



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE TRES PRUEBAS ÍNDICE PARA EL  
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS  
RESULTADOS, PARA LA ACREDITACIÓN DEL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN GEOTECNIA**

PRESENTA:

**ING. HUGO ALBERTO ARTEAGA REYNA**

DIRECTOR DE TESINA: **MI. JUAN LUÍS UMAÑA ROMERO.**

MÉXICO, D.F.  
DICIEMBRE 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que nada le doy gracias a dios, el ser supremo que me bendice día a día, que ha visto cada paso superado y cada derrota obtenida, me siento orgulloso y a agradecido por estos regalos.

Le agradezco a mis padres, por la vida, consejos y las bendiciones que me regalan cada día a pesar de las distancia, se que siempre piensan en mi y sé que me apoyan y están conmigo en cualquier instante. A mis hermanos que han confiando en lo que he realizado y les agradezco por las oportunidades y consejos que me han dado.

A mi primo, Nicolás y José e hijos por su comprensión y consejos, formando incondicionalmente parte de mi vida.

A todos mis amigos, que me han apoyado en mis proyectos y momentos difíciles, especialmente a Noel y Paty.

A Mari, que forma parte de mi vida y me ha apoyado en las buenas en las malas, durante este tiempo.

Al ing. Juan Luís Umaña, director de tesina por la colaboración brindada, durante la elaboración de este trabajo.

Les agradezco de todo corazón, me siento orgulloso por un diminuto paso que he logrado en mi vida.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN. ....	1
2. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS PARA PRUEBAS ÍNDICE DE ACUERDO CON LA NORMA, NMX-C-416-ONNCCE-2003 Y NMX-C-084-ONNCCE-2006. ....	4
2.1. CONTENIDO DE AGUA. ....	4
2.1.1. Objetivo. ....	4
2.1.2. Equipo, aparatos e instrumentos. ....	4
2.1.3. Preparación y acondicionamiento de las muestras. ....	5
2.1.4. Procedimiento. ....	6
2.2. LÍMITES DE PLASTICIDAD. ....	7
2.2.1. Objetivo. ....	7
2.2.2. Copa de Casagrande. ....	7
2.2.3. Equipo necesario. ....	7
2.2.4. Preparación y acondicionamiento de la muestra. ....	7
2.2.5. Método seco. ....	8
2.2.6. Método húmedo (contenido de agua). ....	8
2.2.7. Condiciones ambientales. ....	8
2.2.8. Procedimiento de Límite Líquido. ....	8
2.2.9. Límite Plástico. ....	10
2.2.10. Cálculo del límite líquido. ....	11
2.2.11. Cálculo de Límite Plástico. ....	11
2.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. ....	12
2.3.1. Objetivo. ....	12
2.3.2. Equipo, aparatos e instrumentos. ....	12
2.3.3. Preparación y acondicionamiento de las muestras. ....	13
2.3.4. Procedimiento. ....	13
2.3.5. Método manual para material fino. ....	16
3. PREPARACIÓN Y SELECCIÓN DEL MATERIAL DE REFERENCIA PARA LA EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD, NMX-EC-17025-IMNC-2006. ....	18
3.1. CONTENIDO DE AGUA. ....	18
3.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. ....	18
3.3. LÍMITES DE PLASTICIDAD. ....	19
4. VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL EQUIPO. ....	21
4.1 CONTENIDO DE AGUA. ....	21
4.2 LÍMITES DE CONSISTENCIA. ....	22
4.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. ....	24
5. PROCEDIMIENTO PARA LOS ENSAYOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (r, R), DE ACUERDO CON LA NORMA NMX-C-416-ONNCCE-2003. ....	25
6. PROCEDIMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN DE LOS ENSAYOS ATENDIENDO LOS CRITERIOS REFERIDOS A LA NMX-17025-2006, CON LA GUÍA EXPRESIÓN DE INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES NMX-CH-140-IMNC-2002. ....	28

7. EVALUACIÓN DE MÉTODOS ENSAYOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD E INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN.....	35
7.1 Cálculo de repetibilidad y reproducibilidad del contenido de agua.....	35
7.2 Cálculo de repetibilidad y reproducibilidad de límite líquido.....	38
7.3 Cálculo de repetibilidad y reproducibilidad límite plástico.....	41
7.4 Cálculo de repetibilidad y reproducibilidad del análisis granulométrico.....	44
7.5 Cálculo de la incertidumbre para el contenido de agua (w%).....	47
7.6 Cálculo de la incertidumbre para el Límite Líquido.....	52
7.7 Cálculo de la incertidumbre para el Límite Plástico.....	57
7.8 Cálculo de la incertidumbre para el Análisis granulométrico.....	62
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
9. ANEXOS.....	71
9.1. ENSAYOS DEL CONTENIDO DE AGUA REALIZADOS EN EL LABORATORIO.....	71
9.2. ENSAYOS DE LÍMITES DE PLASTICIDAD (LL, LP), REALIZADOS EN EL LABORATORIO.....	72
9.3. ENSAYOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO REALIZADOS EN EL LABORATORIO.....	81
9.4. TABLAS DE REFERENCIAS NORMAS ASTM.....	90
10. REFERENCIAS.....	92
GLOSARIO.....	93

## 1. INTRODUCCIÓN.

El proceso de globalización de mercados internacionales en el que actualmente el laboratorio de mecánica de suelos desarrolla sus actividades, tiene como objetivo que la competencia técnico – económica con los laboratorios del entorno, se base en normas para la operación administrativa y la ejecución de pruebas, y que su cumplimiento satisfactorio sea reconocido por instituciones gubernamentales y/o empresas certificadoras acreditadas mundialmente.

Cualquier tipo de laboratorio siempre debe poseer la seguridad de que sus resultados sean confiables. Para lograrlo, es necesario tomar una serie de medidas que permitan controlar sus procesos y actividades de tal forma que los resultados de las pruebas cumplan con los procedimientos establecidos.

Una de las herramientas donde los laboratorios se pueden apoyar para lograr un mejor servicio a sus clientes, es el implementar un sistema de calidad acorde al perfil de trabajo desarrollado.

Un sistema de calidad para un laboratorio de pruebas consiste básicamente en la medición y aplicación de un método de trabajo que asegure el cumplimiento de las especificaciones internas para el desarrollo de cualquiera de sus actividades comprendidas en el alcance del servicio que presenta el laboratorio.

En las pruebas de laboratorio el aseguramiento de la calidad depende de: la calidad del personal, la actualización en cuanto a la capacitación y adiestramiento profesional, y la normalización de los procesos de trabajo de acuerdo a la normatividad (NMX-CC).

Se debe tener en cuenta que dentro de lo que es el sistema de calidad, no se trata de inventar procedimientos si no de documentar los procesos que estamos acostumbrados a realizar, definiendo donde y como hacemos las cosas de acuerdo al alcance y actividades que desempeñe. En México los sistemas de calidad se apoyan en las normas mexicanas.

NMX-CC- a la NMX-CC-6 que concuerda básicamente con la serie ISO-9001:2000

Para los laboratorios de prueba se tienen tres normas mexicanas adicionales:

NMX-CC-13 “Criterios Generales Para la Operación de los Laboratorios de Pruebas”.

NMX-CC-14 “Criterios Generales Para la Evaluación de los Laboratorios de Pruebas”.

NMX-CC-15 “Criterios Generales Relativos a los Organismos de Acreditación de Laboratorio”.

El sistema de calidad involucra los aspectos técnicos y administrativos del laboratorio, para estos se debe desarrollar un sistema que refleje los siguientes puntos:

- Decir lo que hago.
- Hacer lo que digo.
- Registrar lo que hice.
- Verificar los resultados y,
- Actuar cuando se presenten discrepancias.

El desarrollo del sistema de calidad implica la evaluación de los siguientes instrumentos:

1. Manual de calidad.
2. Procedimientos operativos.
3. Instructivos de trabajo.
4. Formatos y documentos relativos a la calidad.

Estos instrumentos deben reflejar la estructura organizacional y la estructura funcional.

La estructura organizacional gobierna las tareas, responsabilidades y las interrelaciones del personal.

La estructura funcional comprende todas las medidas internas, como la política de calidad, instrucciones relativas a la seguridad de la calidad del servicio que otorga el laboratorio, y estará descrito en un plan de calidad.

Este sistema también debe prevenir la ocurrencia de problemas o no conformidades, detectarlos cuando se presentan, identificar su causa, remediarla y prevenir que el problema no vuelva a ocurrir.

Por lo que, el aseguramiento de la calidad es un tema que comprende de muchos aspectos y que depende de la organización y proceso que deseamos representar en este sistema, para la implementación de un sistema en un laboratorio es un problema de tipo operativo y funcional que busca una mejoría e involucra el estudio de un conjunto de procesos interdependientes.

En este trabajo se presentan los aspectos relacionados a los procesos operativos de los procedimientos de los ensayos, la distribución de los temas es la siguiente: capítulo 2, los procedimientos de ensayos de 4 pruebas índice; contenido de agua, límite líquido, límite plástico y granulometría, la preparación y selección del material en el capítulo 3, la verificación y calibración del equipo en el capítulo 4, los procedimientos para los ensayos de repetibilidad y reproducibilidad, capítulo 5, así como los procedimientos de la incertidumbre de la medición de los ensayos (capítulo 6) y por último la evaluación de métodos de ensayos de repetibilidad y reproducibilidad e incertidumbre de la medición (capítulo 7).

Se realizan pruebas de repetibilidad y reproducibilidad (r y R) en el laboratorio, para conocer la precisión entre técnicos en un determinado método de ensayo, así como para identificar desviaciones significativas en los resultados de un técnico en particular, para ello, se deberán efectuar repeticiones periódicas del ensayo en muestras de las mismas características.

Los resultados obtenidos se comparan con normas de referencia ASTM C 136 y D 4318, que tienen parámetros estadísticos, los resultados están basados en el análisis de pruebas entre laboratorios donde se ensayaron varios pares de muestras.

Con los resultados obtenidos se provee un mecanismo de alerta para detectar fallas en los métodos o técnicas utilizadas entre técnicos en el laboratorio o en los equipos utilizados. También provee una forma de conocer la reproducibilidad de los métodos de ensayo específicos, que cumplan con la precisión esperada del método y adicionalmente se puede estimar la incertidumbre de la medición.

Y al final se presentan las conclusiones y recomendaciones de este proceso para el sistema de aseguramiento de calidad de las pruebas de laboratorio.

## 2. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS PARA PRUEBAS ÍNDICE DE ACUERDO CON LA NORMA, NMX-C-416-ONNCCE-2003 Y NMX-C-084-ONNCCE-2006.

En el laboratorio de mecánica de suelos se decidió tomar como base para la elaboración de los procedimientos, las normas o métodos de prueba de el organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., Normas Mexicanas NMX-C.

A continuación se presenta en la tabla No.1, la lista de los métodos de pruebas que se trabajaron para este documento.

NMX-C-416-ONNCCE-2003	Método de Prueba de Laboratorio para la determinación	Contenido de Agua, Capítulo 4.
		Análisis Granulométrico Capítulo 5.
		Límites de Consistencia, Capítulo 6.
NMX-C-084-ONNCCE-2006	Método de Prueba de Laboratorio para la determinación	Partículas más Finas que la Criba 0.075 mm (No.200) por Medio de Lavado.

### 2.1. CONTENIDO DE AGUA.

#### 2.1.1. Objetivo.

Establecer el método de prueba para determinar el contenido de agua del suelo con el fin de identificarlo y estimar su comportamiento cualitativo mediante las correlaciones existentes, o bien, para establecer un control durante la construcción de obras térreas.

#### 2.1.2. Equipo, aparatos e instrumentos.

- 2.3.2.1. Horno de secado (de convección), con una temperatura uniforme de  $(110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C})$  en toda la cámara de secado, o estufa eléctrica o de gas.
- 2.3.2.2. Balanza con precisión  $\pm 0.01\text{ g}$  (gramo-masa) y capacidad suficiente para el tamaño de la muestra.
- 2.3.2.3. Recipientes para especímenes, hechos de material resistente a la corrosión y al cambio de masa bajo ciclos repetidos de calentamiento, enfriamiento y limpieza.
- 2.3.2.4. Tapaderas herméticas para evitar pérdida de agua del espécimen antes de la determinación inicial y para que no absorba humedad atmosférica enseguida del secado y antes de la determinación final.
- 2.3.2.5. Desecador de tamaño adecuado (20 cm a 25 cm de diámetro), con cloruro de calcio anhídrido o gel de sílice deshidratado (optativa).



