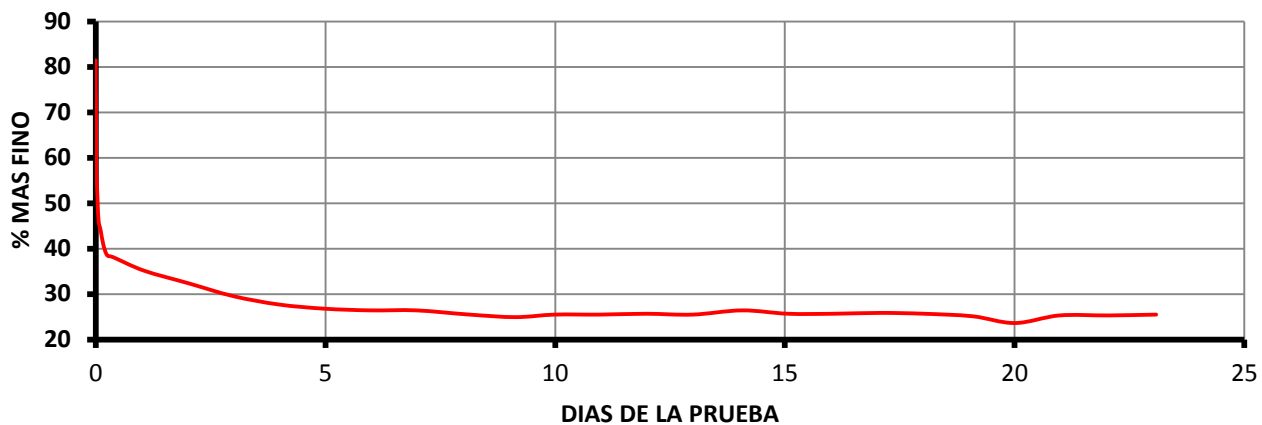
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
	0.063376451				81.45
	0.036685984				79.22
	0.024751371				75.68
	0.019889178				74.75
	0.012929997				71.96
	0.009581026				58.02
	0.006813004				54.48
	0.005428612				49.65
	0.004571795				45.93
	0.003587845				44.07
	0.002907346				40.72
	0.002391556				38.49
	0.001955981				38.12
	0.001222662				35.14
	0.000877488				32.35
	0.000736149				29.56
	0.000640196				27.70
	0.000572626				26.77
	0.0005225				26.40
	0.000383044				26.40
	0.000445505				25.47
	0.000432187				24.91
	0.000413236				25.47
	0.000389015				25.47
	0.000377333				25.66
	0.000367282				25.47
	0.000349904				26.40
	0.000341098				25.66
	0.000332087				25.66
	0.000320423				25.84
	0.000307601				25.66
	0.000290812				25.10
	0.000293306				23.61
	0.000285209				25.29
	0.000278213				25.29
	0.000268175				25.47