### 2.1.3. Preparación y acondicionamiento de las muestras.

- 2.1.3.1. La determinación del contenido de agua, debe efectuarse a la brevedad posible después de la obtención de las muestras, especialmente si los muestreadores son potencialmente corrosivos (tubos Shelby) o se utilizan las bolsas de muestreo.
- 2.1.3.2. Las muestras que se almacenan antes de la determinación del contenido de agua se deben mantener protegidas con una temperatura de (3 °C a 30 °C) en una superficie libre de la luz solar directa.
- 2.1.3.3. La selección de la muestra y la cantidad de material necesario para su contenido de agua dependen del propósito o aplicación del resultado, tipo de material y de la clase de muestra obtenida (bolsa, tubo Shelby, tubo partido). En todo caso, se debe tomar una muestra representativa de tamaño adecuado de la muestra total.

Nota No. 1: Si en el subsuelo existe un suelo estratificado, o más de un tipo de suelo, seleccionar una porción promedio o porciones individuales, o ambos, y anotar en los resultados de las porciones que fueron estudiadas.

- 2.1.3.4. Para materiales de muestras integrales, seleccionar la muestra representativa, después mezclar uniformemente y efectuar cuarteos de todo el material. La masa húmeda de la muestra por ensayar es seleccionada de acuerdo con la tabla No. 1.

**Tabla No. 2. Masa de la Muestra**

<b>Más del 10% de la muestra se retiene en la malla No.</b>	<b>Masa mínima recomendable de la muestra húmeda, en g</b>
2.00 mm (No. 10)	100
4.75 mm (No. 4)	300
19 mm (3/4")	500
38 mm (1 1/2")	1 500
76 mm (3")	5 000

- 2.1.3.5. Para muestras pequeñas, se selecciona una porción representativa, de acuerdo con el siguiente procedimiento:
- 2.1.3.6. Para suelos sin cohesión, una vez mezclado el material, se toma una muestra que tenga una masa húmeda, de acuerdo con la tabla 1. En algunos casos, cuando se tiene con poco material y este contiene una partícula gruesa relativamente grande, es conveniente no incluirla en la muestra por secado; si este fuera el caso, debe anotarse las observaciones en el reporte de resultados.
- 2.1.3.7. En suelos cohesivos, antes de tomar la muestra, se debe eliminar del material aproximadamente 3 mm de espesor del perímetro de la muestra y cortarla a la mitad, con el fin de observar si el material es estratificado, en caso afirmativo, aplicar lo descrito en el punto 2.1.3.3, pero si en ella se detectan partículas grandes, la masa de ésta, debe estar de acuerdo con la tabla 1.

#### 2.1.4. Procedimiento.

- 2.1.4.1. Se selecciona la muestra representativa del tamaño adecuado, ésta se debe colocar en un recipiente seco y limpio, de masa conocida ( $W_c$ ) “masa de la cápsula”, determinando enseguida la masa del recipiente con la muestra húmeda ( $W_1$ ) “masa cápsula más suelo húmedo”.
- 2.1.4.2. Esta operación se realiza en la báscula con precisión de  $\pm 0.01$  g para muestras con masas de 200 g o menor, de 0.1 g para muestras con masa de 200 g a 1000 g y de 1 g para muestras con masa mayor a 1000 g.
- 2.1.4.3. Se coloca el recipiente conteniendo la muestra húmeda dentro horno, manteniendo una temperatura constante de  $(110\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C})$ .
- 2.1.4.4. Ya seca la muestra con masa constante, no debe variar en sucesivas determinaciones dentro del horno, se retira el recipiente y se le coloca la tapa. Se deja enfriar y enseguida se procede a determinar la masa del recipiente con la muestra seca ( $W_s$ ) “cápsula más masa seca”, en la balanza.
- 2.1.4.5. Si el recipiente con la muestra seca no tiene tapa, se debe hacer la determinación en el momento en que su temperatura ambiente no afecte la operación de la balanza con corrientes de convección. Para casos de muestras pequeñas se puede usar un desecador.

Se calcula el contenido de agua de la muestra, aplicando la expresión siguiente:

$$W\% = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_2 - W_r)} \times 100 \text{-----} (1)$$

Es decir;

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \text{-----} (2)$$

Donde:

- $W$  es el contenido de agua, en por ciento (%)
- $W_1$  es la masa de la cápsula con la muestra húmeda, en gramos (g)
- $W_2$  es la masa de la cápsula con la muestra seca, en gramos (g)
- $W_r$  es la masa de la cápsula, en gramos (g)
- $W_w$  es la masa del agua, en gramos (g)
- $W_s$  es la masa de los sólidos, en gramos (g)

## **2.2. LÍMITES DE PLASTICIDAD.**

### **2.2.1. Objetivo.**

Establecer un método de prueba para la determinación de los límites de plasticidad del suelo, que son usados con el objetivo de identificación y clasificación de la fracción fina malla No. 40 (0.425 mm).

### **2.2.2. Copa de Casagrande.**

El dispositivo de Casagrande se verifica para determinar el Límite Líquido, incluyendo la solera plana de 10 mm de espesor y el ranurador plano.

### **2.2.3. Equipo necesario.**

- 2.2.3.1. Copa de Casagrande
- 2.2.3.2. Placa plana y lisa no absorbente.
- 2.2.3.3. Cápsulas de porcelana, vidrios de reloj, mortero y piseta.
- 2.2.3.4. Horno que mantenga una temperatura uniforme de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 2.2.3.5. Balanza con precisión 0.01 g.
- 2.2.3.6. Cribas No. 0.425 mm (No. 40) y 4.75 mm (No.4).
- 2.2.3.7. Recipiente de aluminio.
- 2.2.3.8. Espátula de abanico y espátula tipo cuchillo.
- 2.2.3.9. Desecador de provisto con tapa hermética.
- 2.2.3.10. Alambre de 3.20 mm (1/8") de diámetro.
- 2.2.3.11. Frasco de vidrio de 100 a 200 ml.
- 2.2.3.12. Brocha de cerda fina.

### **2.2.4. Preparación y acondicionamiento de la muestra.**

Para determinar cual método conviene aplicar el húmedo o seco se toma en cuenta el siguiente argumento, se seca al horno una muestra de material que contenga agua adherida y se presiona con los dedos, si se desmorona fácilmente, se usa el método de separación en seco (indica que el material es areno-limoso). En cambio, si la muestra ofrece considerablemente resistencia y los granos no pueden separarse, (indica que el material es arcilloso) se requiere hacer la presentación con ayuda del agua, a si mismo se puede realizar la identificación visualmente y por el tacto.

### **2.2.5. Método seco.**

- El material que pasa a través de la malla 4.75 mm (No. 40), se disgrega con ayuda de un mortero hasta obtener 150 g desechándose el material retenido.
- Se agrega agua y con el empleo de una espátula, se mezcla perfectamente hasta obtener una pasta remoldeable suave y homogénea.
- Se guarda la muestra remoldeada en un recipiente con tapa para evitar la evaporación durante 24 h como mínimo para que el contenido de agua se distribuya uniformemente en todo el suelo.

### **2.2.6. Método húmedo (contenido de agua).**

- Para aplicar este método, se toma de la muestra una cantidad suficiente de material para poder realizar la prueba, del material que pasa a través de la malla 0.425 mm (No. 40) con ayuda de agua, se coloca en un recipiente, y se deja evaporar hasta que tome una consistencia de una pasta suave.

### **2.2.7. Condiciones ambientales.**

Se recomienda que el lugar tenga una temperatura entre 15 °C y 35 °C, en caso de tener otras condiciones anotarlo en el registro de prueba correspondiente.

### **2.2.8. Procedimiento de Límite Líquido.**

- 2.2.8.1. Para la determinación del Límite Líquido se emplea la copa de Casagrande.
- 2.2.8.2. Del material que se prepara y guardo dentro de un recipiente durante 24 h, se pone una cantidad de 150 g aproximadamente; se vuelve a mezclar hasta que la muestra quede homogénea, se toma una porción la cual se debe colocar sobre la copa de Casagrande, esto se realiza con la espátula tipo cuchillo o similar, extendiendo el material de modo que la superficie quede plana y de un espesor no mayor de un 10 mm en la parte central, también debe evitarse que se formen grumos que contengan aire atrapado, pues esto alteraría el resultado de la prueba.
- 2.2.8.3. Se coloca la punta del ranurador en el centro de la parte superior de la muestra, trazando una ranura en el centro de la muestra, contenida en la copa, inclinando en ranurador o la cuchilla de manera que permanezca perpendicular a la superficie de la copa.

Nota No. 2: Para arcillas arenosas, limos con poca plasticidad y algunos suelos orgánicos, el ranurador no puede correr a través de la pasta sin rasgar los bordes de la ranura. Para estos suelos, se corta la ranura con una espátula y se verifica las dimensiones con el ranurador plano.

- 2.2.8.4. El siguiente paso es dar vueltas a la manivela de la copa a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la ranura cierre en sentido longitudinal de la cápsula de latón,

en la parte del fondo una distancia de 13 mm ( $\frac{1}{2}$  pulg) aproximadamente.

- 2.2.8.5. Para el caso de copas automatizadas sólo se verifica en el contador el número de golpes y las distancias especificadas anteriormente.
- 2.2.8.6. Con la espátula se mezcla en material y se repiten las operaciones del punto 2.2.8.3. al 2.2.8.4. Si el número de golpes coincide con la anterior determinación, o su diferencia de  $\pm 1$  golpe, con respecto al primer valor obtenido, entonces se anota el número de golpes en el formato anexo, en el renglón "número de golpes".
- 2.2.8.7. En caso de que la diferencia sea mayor de  $\pm 1$  golpe se repite el proceso hasta lograr una coincidencia en los intentos sucesivos.
- 2.2.8.8. Se identifica y se obtiene la masa del vidrio de reloj.
- 2.2.8.9. Se toma una porción de la muestra que este próximo a la ranura, y se coloca en un vidrio de reloj previamente pesado y se anota en el registro para la posterior determinación del contenido de agua.
- 2.2.8.10. Se determina su masa del vidrio de reloj, anotando los valores en la columna W húmedo más tara en el formato del anexo.
- 2.2.8.11. Se repite los pasos del punto 2.2.8.3 al 2.2.8.10, para ir variando la consistencia del material, se deben realizar 4 determinaciones como mínimo, procurando que estén comprendidos entre 5 golpes y 40 golpes.
- 2.2.8.12. Todos los vidrios de reloj, conteniendo las muestras tomadas de los cuatro puntos se introduce en el horno a ( $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), durante un período mínimo de  $20 \pm 4$  h, para el secado, hasta obtener una masa constante. Una vez secos y fríos, se extraen del horno y se colocan dentro de un desecador para que no ganen humedad; después se determina su masa y se anota el valor en la columna W seco más tara en el formato.
- 2.2.8.13. Se procede a obtener el contenido de agua en porcentaje (%), correspondiente a cada número de golpes (que corresponde al ensayo de Contenido de Agua) ver anexo. Se construye la curva número de golpes contra contenido de agua en por ciento (%) en hojas semi – logarítmico de registro de prueba.
- 2.2.8.14. El límite líquido se encuentra donde se cruza la línea al contenido de agua en por ciento correspondiente a 25 golpes ( $W_L$ ).