GRAFICA DEL TIEMPO



GRAFICA DEL TIEMPO

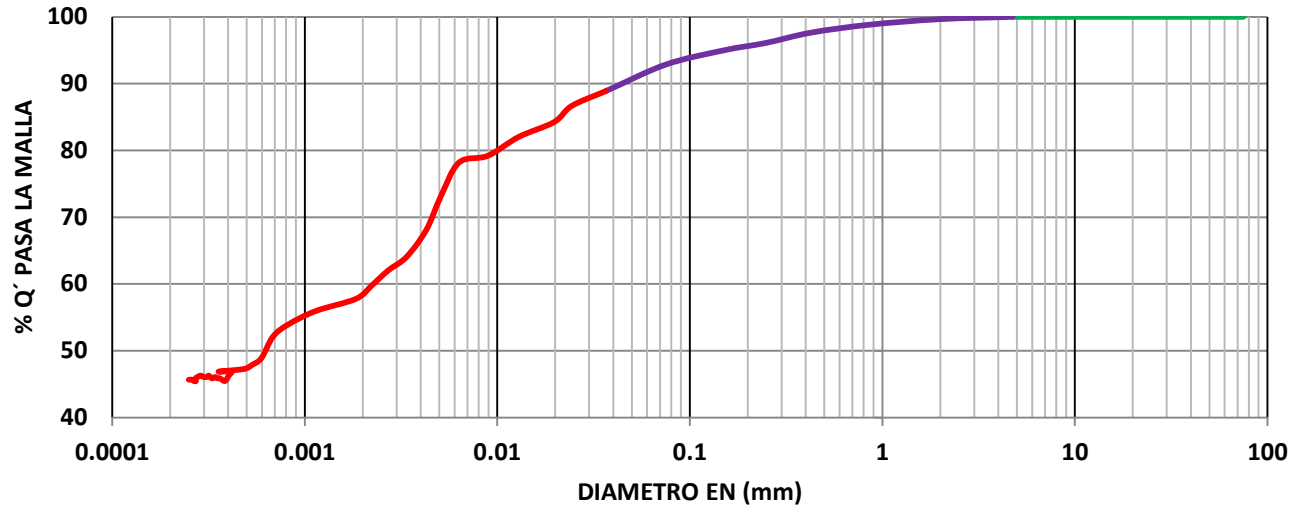


**MUESTRA 5.**

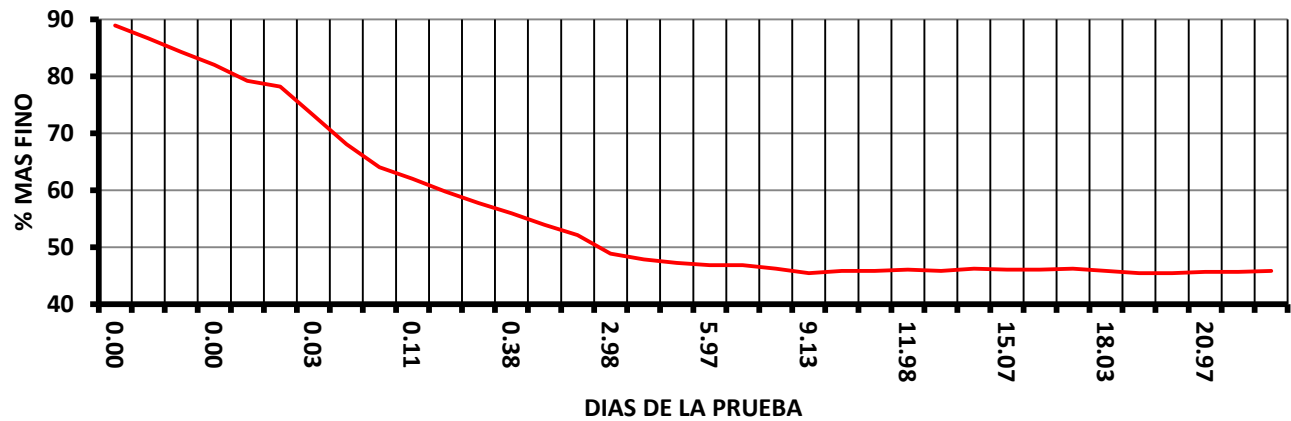
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
"	75	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	36.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/34"	19.1	0	0	0	100
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.52	0	0	0	100
N° 4.	4.76	0	0	0	100
Pasa N° 4					
SUMA					
10	2.00	0.69	0.345	0.345	99.65
20	0.84	1.69	0.845	1.19	98.81
40	0.42	2.36	1.18	2.37	97.63
60	0.25	3.04	1.52	3.89	96.11
100	0.149	2.26	1.13	5.02	94.98
200	0.074	4.26	2.13	7.15	92.85
Pasa 200		185.7	92.85	100	
SUMA		200			



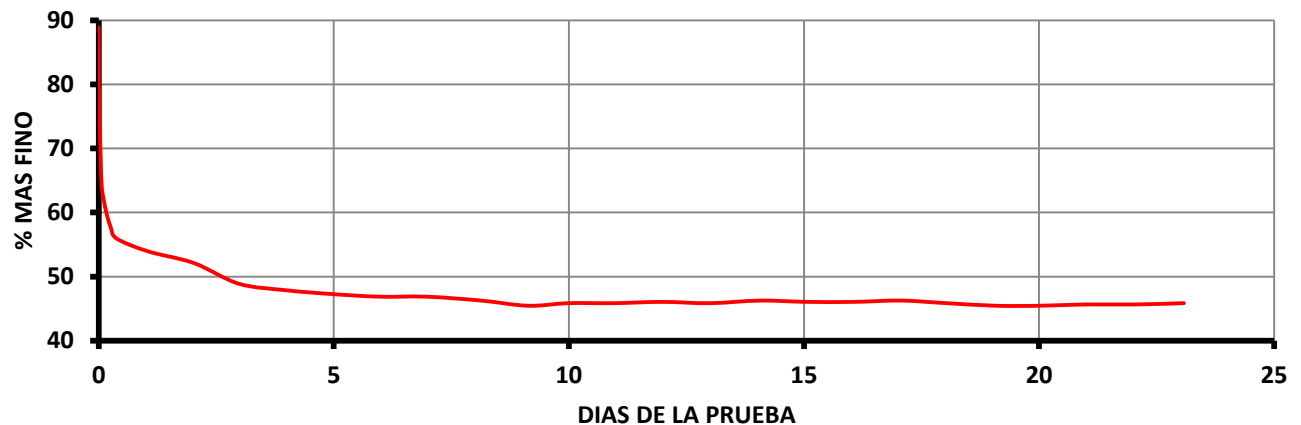
MALLA No.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
	0.063376451				88.89
	0.036685984				86.66
	0.024395218				84.24
	0.019748617				82.02
	0.012929997				79.19
	0.008931694				78.18
	0.006331463				73.13
	0.005093747				68.08
	0.004276523				64.04
	0.003378291				62.02
	0.002713797				59.79
	0.00223396				57.77
	0.001847503				55.96
	0.001144474				53.94
	0.000822457				52.12
	0.000684605				48.89
	0.000595786				47.87
	0.000532902				47.27
	0.000486254				46.86
	0.000356472				46.86
	0.000415162				46.26
	0.000402751				45.45
	0.000385091				45.85
	0.000362519				45.85
	0.000351634				46.06
	0.000342266				45.85
	0.000328971				46.26
	0.000317866				46.06
	0.000309469				46.06
	0.000298599				46.26
	0.00028665				45.85
	0.000271005				45.45
	0.000272138				45.45
	0.000265784				45.65
	0.000259264				45.65
	0.00024991				45.85