### 2.2.9. Límite Plástico.

- 2.2.9.1. Del material sobrante que se preparo y guardo para la realización de la prueba de límite líquido se amasa para reducir su contenido de agua.
- 2.2.9.2. La muestra se amasa y se manipula en la placa de vidrio para darle una forma de barra cilíndrica, de 3.2 mm de diámetro aproximadamente, la cual se deberá rodar en la placa de vidrio con la mano o un pedazo de vidrio plano, esto es con la finalidad de que el material reduzca gradualmente, el contenido de agua por evaporación, hasta que el rollo cilíndrico empiece a endurecer.
- 2.2.9.3. El límite plástico se alcanza cuando el rollito cilíndrico se agrieta al ser reducido aproximadamente a 3.0 mm diámetro.
- 2.2.9.4. Inmediatamente se dividen el rollo cilíndrico y se colocan los pedazos en vidrios de reloj y se determina la masa en la balanza de 0.01 g de aproximación, anotando este valor en el formato ver anexo, en la columna denominada "W húmedo más tara"; el peso seco que se obtiene al día siguiente se anota en el formato mencionado anteriormente, en la columna denominada "W seco más tara".
- 2.2.9.5. Se realizan como mínimo dos determinaciones como se indica en el punto 2.2.9.2.
- 2.2.9.6. Se introducen los vidrios de reloj con las determinaciones obtenidas, en el horno a de  $(110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C})$ .



### 2.2.10. Cálculo del límite líquido.

- 2.2.10.1. Con los datos obtenidos de las masas húmedas y secas de la muestra se determina el contenido de agua. Esto se realiza para cada una de las cuatro determinaciones, indicadas en el formato.

Fórmulas:

$$W_w = (W_h + W_c) - (W_s + W_c) \text{-----} (3)$$

$$W_s = (W_s + W_c) - W_c \text{-----} (4)$$

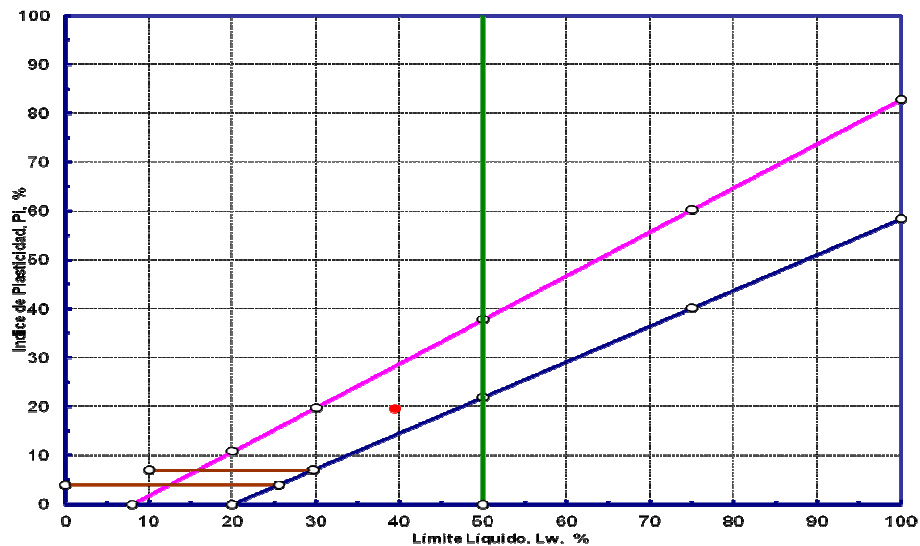
$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100 \text{-----} (5)$$

- 2.2.10.2. De los datos de la columna “W húmedo más tara” se le resta la columna “W seco más tara” se obtiene la masa del contenido de agua “W agua” ( $W_w$ ).
- 2.2.10.3. De la columna “W seca más tara” se le resta la columna “W de tara” se obtiene la “W seco” ( $W_s$ ).
- 2.2.10.4. Se divide  $W_w$  entre  $W_s$  de la masa multiplicado por 100 se obtiene el contenido de agua en porciento (w%), de cada determinación.
- 2.2.10.5. Con los contenidos de agua y el número de golpes, se procede a graficar la “curva de fluidez”, en papel semi-logarítmico. Se trazan los cuatro puntos coordinados los cuales deben de definir una línea recta, la cual se traza procurando ajustarla al promedio de la tendencia definida por los puntos. Trazando una línea perpendicular al eje de las abscisas en el punto de 25 golpes, en este punto se traza una línea paralela al eje de las abscisas que cruce al eje de las ordenadas donde se obtiene el valor de contenido de agua que corresponde al límite líquido ( $w_L$ ), anotando el valor en el formato como se muestra en el anexo.

### 2.2.11. Cálculo de Límite Plástico.

- 2.2.11.1. Se deben tener dos determinaciones con las cuales se calculó el contenido de agua, estos dos contenidos no deben tener una diferencia mayor de 2 % por ciento.
- 2.2.11.2. Con los valores obtenidos de Índice Plástico y Límite Líquido se podrá realizar la clasificación de la fracción fina del suelo con la carta de plasticidad (S.U.C.S.)
- 2.2.11.3. Para realizar esto se requiere de la utilización de la carta de plasticidad (figura No. 1) donde en el eje de las ordenadas se tiene el índice de plasticidad y en el eje de las abscisas el Límite Líquido.

2.2.11.4. Utilizando la información obtenida de acuerdo con este procedimiento se localiza un punto en la carta de plasticidad determinando la clasificación de la parte final del suelo.



**Carta De Plasticidad Para La Evaluación Del SUCS**  
**Figura No. 1.**

## 2.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

### 2.3.1. Objetivo.

Este procedimiento establece el método de ensayo para determinar la distribución de los sólidos por medio de mallas, para la clasificación del suelo.

### 2.3.2. Equipo, aparatos e instrumentos.

- 2.3.2.1. Horno de secado de tamaño apropiado y capaz de mantener una temperatura uniforme de 383 K (110 °C) en toda la cámara de secado, con tolerancia de  $\pm 5$  K ( $\pm 5$  °C).
- 2.3.2.2. Mallas 75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1 ½"), 25 mm (1"), 19 mm (¾"), 0 mm (½"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No. 4), 2 mm (No. 10), 0.850 mm (No. 20), 0.425 mm (No. 40), 0.250 mm (No. 60), 0.150 mm (No. 100), 0.075 mm (No. 200), tapa y fondo que cumplan la norma NMX-B-231.

Nota No. 3: Los tamaños apropiados de las cribas se pueden seleccionar para proveer la información requerida por las especificaciones que debe cubrir el material que se está ensayando. El empleo de las cribas para obtener la distribución de sólidos de suelos para fines de estudios geotécnicos.

- 2.3.2.3. Balanza con precisión de 1 g y capacidad suficiente para el tamaño de la muestra indicada en el procedimiento.



- 2.3.2.4. Balanza con precisión de 0.1 g y capacidad suficiente para el tamaño de la muestra indicada en el procedimiento.
- 2.3.2.5. Charolas metálicas, resistentes, no absorbente y con dimensiones suficientes para manipular la muestra.
- 2.3.2.6. Recipiente metálico con capacidad para saturar y lavar la muestra
- 2.3.2.7. Cucharón metálico resistente no absorbente y con dimensiones suficientes para manipular la muestra.
- 2.3.2.8. Cepillo de cerda o brocha.
- 2.3.2.9. Cepillo de alambre delgado (de latón o bronce).

### 2.3.3. Preparación y acondicionamiento de las muestras.

- 2.3.3.1. Agregado Grueso.

El tamaño necesario de la muestra para agregado grueso será de acuerdo a la tabla No. 3.

**Tabla No. 3. Masa de la Muestra Para Agregado Grueso.**

<b>Tamaño máximo nominal, aberturas cuadradas (mm)</b>	<b>Masa mínima de la muestra de prueba (kg)</b>
8.95 (3/8)	1
12.50 (1/2")	2
19.0 (3/4")	5
25 (1")	10
37.50 (1 1/2")	15
50 (2")	20
63 (2 1/2")	35
75 (3")	60

### 2.3.4. Procedimiento.

- 2.3.4.1. Se seca la muestra a temperatura ambiente y sobre un lugar limpio y terso o se seca la muestra a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener masa constante, con una aproximación de 0.1% de la masa seca original de la muestra.

Nota No. 4: para propósitos de control, particularmente cuando son deseados resultados rápidos, generalmente no es necesario secar el agregado grueso para la prueba de análisis por cribado. Los resultados son ligeramente afectados por el contenido de agua a menos que:

- 2.3.4.2. El tamaño máximo nominal sea menor que 12.50 mm (1/2").
- 2.3.4.3. El agregado grueso contiene apreciablemente material más fino que la malla 4.75 mm (No.4).

2.3.4.4. El agregado grueso es altamente absorbente.

Nota No. 5: También las muestras pueden ser secadas a altas temperaturas asociadas con el uso de platos calientes sin afectar los resultados, siempre que el vapor escape sin general presiones suficientes para fracturar las partículas y las temperaturas no sean tan altas que causan fracturas químicas del agregado.

2.3.4.5. Se selecciona los tamaños apropiados de los tamices para suministrar la información requerida por las especificaciones del material que se va a ensayar. El uso de tamices adicionales es aconsejable si se desea adicionalmente otra información o para regular la cantidad de material sobre un determinado tamiz.

2.3.4.6. Se colocan los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura con la charola de fondo, y se coloca la muestra (o porciones de la muestras si el material se va a tamizar por porciones) sobre el tamiz superior cubriéndola con su tapa. Se agitan los tamices manualmente durante un periodo aproximado de 15 min.

2.3.4.7. La cantidad de material en un tamiz dado se debe limitar de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.

2.3.4.8. La masa retenida en los tamices con aberturas menores de 4.75 mm (No. 4), la masa retenida en cualquier malla en la terminación de la operación de cribado, no debe ser mayor de 6 kg/m<sup>2</sup> de superficie cribado.

2.3.4.9. Para cribas con aberturas de 4.75 mm (No. 4) y mayores, la masa en kg/m<sup>2</sup> en la superficie de cribado no debe exceder el producto de 2.5X (abertura de la malla en mm). En ningún caso la masa debe ser tan grande que cause una deformación permanente de la malla de cribado.

2.3.4.10. A continuación en la tabla 4, se muestra la masa para 5 tamices con dimensiones de uso común.

**Tabla No. 4. Masa Máxima Permitida.**

<b>No. Tamiz (mm)</b>	<b>Masa mínima de cada tamiz (kg)</b>
75.0 (3")	6.0
50.0 (2")	4.0
37.50 (1 ½")	3.0
25.0 (1")	2.0
19.0 (¾")	1.5
9.5 (3/8")	0.77
4.75 (No.4)	0.38

Nota No. 6: La cantidad de 6 kg/m<sup>2</sup> equivalente a 194 g para diámetro usual de 203 mm de los marcos de los tamices.

2.3.4.11. La introducción del tamiz de más grande abertura inmediatamente superior a la malla dada.

- 2.3.4.12. Para la muestra en un número de incrementos.
- 2.3.4.13. Se continúa el tamizado por un periodo suficiente de tal forma que después de finalizado, no pase más del 1% de la masa de la muestra total por ningún tamiz, durante 1 min. De tamizado manual, como se describe a continuación.
- 2.3.4.14. Se toma individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo que ajuste sin holgura, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Se golpea fuerte el lado del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de la vuelta en cada intervalo de 25 golpes. En la determinación de la eficiencia del tamizado para tamaños de abertura mayores que los del tamiz de 4.75 mm (No. 4), se debe delimitar el sobre el tamiz una sola capa de partículas. Si el tamaño de los tamices hace impráctico el movimiento del tamizado descrito, se deberán usar tamices de 203 mm (8") de diámetro para comprobar la eficiencia del tamizado.
- 2.3.4.15. En el caso de mezclas de agregado grueso y fino, la porción de la muestra más fina que el tamiz 75 mm (4"), se puede distribuir entre dos o más juegos de grupos de tamices para prevenir sobrecargas de los tamices individuales. Para el cálculo se suman todas las masas retenidas de cada porción del tamiz de la misma abertura.
- 2.3.4.16. Alternativamente, se puede reducir la cantidad del material más fino que el tamiz 4.75 mm (No.4), para agilizar la operación de tamizado, utilizando un cuarteador mecánico, y se realiza el tamizado con una de las porciones resultantes del cuarteo. Si se sigue este procedimiento, se debe calcular la masa de cada fracción respecto a la muestra total para efectuar los cálculos de granulometría de todo el material, de la siguiente forma.

$$A = \left( \frac{W_1}{W_2} \right) x B \text{-----} (6)$$

Donde:

A = Masa de la fracción en cada tamiz, respecto de la muestra total.

$W_1$  = Masa de la muestra total que pasa el tamiz 4.75 mm (No.4) en la muestra total.

$W_2$  = Masa de la porción reducida de material que pasa el tamiz 4.75 mm (No.4) actualmente tamizado.

B = Es la masa del incremento del tamaño en la porción reducida tamizada.

- 2.3.4.17. Para partículas mayores de 75 mm (3") si es el caso, el tamizado debe realizarse a mano, determinando la abertura del tamiz más pequeño por la que pasa los sólidos. El ensayo se comienza con el tamiz de menor abertura de los que van a ser usados. Rótense las partículas si

es necesario, con el fin de determinar si ellas pasan o no a través de dicho tamiz; sin embargo, no se deberá forzar para obligarlas a pasar por las aberturas.

- 2.3.4.18. Se determina la masa de cada tamaño en la báscula a 0.1% de la masa total de la muestra original. La masa total del material después del tamizado debe comprobarse estrechamente con la masa original colocada sobre los tamices. Si las cantidad difiere en más de 0.3% de la masa original de la muestra seca, los resultados no podrán ser utilizados para fines de aceptación.

### **2.3.5. Método manual para material fino.**

- 2.3.5.1 Se cuartea el material que pasa la malla 4.75 (No. 4) y obtener una muestra de 500 g.
- 2.3.5.2 Seguir el procedimiento del método de partículas finas que la criba 0.075 mm (No.200), por medio de lavado método de prueba de la norma NMX-C-084-ONNCCE-2006.
- 2.3.5.3 Una vez que se aplico el método de lavado, se extrae el material del horno y se deja enfriar hasta obtener una temperatura cercana al ambiente, determinando su masa seca y se registra  $W_s+tara$  en (g).
- 2.3.5.4 Se colocan los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura como se indica a continuación: charola de fondo, 0.075 mm (No. 200), 0.150 mm (No. 100), 0.250 mm (No. 60), 0.425 mm (No. 40), 0.850 mm (No.20), 2.0 mm(No.10), se coloca la muestra (o porciones de la muestras si el material se va a tamizar por porciones) sobre el tamiz superior cubriéndola con su tapa efectuando el tamizado haciendo movimientos de rotación horizontal durante diez minutos en forma manual en caso de usar agitador mecánico reducir el tiempo a 5 min.
- 2.3.5.5 Se quita la tapa y se retira el tamiz 2.00 mm (No. 10) continuando con el tamizado por un tiempo suficiente, de tal manera que cuando se finalice el tamizado, no más del 1 % en masa del retenido en el tamiz pueda pasar por 1 min durante el tamizado.
- 2.3.5.6 Este procedimiento de cribado se repite para todos los tamices, las partículas que hayan quedado atrapadas en las aberturas, deben quedarse en ellos.
- 2.3.5.7 Se determina la masa de cada porción en cada tamiz anotando su respectiva masa en (g), como se muestra en el ejemplo del anexo, en su columna que le corresponde.



### **3. PREPARACIÓN Y SELECCIÓN DEL MATERIAL DE REFERENCIA PARA LA EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD, NMX-EC-17025-IMNC-2006.**

De acuerdo a la norma NMX-C-416-ONNCCE-2003, el laboratorio establece la preparación del material de referencia interno (secundario) de las mismas características mismo que servirá para determinar la homogeneidad y estabilidad del material, siendo una cantidad suficiente para realizar varias determinaciones.

Se utilizó para realizar ensayos por comparaciones entre laboratoristas realizando tres determinaciones cada uno, esto nos ayuda a conocer las habilidades de medición que tienen, por medio de métodos estadísticos (incertidumbre, repetibilidad y reproducibilidad).

Para cada prueba, del contenido de agua, Límites de consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico), y Análisis Granulométrico, se prepara el material como se indica a continuación:

#### **3.1. CONTENIDO DE AGUA.**

La selección del material para la determinación del contenido de agua se realizó para evaluar la medición que realiza cada laboratorista, por lo que se escogió un material con las mismas características (limo), con un contenido de agua entre 35 a 50%.

El material se paso a través de la malla No. 40 (0.42 mm) hasta obtener una muestra de aproximadamente 5 kg.

Utilizando una charola de 20 x 30 cm se colocó el material que paso a través de la malla No. 40, el cual se le aplicó agua homogeneizándolo hasta obtener una humedad óptima aproximadamente.

Una vez homogenizado el material se colocó en un recipiente hermético con tapa dejándolo reposar por 24 hrs en el cuarto húmedo lo cual se utiliza para mantener las condiciones de humedad de los materiales, a una temperatura de  $18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Trascurridas las 24 horas se les repartió a los laboratoristas aproximadamente 500 g de material para cada uno, obteniendo tres determinaciones siguiendo el procedimiento del punto 2.1.

#### **3.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**

Para el ensayo de análisis granulométrico se utilizó una arena de río dado que su origen presenta aristas con un grado de desgaste y sus características que tiene permiten que los granos del material pasen a través de las cribas solo con el movimiento del cribado.

La preparación para el análisis granulométrico comprende las operaciones de secado, disgregado y cuarteo, que son necesarias para obtener las porciones

representativas en condiciones adecuadas para efectuar los ensayos correspondientes.

El secado tiene por objeto facilitar la disgregación y manejo de las muestras por lo que el secado de las muestras podrá ser al sol o al horno. En el primer caso, se extiende la muestra en las charolas o sobre una superficie lisa y limpia, para que sea fácil recogerla y evitar la pérdida de finos, así como la contaminación con materiales extraños. Cuando se use el horno, deberá controlarse la temperatura de tal modo que esta sea del orden de 60 °C.

La disgregación tiene por objeto separar los diferentes sólidos que constituyen la muestra cuando esta contiene grumos. Esta operación es relativamente fácil cuando se refiere a materiales granulares poco cementados, aumentando su dificultad a medida que va siendo mayor la cementación o cuando se trata de rocas alteradas; en estos caso el material se separan por el proceso de disgregación, hasta quedar parcial o totalmente reducidas a material fino.

La disgregación de la muestra debe efectuarse sin tratar de romper los sólidos duros, para lo cual se deberá emplear un mazo de madera, con el que se golpeará el suelo en forma vertical, desde una altura de 20 cm aproximadamente. Hasta ver que los sólidos que ya no sean disgregables.

Utilizando el cuarteador mecánico se mezcla la muestra cuidadosamente y se extiende uniformemente sobre la charola de igual longitud que la tolva del partidor y a continuación se vierte sobre este, procurando que pasen cantidades similares a través de cada uno de los espacios, quedando en esta forma la muestra dividida en dos porciones que se depositan a la salida de las dos separaciones en los recipientes laterales del partidor, lo cual constituye la primera separación.

Una vez que se obtuvo el cuarteo del material se prosigue a realizar el lavado del material utilizando la malla No. 16 y No. 200 de acuerdo a la norma NMX-C-084-ONNCCE-2006.

Para fines de evaluación se utilizo solo el material que se quedo retenido en la malla No. 200, una vez seco se preparo una masa de 1200 g, se dividió en tres partes iguales para realizar tres determinaciones por laboratorista, realizando el ensayo en este caso para material que paso la malla No. 4, siguiendo lo establecido en el procedimiento del punto 2.3.

### **3.3. LÍMITES DE PLASTICIDAD.**

Para realizar el ensayo de Límite Líquido y Límite Plástico se tomo un material de limo con una clasificación SUCS "ML" de mediana plasticidad, ya que las características que tiene este material facilitan el ensayo.

En este caso el material utilizado estaba en estado seco por lo que no fue necesario secarlo, en dado caso que el material este húmedo se deberá secar en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C y disgregarlo antes de pasarlo por la malla No. 40.

Para la preparación se paso el material a través de la malla de 0.42 mm (No.40) hasta obtener una cantidad de 5 kg aproximadamente, material homogéneo con las mismas características.

Después de obtener el material se colocó en un recipiente hermético con tapa para evitar la contaminación con otros materiales, después se les repartió en partes iguales de 900 g a cada laboratorista para realizar tres determinaciones para cada ensayo siguiendo lo establecido en el procedimiento del punto 2.2.



## **4. VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.**

El laboratorio tiene un programa de verificación y calibración de equipo, formato (MI-M03-I04-ID-F50). El programa considera el equipo que debe ser calibrado ante un organismo que esté acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (ema) y que asegure la capacidad de medición y la trazabilidad correspondiente.

El programa de calibración es establecido tomando en cuenta el uso del equipo verificando que cumpla con las especificaciones requeridas y de acuerdo con la frecuencia máxima recomendada de calibración / verificación.

Las operaciones de calibración realizadas por el laboratorio calibrador deberán quedar registradas y los certificados deben incluir como mínimo lo siguiente:

- Identificación de la empresa o laboratorio que calibró.
- Número de certificación.
- Declaraciones de trazabilidad de los patrones.
- Referencia del método de calibración empleado.
- Resultados (incluye la incertidumbre).
- Fecha de realización de calibraciones.
- Observaciones y recomendaciones (cuando aplique).
- Identificación de la persona responsable de la calibración.
- La firma del certificado de calibración por un signatario asignado ante a ema.

En este caso se realizaron cuatro ensayos (contenido de agua, límite líquido, límite plástico y análisis granulométrico), de los cuales dependen de equipos para su correcta ejecución.

### **4.1 CONTENIDO DE AGUA.**

El equipo utilizado para realizar este ensayo se requiere de una balanza con una masa aproximada de 400 g con resolución de 0.1 g, en este caso el equipo fue calibrado por un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de acreditación (ema), que cumple con la trazabilidad correspondiente.

Para el caso contrario que la báscula no estuviera calibrada se deberá realizar verificaciones intermedias realizadas por el mismo laboratorio, utilizando un patrón de referencia (marco de pesas).

Así mismo también se requiere de verificación de las taras sacando su masa tres veces como mínimo, estas además de verificación deben estar identificadas con un número consecutivo para evitar confusiones.

## 4.2 LÍMITES DE CONSISTENCIA.

El equipo utilizado para realizar este ensayo se requiere de una balanza con una masa aproximada de 400 g con resolución de 0.01 g, en este caso el equipo fue calibrado por un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (ema), que cumple con la trazabilidad correspondiente.

Se requiere de verificación de los vidrios de reloj sacando su masa tres veces como mínimo, también se recomienda hacer una inspección visual para ver que no haya vidrios rotos, además de la verificación deben estar identificadas con un número consecutivo para evitar confusiones.

Copa de Casagrande y ranuradores, en este caso la copa es verificada por el mismo laboratorio tomando en cuenta lo establecido en la norma NMX-C-416-ONNCCE-2003 capítulo 6 y debe cumplir con lo siguiente:

Se quita la copa de la base y una vez estando fuera se marca con un lápiz una cruz en el centro de la parte inferior de la copa (punto brillante).

Se fija nuevamente la copa y se marca con lápiz una cruz en la base donde golpea la copa.

Utilizando el ranurador con la parte adosada del escantillón de 10 mm se verifica la altura del centro de la marca brillante sobre la superficie de la base, la altura de la copa deberá ser de 10 mm si no es así, afloje los tornillos de fijación y muévase el tornillo de ajuste hasta que se obtenga la altura deseada una vez obteniéndola se fija el tornillo verificando que no se mueva, se repite este procedimiento como mínimo tres veces, ver fig. 2.

Se verifica que la superficie donde da el impacto la copa no esté desgastado, si la profundidad se desgaste es igual o mayor de 0.1 mm, la superficie deberá volver a pulirse.

Para ver la restauración dinámica se coloca la copa sobre un directorio telefónico una vez estando en esta posición se deja caer un balín de acero sobre la base observando la altura de rebote, lo cual deberá estar comprendida entre 185 mm y 230 mm, esta altura será verificada utilizando el flexómetro o un probeta graduada.

El peso de la copa debe ser de  $200 \text{ g} \pm 20 \text{ g}$ .