GRAFICA DEL TIEMPO



GRAFICA DEL TIEMPO





5.- CONCLUSIÓN.

En conclusión las pruebas que se realizaron en el laboratorio se clasificaron de acuerdo a sus estados de consistencia (LL, LP, IP y LC), para obtener sus propiedades índice, las cuales arrojaron como resultado que de acuerdo con la clasificación SUCS corresponde a una arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL).

Las propiedades índices como son:

Límite líquido (LL) que nos arrojaron valores que oscilan entre 35 y 50%.

Límite plástico (LP) que nos dio como resultado valores de 20 al 30%.

Índice plástico (IP) que tienen rangos entre 18 y 25%.

Contracción lineal (CL) que nos dieron datos entre 9 y 13%.

Límite de contracción (CV) que tiene valores entre 10 y 15%.

Densidad de sólidos (Ss) que tiene resultados de 2.6.

Por lo que se puede concluir que es una arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL).

Todas las pruebas realizadas además nos dan a conocer la característica índice y mecánica de las muestras. Estas características que encontramos nos sirven para poder decir que estas sirven para realizar tabiques de barro rojo recocido y teja de techos.

La prueba hizo constatar que el método del hidrómetro no funciona para partículas coloidales que se encuentran presentes en nuestras muestras, las características de los coloides son:

El nombre de coloide proviene de la raíz griega *kolos* que significa “que puede pegarse”. Este nombre que hace referencia a una de las principales propiedades de los coloides: su tendencia espontánea a agregar o formar coágulos.

Los coloides también afectan el punto de ebullición del agua y son contaminantes.

Por lo general, el estudio de los coloides es experimental, aunque también se realizan grandes esfuerzos en los estudios teóricos, así como en desarrollo de simulaciones informáticas de su comportamiento. En la mayor parte de los fenómenos coloidales, como la conductividad y la movilidad electroforética, estas teorías tan sólo reproducen la realidad de manera cualitativa, pero el acuerdo cuantitativo sigue sin ser completamente satisfactorio.

Debido a que los coloides se encuentran unidos con fase dispersa unidos por atracción si pueden ser separados por el método del hidrómetro ya que este método está basado en la defloculación para lograr sedimentarlos pero los coloides son menos densos que el agua y



por ello se mantienen en suspensión y como las partículas están unidos a la fase dispersante (agua) no se sedimentan aun que se les añada un defloculante no se unen entre si los coloides por tener atracción con el agua por lo cual la prueba nos da los fundamentos para poder decir que el método no es eficiente para partículas menos densas que el agua.

Se realizó una gráfica con respecto al tiempo y la cantidad de finos que se sedimentaron, para poder determinar el tiempo ideal de la prueba, respecto al tiempo de la prueba se estuvo monitoreando durante un mes, ya que el procedimiento de prueba recomienda tomar lecturas por un periodo de 48 horas y nuestra investigación fue para un periodo de un mes (30 días), donde se pudo observar que el tiempo máximo para una arcilla inorgánica de baja plasticidad es del orden de 5 días, ya que a partir de este periodo los datos ya son constantes, por lo cual el tiempo recomendado para ejecución ó duración de la prueba no debe exceder más de 5 días ya que después de este tiempo no hay cambio notable.



6.- BIBLIOGRAFÍA.

1.- MECÁNICA DE SUELOS.

T. WILLIAM LAMBE

ROBERT V. WHITMAN.

EDITORIAL LIMUSA.

2.-MECANICA DE SUELOS.

PETER L. BERRY

DAVID REID

EDITORIAL MCGRAW HILL.

3.- MECÁNICA DE SUELOS.

JUÁREZ BADILLO

RICO RODRÍGUEZ

EDITORIAL LIMUSA.

4.- <http://buscon.rae.es/drael/SrvltGUIBusUsual?LEMA=hidrómetro>.

5.- Chang, R. (2007). Química. (Novena ed., p. 1110). México: Mc Graw Hill.

6.- <http://books.google.es/books>.