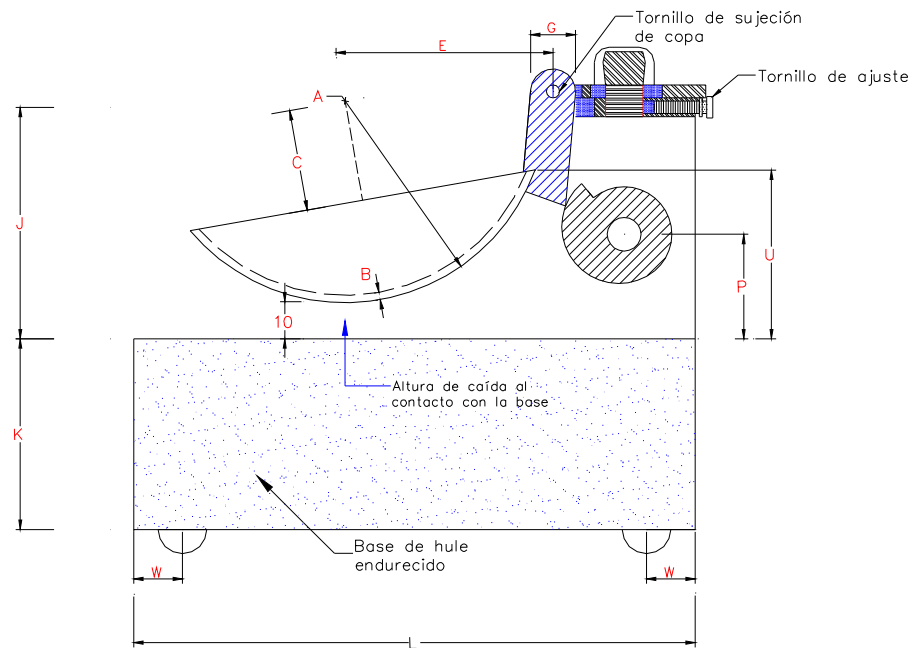
También se deberá verificar las dimensiones de la herramienta ranurador: debe tener un ancho en el fondo de  $2.00 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ , profundidad de la ranura  $8.00 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ , ancho de la superficie superior de la ranura  $11.00 \pm 0.2 \text{ mm}$ , estas dimensiones serán verificadas con el vernier.

Se verifica con el vernier que el escantillón de la parte adosada del ranurador tenga 10 mm de altura ver fig. No. 3.

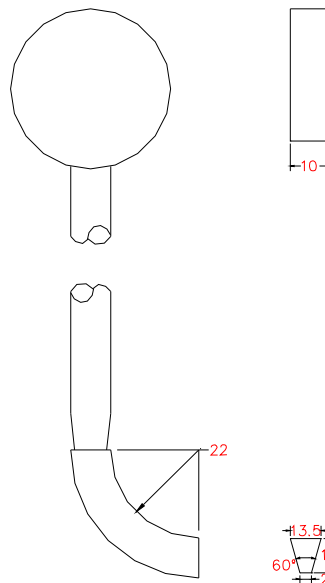
En caso de que alguna de estas dimensiones se cumpla por desgaste deberán ser sustituidas por unas nuevas.

**Tabla No. 5. Dimensiones Especificadas**

UNIDAD	A	B	C	E	F	G	J	K	L	P	U	W
mm	54±0.5	2±0.1	27±0.5	56±2.0	32	10	60±1.0	50±2.0	150±2.0	28	47±1.0	13



**Capa de Casagrande  
Figura No. 2**



**Herramienta para hacer ranura  
Figura No. 3**

### 4.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

El equipo utilizado para realizar este ensayo se requiere de una balanza con una masa aproximada de 4000 g con resolución de 0.1 g, en este caso el equipo fue calibrado por un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de acreditación (ema), que cumple con la trazabilidad correspondiente.

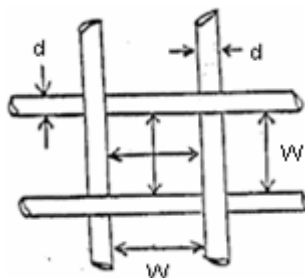
Para las mallas o tamices primeramente se realiza una inspección realizada por el laboratorio de acuerdo a la norma NMX-B-231-1990 Cribas para clasificación de materiales granulares que consta de lo siguiente:

Se procede a realizar una primera inspección visual para verificar que las cribas no presente irregularidades como deformaciones en el bastidor, alambres y mallas según sea el caso.

Los bastidores para cribas deben construirse de material resistente a la corrosión, de tal manera permanezcan rígidos al material que se vaya a tamizar.

Los marcos estándar deben de ser de forma circular con un diámetro de 203.2 mm, sin costura. La tolerancia del diámetro interno medio es de 5.08 mm, abajo del borde superior del marco, la tolerancia es de 0.76 mm.

La malla debe estar entretejida con alambre metálico que sea rígido y resistente a la corrosión como: latón, bronce o acero inoxidable. El alambre no debe recubrirse o enchaparse y debe estar igualmente siempre tenso en todas direcciones de modo que no se altere la geometría de la malla figura No. 4



**Dimensionamiento Adecuado De La Malla De Alambre  
Figura No.4.**

W = Ancho de abertura.  
d = Diámetro de alambre.

Las mallas deben fabricarse con alambres entre tejidos de abertura cuadrada, éstas deben unirse al marco por punteado con soldadura, excepto aquéllas con aberturas de 0.063mm o menos.

En este caso las mallas fueron calibradas por un laboratorio que está acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (ema), que cumple con la trazabilidad y con los parámetros de medición adecuados, lo cual la calibración dio resultados satisfactorios.

## 5. PROCEDIMIENTO PARA LOS ENSAYOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (r, R), DE ACUERDO CON LA NORMA NMX-C-416-ONNCCE-2003.

Modelos matemáticos para estimar la precisión de la repetibilidad y reproducibilidad (r y R).

Un estudio de precisión r y R tiene la finalidad de estimar una medida de la dispersión de los posibles resultados debida a los errores aleatorios de causas comunes que suceden en un proceso de mediciones normalizado.

Estos estudios son parte del proceso de validación de diseño de un método de medición.

Generalmente son promovidos por el mismo que propone el método de ensayos (organización o sujeto), con la colaboración de otros laboratorios que demuestran competencia participar en el estudio.

El objetivo de esta metodología es determinar la magnitud de los errores aleatorios de causas comunes del método de ensayo en las condiciones normales establecidas.

Usualmente, los resultados de esta evolución se reportan en la descripción normalizada del método de medición. De esta forma, los usuarios del método pueden evaluar si la exactitud del método propuestos es adecuada para el fin requerido, pueden verificar si en sus condiciones específicas cumple con la precisión esperada del método y, adicionalmente pueden estimar la incertidumbre de la medición.

Para realizar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad se requiere.

- Un material homogéneo y estable que sea medido por diferentes participantes.
- Que el método este implementado y normalizado conforme las condiciones diseñadas en las instalaciones de cada una de los participantes.

Para cada nivel calcular la precisión en condiciones de repetibilidad  $S^2_r$  (varianza de repetibilidad) y la precisión en condiciones de reproducibilidad  $s^2_R$  (varianza reproducibilidad), utilizando las siguientes formulas, establecidas en la norma NMX-CH-5225-2-UMNC-2006.

- a) Calcule la media de cada participante.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \text{-----} (7)$$

Donde:

$y_i$  = son los resultados de las mediciones de cada laboratorio.  
 $n$  = es el resultado de repeticiones.

**b)** Calcule la desviación normal de cada participante.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \text{-----} (8)$$

**c)** Calcule la media de medias del nivel y la desviación normal de las medias.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{y}}{p} \text{-----} (9)$$

$$s_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^p (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{p-1}} \text{-----} (10)$$

$p$  = número de participantes

**d)** Calcule la precisión del método de medición en condiciones de repetibilidad.

$$s_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p s_i^2}{p} \text{-----} (11)$$

**e)** Calcule  $s_d^2$  (constante).

$$s_d^2 = \frac{n}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = n \cdot s_{\bar{y}}^2 \text{-----} (12)$$

**f)** Calcule la precisión entre participantes (varianza interlaboratorios o entre participantes).

$$S_L^2 = \frac{S_d^2 - S_r^2}{n} \text{-----} (13)$$

Nota:

Si  $S_L^2 =$  Da negativo, asígnale un valor igual a cero.

**g)** Calcule la precisión en condiciones de reproducibilidad.

$$S_R^2 = S_L^2 + S_r^2 \text{-----} (14)$$

Nota No. 7: Las condiciones de reproducibilidad involucran errores de repetibilidad del proceso de medición más errores por diferentes técnicos, equipos y condiciones de medición.

**h)** Calcule la repetibilidad del método al 95% de probabilidad.

$$r = 2,8 \cdot S_r \text{-----} (15)$$

**i)** Calcule la reproducibilidad del método al 95% de la probabilidad.

$$R = 2,8 \cdot S_R \text{-----} (16)$$

## 6. PROCEDIMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN DE LOS ENSAYOS ATENDIENDO LOS CRITERIOS REFERIDOS A LA NMX-17025-2006, CON LA GUÍA EXPRESIÓN DE INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES NMX-CH-140-IMNC-2002.

Las normas ISO/BIPM/IEC han desarrollado un método sencillo y de aceptación general para estimar la incertidumbre del resultado de una medición NMX-CH-140-IMNC-2002.

Su aceptación en todos los campos y niveles metrológicos ha sido buena gracias a que la metodología se hizo bajo el cumplimiento de los siguientes criterios:

- Que sea universal.  
El método debe ser aplicado a cualquier tipo de medición y a cualquier tipo de datos utilizados en la medición.
- Internamente consiste.  
La cantidad debe obtenerse de la certificación de las componentes de error que contribuyen en el proceso de medición.
- Transferible.  
La cantidad obtenida debe tener la cualidad de poder ser transferida como un componente de la estimación de la incertidumbre de otro proceso de medición al cual pertenece.

La incertidumbre es la duda que se tiene por los errores aleatorios de causas comunes presentes en el momento en que se lleva a cabo la medición más todos aquellos que se heredan por otra causa.

El cálculo de la incertidumbre  $u_{(xi)}$  asociada a cada variable que se presenta como una desviación normal y esta se estima mediante dos métodos:

Evaluación de la incertidumbre normal tipo A.

Es el método para evaluar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones. Bajo las condiciones de repetibilidad, se estima con base a la dispersión de los resultados.

Generalmente se determina mediante experimentos de observaciones repetidas de la magnitud medida y se calcula como desviación normal de los datos.

Evaluación de la incertidumbre normal tipo B.

Método para evaluar la incertidumbre por otro medio que no sea el análisis estadístico de una serie de mediciones.



Evaluación en informes:

- Asociada a valores publicados y reconocidos.
- Valor de un material de referencia certificado.
- Relativas a la derivada.
- Obtenidas a partir de la clase de exactitud de un instrumento de medida verificado.
- Obtenida a partir de los límites precedentes de la experiencia personal.

El procedimiento que indica la recomendación ISO para la estimación de la incertidumbre de una medición se resumen en los siguientes diez pasos:

### **PASO NÚMERO UNO.**

Conozca y defina el mensurando y su proceso de medición.

### **PASO NÚMERO DOS.**

Establezca las variables aleatorias que están involucradas en el proceso de medición. Esto significa que debe definir cuáles son las variables independientes que pueden afectar el resultado de la medición para definir la función.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \text{-----} (17)$$

Donde:

Y = Variable aleatoria dependiente, resultado de la medición (resultado).

X = Variables aleatorias independientes.

### **PASO NÚMERO TRES.**

Determine una relación matemática que describa la función del proceso de medición.

$$y = f(x_1) + f(x_2) + f(x_3) + \dots + f(x_n) \text{-----} (18)$$

y = Estimación de la variable dependiente, resultado.

x = Estimación de la variable aleatorias independientes.

Si existe error sistemático que puede ser corregido, incluya esta corrección en la relación matemática

$$Y = f(x_1) - C$$

Y calcule la mejor estimación del mensurando.

## PASO NÚMERO CUATRO.

Establezca la expresión para el cálculo de la incertidumbre combinada del mensurando  $u_{c(y)}$ , con base a la relación matemática y en la ley de la propagación de los errores.

$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{dy}{dx_i} u_{(x_i)} \right)^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{dy}{dx_i} \frac{dy}{dx_j} u_{(x_i)} u_{(x_j)} r(x_i, x_j)} \text{ ----- (19)}$$

Donde:

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre Combinada

$dy/dx_i, dy/dx_j$  = Coeficiente de Sensibilidad

$r(x_i, x_j)$  = Coeficiente de Correlación entre variables independientes

$u(x_i), u(x_j)$  Incertidumbres Individuales de las Variables.

Nota No. 8: En esta expresión se consideran todas las variables aleatorias que puedan causar incertidumbre en la medición del mensurando. Esto incluye las involucradas en la relación matemática, las correlaciones y las indicadas como una función desconocida. En caso de no existir correlación entre las variables independientes, la ecuación anterior se simplifica a:

$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{dy}{dx_i} u_{(x_i)} \right)^2} \text{ ----- (20)}$$

Donde:

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$dy/dx_i$  = Coeficientes de sensibilidad.

$U(x_i)$  = Incertidumbres individuales de las variables.

Nota No. 9: La expresión presentada hace la suposición de que la propagación de los errores se comportan linealmente como un función de primer orden, y que el sistema físico es casi estático.

De cualquier forma que se resuelva la expresión del resultado numérico es igual.

## PASO NÚMERO CINCO.

Para cada variable calcule el coeficiente de sensibilidad.

Determinación a partir de una relación funcional. Si el modelo matemático para el mensurando ( $Y = X_1, X_2, \dots, X_N$ ) describe la influencia de la magnitud de entrada  $x_i$  suficientemente bien mediante una relación funcional, el coeficiente de sensibilidad " $C_i$ " se calcula por la derivada parcial de " $f$ " con respecto a " $X_i$ ":

$$C_i = \frac{\partial f}{\partial y_i} \text{-----} (21)$$

Nota No. 10: Si se cuenta con una relación matemáticas que combine las variables independientes entre sí para calcular el resultado (Variable dependiente), los coeficientes de sensibilidad correspondientes a las derivadas parciales del mensurando “Y” con relación a cada variable “Xi”.

## PASO NÚMERO SEIS.

Calcule la incertidumbre  $u_{(xi)}$  asociada a cada variable que se presenta como una desviación normal.

- Evaluación de la incertidumbre normal tipo A.

Esta estimación se basa en estudios experimentales y análisis estadísticos de los resultados considerando su distribución de frecuencia.

Generalmente se determina mediante experimentos de observaciones repetidas de la magnitud medida y se calcula como la desviación normal de los datos.

Se pueden considerarse dos situaciones:

Si el resultado de medición se obtiene de una sola observación, la incertidumbre se evalúa como la desviación normal  $\sigma$  obtenida de una prueba o estudio de repetibilidad del método de medición en condiciones normalizadas u otro medio.

$$u_{(xi)} = \sigma \text{-----} (22)$$

Nota No. 11: En este caso, los grados de libertad de  $\sigma$  se pueden estimar como infinitos.

Si el resultado de la medición se obtiene como el promedio de varias observaciones, la incertidumbre se puede estimar de dos formas dependiendo de la información con que se cuente:

Se conoce la variabilidad  $\sigma$  del método a partir de un estudio de repetibilidad bajo condiciones normalizadas u otro medio.

$$u_{(xi)} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{-----} (23)$$

Donde:

$u_{(xi)}$  = incertidumbre.

$\sigma$  = desviación normal de la población conocida.

$n$  = número de repeticiones.

En este caso, los grados de libertad de  $\sigma$  se pueden estimar como infinitos.

Se estima la variabilidad en el mismo momento que se realizó la medición:

$$u_{(xi)} \approx \frac{st}{\sqrt{n}} \text{-----} (24)$$

Donde:

$u_{(xi)}$  = incertidumbre

s = desviación normal estimada en la muestra

n = número de repeticiones

t = Factor t-student al nivel de confianza requerido

Nota No. 12: Cuando se combina esta estimación de “u” con las “u” de las otras variables aleatorias se debe omitir el factor t-student. se estima como:

$$u_{(xi)} \approx \frac{S}{\sqrt{n}} \text{-----} (25)$$

Ya que el efecto de la estimación de la teoría t-student por bajos grados de libertad se reevalúa cuando se obtiene la incertidumbre combinada  $u_c$ . En este caso, los grados de libertad de “S” se pueden estimar como n-1.

Donde:

n = es el numero de observaciones repetidas

Evaluación de la incertidumbre tipo B.

En esta evaluación se basa sobre los criterios del que realiza la medición, tomando en cuenta su experiencia, los datos del fabricante, los certificados de calibración, las mediciones previas, los datos de los manuales, artículos o especificaciones. Esta estimación se trata igual que la de tipo A, como una desviación normal.

$$u(x_i) \approx \sigma \text{-----} (26)$$

Generalmente, el valor que se toma para evaluar una incertidumbre individual por el método tipo B, se considera que está expandida. Por tanto, es necesario dividirla entre el coeficiente, k, para llevarla a  $\pm 1\sigma$ .

$$u_{(xi)} = \frac{U_{xi}}{k} \text{-----} (27)$$

Donde:

$U_{(xi)}$  = Incertidumbre expresada en la información

k = Coeficiente de Expansión Indicado

Si la incertidumbre se expresa con un nivel de confianza, entonces, al menos que se especifique otra cosa, se supone una distribución normal de la variable. Esta se calcula con la incertidumbre indicada dividida entre el factor Z (que puede considerarse como equivalente al factor de expansión k) correspondiente al factor de confianza indicado para una distribución normal.

$$u_{(xi)} = \frac{U_{(xi)}}{Z} \text{-----} (28)$$

Donde:

Z = Factor de expansión relativo al nivel de confianza de la distribución indicada.

Si se especifica que la variable se encuentra dentro del intervalo de valores máximos (entre  $\pm a$ ), se debe suponer una distribución rectangular en la que se considera que el valor verdadero de la magnitud tiene la misma probabilidad de ser cualquier valor que se encuentra en el intervalo. Por tanto, esta se evalúa como incertidumbre indicada dividida entre la raíz cuadrada de tres.

$$u_{(xi)} = \frac{a}{\sqrt{3}} \text{-----} (29)$$

Si se tienen datos de que los valores de la magnitud en cuestión alrededor del valor medio "a", son más probables que los valores que se encuentran cerca de los límites que acotan el intervalo especificado, entonces la suposición de una distribución triangular puede considerarse una mejor elección y se calcula como:

$$u_{(xi)} = \frac{a}{\sqrt{6}} \text{-----} (30)$$

Las incertidumbres individuales,  $u_{(xi)}$ , están a su vez formadas por varias componentes de incertidumbre individuales. Por lo tanto, su tratamiento corresponde al mismo utilizado para la estimación de la incertidumbre combinada,  $u_{c(y)}$ .

Nota No. 13: Sobre la suposición de que la información es muy confiable, generalmente los grados de libertad asociados a la incertidumbre evaluada por este método se estima como infinitos. Sin embargo, si se tiene duda de las suposiciones teóricas hechas, se puede estimar como:

$$v = \frac{1}{2d^2} \text{-----} (31)$$

Donde:

d = es la duda que se tiene de la incertidumbre expresada en forma decimal.

## **PASO NÚMERO SIETE**

Calcule la incertidumbre combinada  $u_{c(y)r}$  sustituyendo en la ecuación del paso 4 los valores de los coeficientes de sensibilidad y las incertidumbre individuales  $u_{(xi)}$  estimadas.

## **PASO NÚMERO OCHO.**

Calcule los grados de libertad efectivos del modelo utilizando la siguiente expresión.

$$v_{ef} = \frac{(u_{c(y)})^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(u_{y/x_i})^4}{v_{x_i}}} \text{----- (32)}$$

$u_{y/x_i}$  = Es la incertidumbre en unidades del mensurando debido a la incertidumbre de cada variable independiente  $x_i$ .

Corresponde a la multiplicación del coeficiente de sensibilidad por la incertidumbre de cada variable  $x_i$ .

$v_{x_i}$  = Son los grados de libertad de cada variable  $x_i$

Los grados de libertad se consideran como teóricos, en este caso estimados por el laboratorio de calibración ya que integra en conjunto factores que afectan la calibración del equipo, por ejemplo temperatura relativa, temperatura ambiente entre otros

### **PASO NÚMERO NUEVE.**

Calcule la incertidumbre expandida,  $U_{(y)}$  con base a los grados de libertad del modelo y el nivel de confianza,  $p$ , establecido para el resultado de la medición.

$$U_{(y)} = K u_{c(y)} \text{----- (33)}$$

Donde:

$k$  = Se estima como la t-student al nivel de confianza establecido y los grados de libertad calculados.

### **PASO NÚMERO DIEZ.**

Reporte el resultado de la medición indicando el valor obtenido, la incertidumbre estimada, el factor de expansión y los grados de libertad.

## 7. EVALUACIÓN DE MÉTODOS ENSAYOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD E INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN.

### 7.1 Cálculo de repetibilidad y reproducibilidad del contenido de agua.

Calcular la precisión en condiciones de Repetibilidad y la precisión en condiciones de Reproducibilidad del contenido de agua "w%". Dar la interpretación de los resultados y en donde pueden ser utilizados los mismos.

#### 7.1.1. Cálculo de media de cada participante.

Participantes	Determinación 1 (g)	Determinación 2 (g)	Determinación 3 (g)
1	36.00	36.00	36.00
2	36.00	37.00	36.00
3	36.00	36.00	36.00

Datos:

$$P = 3$$

$$n = 3$$

#### 7.1.2. Calcular la desviación normal de cada participante

LAB. No.	RESULTADOS	S	$\bar{y}$
1	36.00	0.000	36.000
	36.00		
	36.00		
2	36.00	0.577	36.333
	37.00		
	36.00		
3	36.00	0.000	36.000
	36.00		
	36.00		

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(36.00 - 36.00)^2 + (36.00 - 36.00)^2 + (36.00 - 36.00)^2}{3-1}} = 0.000$$

$$S = \sqrt{\frac{(36.00 - 36.33)^2 + (37.00 - 36.33)^2 + (36.00 - 36.33)^2}{3-1}} = 0.577$$

$$S = \sqrt{\frac{(36.00 - 36.00)^2 + (36.00 - 36.00)^2 + (36.00 - 36.00)^2}{3-1}} = 0.000$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{(36.00 + 36.00 + 36.00)}{3} = 36.000$$

$$\bar{y} = \frac{(36.00 + 37.00 + 36.00)}{3} = 36.333$$

$$\bar{y} = \frac{(36.00 + 36.00 + 36.00)}{3} = 36.000$$

Suma = **108.333**

7.1.3. Calcule la media de medias del nivel y la desviación normal de las medias.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{y}_i}{p} = \frac{108.333}{3} = 36.111$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^p (\bar{y}_k - \bar{y})^2}{p-1}} = \sqrt{\frac{(36.00 - 36.11)^2 + (36.33 - 36.11)^2 + (36.00 - 36.11)^2}{3-1}} = 0.193$$

7.1.4. Calcule la precisión del método de medición en condiciones de repetibilidad.

$$S_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p s_i^2}{p} = \frac{(0.00^2 + 0.577^2 + 0.00^2)}{3} = 0.111$$

7.1.5. Calcule sd2 (constante).

$$S_d^2 = \frac{n}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = n * s_{\bar{y}}^2 = 3 * 0.193^2 = 0.111$$

7.1.6. Calcule la precisión entre participantes (varianza interlaboratorios o entre participantes).

$$S_L^2 = \frac{S_d^2 - S_r^2}{n} = \frac{0.111 - 0.111}{3} = 0.000$$

Si  $S_L^2$  es negativo, asignarle el valor igual a cero.

7.1.7. Calcule la precisión en condiciones de reproducibilidad.

$$S_R^2 = S_L^2 + S_r^2 = 0.000 + 0.111 = 0.111$$

Nota: Las condiciones de reproductividad involucra errores de repetibilidad del proceso de medición más los errores por diferentes técnicos, equipos y condiciones de medición.



7.1.8. Calcule la repetibilidad del método al 95% de probabilidad

$$r = 2.8 * S_r$$

$$S_r = \sqrt{0.111} = 0.333$$

$$r = 2.8 * 0.333 = 0.933$$

7.1.9. Calcule la reproducibilidad del método al 95% de probabilidad

$$R = 2.8 * S_R$$

$$S_R = \sqrt{0.111} = 0.333$$

$$R = 2.8 * 0.333 = 0.933$$

Para la evaluación de este método se tomaron como referencia los parámetros de estimaciones de precisión de resultados de multilaboratorios establecidos por la norma ASTM –D698-07.

Los índices de precisión para los métodos de prueba del ASTM se basan normalmente en resultados obtenidos en laboratorios por operadores competentes que emplean equipo bien controlado en porciones de prueba de materiales para las cuales se han tomado las precaución necesarias para asegurar que son los más parecidos posible.

El cálculo de la rapetibilidad (r) y reproducibilidad (R) se realizó entre tres técnicos utilizando material secundario con las mismas características.

Los resultados de repetibilidad para un técnico es de 0.33 y para la reproducibilidad para varios técnicos es de 0.33, comparando los resultados con los parámetros de la norma ASTM que se muestran en la tabla No.10 del anexo, se indica en la columna 5 los límites que no deben superar el resultado, estimando la precisión del contenido de agua de **0.9 y 1.3**, se concluye que los resultados realizados por los técnicos del laboratorio son aceptables ya que **0.33 < 0.9 y 0.33 < 1.3**, los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los parámetros establecidos por en la norma.

## 7.2 Cálculo de repetibilidad y reproducibilidad de límite líquido.

Calcular la precisión en condiciones de Repetibilidad y la precisión en condiciones de Reproducibilidad del Límite Líquido. Dar la interpretación de los resultados y en donde pueden ser utilizados los mismos.

### 7.2.1. Cálculo de media de cada participante.

Determinaciones	Determinación 1 (g)	Determinación 2 (g)	Determinación 3 (g)
1	39.05	42.21	45.17
2	45.16	45.07	45.09
3	45.70	45.59	45.86

Datos:

$$P = 3$$

$$n = 3$$

### 7.2.2. Calcular la desviación normal de cada participante.

LAB. No.	RESULTADOS	S	$\bar{y}$
1	39.05	3.061	42.143
	34.21		
	45.17		
2	45.70	0.136	45.717
	45.59		
	45.86		
3	45.16	0.047	45.107
	45.07		
	45.09		

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(39.05 - 42.14)^2 + (34.21 - 42.14)^2 + (45.17 - 42.14)^2}{3-1}} = 3.061$$

$$S = \sqrt{\frac{(45.70 - 45.72)^2 + (45.59 - 45.72)^2 + (45.86 - 45.72)^2}{3-1}} = 0.136$$

$$S = \sqrt{\frac{(45.16 - 45.11)^2 + (45.07 - 45.11)^2 + (45.09 - 45.11)^2}{3-1}} = 0.047$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{(39.05 + 34.21 + 45.17)}{3} = 42.143$$

$$\bar{y} = \frac{(45.70 + 45.59 + 45.86)}{3} = 45.717$$

$$\bar{y} = \frac{(45.16 + 45.07 + 45.09)}{3} = 45.107$$

Suma = **132.967**

7.2.3. Calcule la media de medias del nivel y la desviación normal de las medias

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{y}_i}{p} = \frac{132.967}{3} = 44.322$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^p (\bar{y}_k - \bar{y})^2}{p-1}} = \sqrt{\frac{(42.14 - 44.32)^2 + (45.72 - 44.32)^2 + (45.11 - 44.32)^2}{3-1}} = 1.912$$

7.2.4. Calcule la precisión del método de medición en condiciones de repetibilidad.

$$S_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p s_i^2}{p} = \frac{(3.061^2 + 0.136^2 + 0.047^2)}{3} = 3.130$$

7.2.5. Calcule sd2 (constante).

$$S_d^2 = \frac{n}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = n * s_y^2 = 3 * 1.912^2 = 10.967$$

7.2.6. Calcule la precisión entre participantes (varianza interlaboratorios o entre participantes).

$$S_L^2 = \frac{S_d^2 - S_r^2}{n} = \frac{10.967 - 3.130}{3} = 2.612$$

Si  $S_L^2$  es negativo, asignarle el valor igual a cero.

7.2.7. Calcule la precisión en condiciones de reproducibilidad.

$$S_R^2 = S_L^2 + S_r^2 = 2.612 + 3.130 = 5.742$$

Nota: Las condiciones de reproductividad involucra errores de repetibilidad del proceso de medición más los errores por diferentes técnicos, equipos y condiciones de medición.

7.2.8. Calcule la repetibilidad del método al 95% de probabilidad.

$$r = 2.8 * S_r$$

$$S_r = \sqrt{3.130} = 1.77$$

$$r = 2.8 * 1.77 = 4.956$$

7.2.9. Calcule la reproducibilidad del método al 95% de probabilidad

$$R = 2.8 * S_R$$

$$S_R = \sqrt{5.742} = 2.40$$

$$R = 2.8 * 2.40 = 6.708$$

Para la evaluación de este método se tomaron como referencia los parámetros de estimaciones de precisión de resultados de multilaboratorios establecidos por la norma ASTM –D-4318.

Los índices de precisión para los métodos de prueba del ASTM, se basan normalmente en resultados obtenidos en laboratorios por operadores competentes que emplean equipo bien controlado en porciones de prueba de materiales para las cuales se han tomado las precaución para asegurar que son los más parecidos posible.

El cálculo de la rapetibilidad (r) y reproducibilidad (R) se realizó entre tres técnicos utilizando material secundario con las mismas características.

Los resultados de repetibilidad para un solo técnico es de **1.77** y para reproducibilidad para varios técnicos es de **2.40**, comparando los resultados con los parámetros de la norma ASTM, que se muestran en la tabla No.11 del anexo, se indican en la columna 2 los límites que no deben superar los resultados obtenidos, se estimo la precisión del límite líquido de **2.4 y 9.9**, se concluye que los resultados realizados por los técnicos del laboratorio son aceptables ya que **1.77 < 2.4 y 2.40 < 9.9**, los resultados se encuentran en los parámetros establecidos por lo tanto es aceptable.

### 7.3 Cálculo de repetibilidad y reproducibilidad límite plástico.

Calcular la precisión en condiciones de Repetibilidad y la precisión en condiciones de Reproducibilidad del Límite Plástico. Dar la interpretación de los resultados y en donde pueden ser utilizados los mismos.

7.3.1. .Cálculo de media de cada participante.

Determinaciones	Determinación 1 (g)	Determinación 2 (g)	Determinación 3 (g)
1	27.61	32.88	31.78
2	29.00	29.08	29.54
3	34.06	33.74	32.36

Datos:

P = **3**  
n = **3**

7.3.2. Calcular la desviación normal de cada participante.

LAB. No.	RESULTADOS	S	$\bar{y}$
1	<b>27.61</b>	<b>2.780</b>	<b>30.757</b>
	<b>32.88</b>		
	<b>31.78</b>		
2	<b>29.00</b>	<b>0.291</b>	<b>29.207</b>
	<b>29.08</b>		
	<b>29.54</b>		
3	<b>34.06</b>	<b>0.903</b>	<b>33.387</b>
	<b>33.74</b>		
	<b>32.36</b>		

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(27.61 - 30.76)^2 + (32.88 - 30.76)^2 + (31.78 - 30.76)^2}{3-1}} = 2.780$$

$$S = \sqrt{\frac{(29.00 - 29.21)^2 + (29.08 - 29.21)^2 + (29.54 - 29.21)^2}{3-1}} = 0.291$$

$$S = \sqrt{\frac{(34.06 - 33.39)^2 + (33.74 - 33.39)^2 + (32.36 - 33.39)^2}{3-1}} = 0.903$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{(27.61 + 32.88 + 31.78)}{3} = 30.757$$

$$\bar{y} = \frac{(29.00 + 29.08 + 29.54)}{3} = 29.207$$

$$\bar{y} = \frac{(34.06 + 33.74 + 32.36)}{3} = 33.387$$

Suma = **93.351**

7.3.3. Calcule la media de medias del nivel y la desviación normal de las medias.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{y}_i}{p} = \frac{93.351}{3} = 31.117$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^p (\bar{y}_k - \bar{\bar{y}})^2}{p-1}} = \sqrt{\frac{(30.76 - 31.12)^2 + (29.21 - 31.12)^2 + (33.39 - 31.12)^2}{3-1}} = 2.113$$

7.3.4. Calcule la precisión del método de medición en condiciones de repetibilidad.

$$S_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p s_i^2}{p} = \frac{(2.780^2 + 0.291^2 + 0.903^2)}{3} = 2.876$$

7.3.5. Calcule sd2 (constante).

$$S_d^2 = \frac{n}{p-1} \sum_{i=1}^p \left( \bar{y}_i - \bar{\bar{y}} \right)^2 = n * s_{\bar{y}}^2 = 3 * 2.113^2 = 13.394$$

7.3.6. Calcule la precisión entre participantes (varianza interlaboratorios o entre participantes).

$$S_L^2 = \frac{S_d^2 - S_r^2}{n} = \frac{13.394 - 2.876}{3} = 3.506$$

Si  $S_L^2$  es negativo, asignarle el valor igual a cero.

7.3.7. Calcule la precisión en condiciones de reproducibilidad.

$$S_R^2 = S_L^2 + S_r^2 = 3.506 + 2.876 = 6.382$$

Nota: Las condiciones de reproductividad involucra errores de repetibilidad del proceso de medición más los errores por diferentes técnicos, equipos y condiciones de medición.

7.3.8. Calcule la repetibilidad del método al 95% de probabilidad.

$$r = 2.8 * S_r$$

$$S_r = \sqrt{2.876} = 1.70$$

$$r = 2.8 * 1.70 = 4.748$$

7.3.9. Calcule la reproducibilidad del método al 95% de probabilidad

$$R = 2.8 * S_R$$

$$S_R = \sqrt{6.382} = 2.53$$

$$R = 2.8 * 2.53 = 7.074$$

Para la evaluación de este método se tomaron como referencia los parámetros de estimaciones de precisión de resultados de multilaboratorios establecidos por la norma ASTM –D-4318.

Los índices de precisión para los métodos de prueba del ASTM se basan normalmente en resultados obtenidos en laboratorios por operadores competentes que emplean equipo bien controlado en porciones de prueba de materiales para las cuales se han tomado las precaución necesarias para asegurar que son los más parecidas posible.

El cálculo de la repetibilidad (r) y reproducibilidad (R) se realizó entre tres técnicos utilizando material secundario con las mismas características.

Los resultados de repetibilidad para un solo técnico es de **1.70** y para reproducibilidad para varios técnicos es de **2.53**, comparando los resultados con los parámetros de referencia de la norma ASTM que se muestra en la tabla No.12 del anexo, se indica en la columna 2 los límites que no deben superar al resultado obtenido, se estimo la precisión para límite plástico de **2.6 y 10.60**, se concluye que los resultados realizados por los técnicos del laboratorio son aceptables ya que **1.70 < 2.60 y 2.5 < 10.6**, los resultados se encuentran en los parámetros por lo tanto es aceptable.

## 7.4 Cálculo de repetibilidad y reproducibilidad del análisis granulométrico.

Calcular la precisión en condiciones de Repetibilidad y la precisión en condiciones de Reproducibilidad del análisis granulométrico para la malla No.10. Dar la interpretación de los resultados y en donde pueden ser utilizados los mismos.

### 7.4.1. Cálculo de media de cada participante.

Laboratorio	Determinación 1 (g)	Determinación 2 (g)	Determinación 3 (g)
1	16.75	16.80	16.82
2	16.60	16.67	16.71
3	16.67	16.59	16.62

Datos:

$$P = 3$$

$$n = 3$$

### 7.4.2. Calcular la desviación normal de cada participante

LAB. No.	RESULTADOS	S	$\bar{y}$
1	16.75	0.036	16.790
	16.80		
	16.82		
2	16.60	0.056	16.660
	16.67		
	16.71		
3	16.67	0.040	16.627
	16.59		
	16.62		

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(16.75 - 16.79)^2 + (16.80 - 16.79)^2 + (16.82 - 16.79)^2}{3-1}} = 0.036$$

$$S = \sqrt{\frac{(16.60 - 16.66)^2 + (16.67 - 16.66)^2 + (16.71 - 16.66)^2}{3-1}} = 0.056$$

$$S = \sqrt{\frac{(16.67 - 16.63)^2 + (16.59 - 16.63)^2 + (16.62 - 16.63)^2}{3-1}} = 0.040$$



$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{(16.75 + 16.80 + 16.82)}{3} = 16.790$$

$$\bar{y} = \frac{(16.60 + 16.67 + 16.71)}{3} = 16.660$$

$$\bar{y} = \frac{(16.67 + 16.59 + 16.62)}{3} = 16.627$$

Suma = **50.077**

7.4.3. Calcule la media de medias del nivel y la desviación normal de las medias.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{y}_i}{p} = \frac{50.077}{3} = 16.692$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^p (\bar{y}_k - \bar{y})^2}{p-1}} = \sqrt{\frac{(16.79 - 16.69)^2 + (16.66 - 16.69)^2 + (16.63 - 16.69)^2}{3-1}} = 0.085$$

7.4.4. Calcule la precisión del método de medición en condiciones de repetibilidad.

$$S_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p s_i^2}{p} = \frac{(0.036^2 + 0.056^2 + 0.040^2)}{3} = 0.002$$

7.4.5. Calcule sd2 (constante).

$$S_d^2 = \frac{n}{p-1} \sum_{i=1}^p \left( \bar{y}_i - \bar{y} \right)^2 = n * s_{\bar{y}}^2 = 3 * 0.085^2 = 0.022$$

7.4.6. Calcule la precisión entre participantes (varianza interlaboratorios o entre participantes).

$$S_L^2 = \frac{S_d^2 - S_r^2}{n} = \frac{0.022 - 0.002}{3} = 0.007$$

Si  $S_L^2$  es negativo, asignarle el valor igual a cero.

7.4.7. Calcule la precisión en condiciones de reproducibilidad.

$$S_R^2 = S_L^2 + S_r^2 = 0.007 + 0.002 = 0.009$$

Nota: Las condiciones de reproductividad involucra errores de repetibilidad del proceso de medición más los errores por diferentes técnicos, equipos y condiciones de medición.

7.4.8. Calcule la repetibilidad del método al 95% de probabilidad.

$$r = 2.8 * S_r$$

$$S_r = \sqrt{0.002} = 0.04$$

$$r = 2.8 * 0.04 = 0.125$$

7.4.9. Calcule la reproducibilidad del método al 95% de probabilidad

$$R = 2.8 * S_R$$

$$S_R = \sqrt{0.009} = 0.09$$

$$R = 2.8 * 0.09 = 0.266$$

Para la evaluación de este método se tomaron como referencia los parámetros de estimaciones de precisión de resultados de multilaboratorios establecidos por la norma ASTM –C136-06

Los índices de precisión para los métodos de prueba del ASTM se basan normalmente en resultados obtenidos en laboratorios por operadores competentes que emplean equipo bien controlado en porciones de prueba de materiales para las cuales se han tomado las precaución necesarias para asegurar que son los más parecidas posible.

El cálculo de la rapetibilidad (r) y reproducibilidad (R) se realizó entre tres técnicos utilizando material secundario con las mismas características.

Los resultados para el análisis granulométrico para la repetibilidad para un solo técnico es **0.04** y para reproducibilidad para varios técnicos es **0.09**, comparando los resultados con los parámetros establecidos en la norma ASTM de la tabla No. 12 del anexo, se indican los limites que no deben superar al resultado obtenido. El resultado para el análisis granulométrico para un porcentaje de material que pasa la malla No. 10 es de **83.19%** resultado obtenido en el análisis granulométrico.

Se indica en la primera columna (porcentaje total de material que pasa) tabla No. 12, obteniendo el parámetro de (**< 95 ≥60**) se obtienen los valores de **0.55 y 0.77**, se concluye que los resultados realizados por los técnicos del laboratorio son aceptables ya que **0.04 < 0.55 y 0.09 < 0.77**, los resultados se encuentran en los parámetros establecidos en la norma por lo tanto es aceptable.

## 7.5 Cálculo de la incertidumbre para el contenido de agua (w%).

7.5.1. Se define el mensurando y su proceso de medición

Se determina en contenido de agua de las muestras de suelo alteradas e inalteradas con la siguiente fórmula:

$$\% w = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

$\%w$  = Contenido de Agua

$W_h$  = Masa húmeda

$W_s$  = Masa seca

### Datos de medición

$W_h = 123.53$  g

$W_s = 90.62$  g

Método de Repetibilidad = 0.33

No. de repeticiones = 3

### Datos de equipo

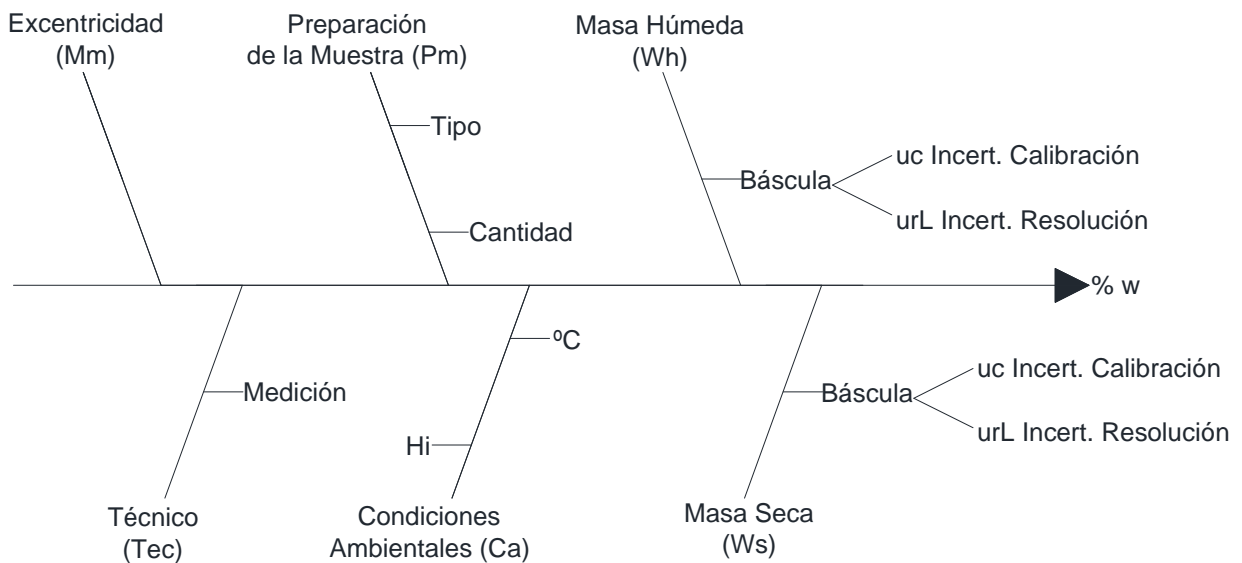
Incertidumbre de la balanza = 0.13

Resol. De la balanza = 0.1 g

Factor de cobertura (k) = 2

$$\% w = \frac{123.53 - 90.62}{90.62} * 100 = 36.32\%$$

7.5.2. Se establecen las variables aleatorias que están involucradas en el proceso de medición.



$$\%w = f (W_h, W_s, M_m, P_m, T_e_c, C_a) \dots\dots\dots (2)$$

Se engloban las variables desconocidas involucradas en el proceso de medición ( $\sigma$ ).

$$\%w = f(Wh, Ws, \sigma\theta) \text{-----} (3)$$

7.5.3. Se determina la relación matemática que describa la función del proceso de medición.

$$\%w = \frac{Wh - Ws}{Ws} \times 100 + \theta\sigma \text{-----} (4)$$

$\theta\sigma$  = Errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas.

7.5.4. Se establece la expresión para el cálculo de la incertidumbre combinada del mesurando con base a la relación matemática y la ley de la propagación de los errores.

$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dxi} u_{(xi)}\right)^2} \text{-----} (5)$$

Donde:

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$\frac{dy}{dx_i}$  = Coeficiente de sensibilidad.

$u(x_i)$  = Incertidumbres individuales de las variables.

$$u_{c(\%w)} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \%w}{\partial Wh} \cdot uWh\right)^2 + \left(\frac{\partial \%w}{\partial Ws} uWs\right)^2 + \left(\frac{\partial \%w}{\partial \theta\sigma} \cdot u\theta\sigma\right)^2\right]} \text{-----} (6)$$

7.5.5. Se calcula el coeficiente de sensibilidad.

a)  $\frac{\partial \%w}{\partial wh} = \frac{100}{ws} = \frac{100}{90.62} = 1.1035 \quad \left[\frac{\%}{g}\right] \text{-----} (7)$

b)  $\frac{\partial \%w}{\partial ws} = -\frac{100wh}{ws^2} = \frac{100 \cdot 123.53}{90.62^2} = -1.5043 \quad \left[\frac{\%}{g}\right] \text{-----} (8)$

c)  $\frac{\partial \%w}{\partial \theta\sigma} = 1 \text{-----} (9)$

7.5.6. Se calcula la incertidumbre asociada a cada variable que se representa como una desviación normal.

$$Wh = uc + url \text{-----} (10)$$

Aplicando la fórmula para el cálculo de la incertidumbre.

$$u_c(Wh) = \sqrt{\left(\frac{\partial Wh}{\partial u_c} u_c\right)^2 + \left(\frac{\partial Wh}{\partial r_l} u_{r_l}\right)^2} \text{----- (11)}$$

Derivando la ecuación 11

$$\frac{\partial Wh}{\partial u_c} = 1 \text{----- (12)}$$

$$\frac{\partial Wh}{\partial r_l} = 1 \text{----- (13)}$$

Tomando el informe de Calibración de la balanza electrónica de plataforma circular de 400 g con rL de 0,1 g, e Incertidumbre es de 0,13 g.

$$u_{r_l} = \frac{rL}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289 \text{ [g]} \text{----- (14)}$$

$$u_c = \frac{u_{balanza}}{2} = \frac{0.13}{2} = 0.0650 \text{ [g]} \text{----- (15)}$$

Sustituyendo las ecuaciones 13, 14 en la ecuación 11 se tiene.

$$u_c(Wh) = \sqrt{(1.00 \times 0.0650)^2 + (1 \times 0.0289)^2} = 0.0711 \text{ [g]} \text{----- (16)}$$

Donde:

$$u_c(Wh) = u_c(W_s) = 0.0711 \text{ [g]} \text{----- (17)}$$

7.5.7. Cálculo de la incertidumbre combinada sustituyendo las ecuaciones 7, 8, 9, Y 16 en la ecuación (6) tenemos:

$$u_c(w\%) = \sqrt{[(1.1035)(0.00711)]^2 + [(-1.5043)(0.0711)]^2 + [(1.00)(0.330)]^2} = 0.36 \text{ [%]} \text{--- (18)}$$

7.5.8. Cálculo de los grados de libertad efectivos.

$$v_{ef} = \frac{u_{c(y)}^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(u_{y/x_i})^4}{v_{xi}}} \text{----- (19)}$$

Donde:

$v_{ef}$  = Grados de libertad efectivos.

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$u_{y/xi}$  = Incertidumbre en unidades del mensurado debida a la incertidumbre de cada variable independiente de xi.

$v_{xi}$  = Grados de libertad de cada variable xi.

Aplicando la fórmula

$$v_{ef} = \frac{(0.36\%)^4}{\frac{(0.0289\%)^4}{\infty} + \frac{(0.0650\%)^4}{\infty} + \frac{(0.330\%)^4}{\infty}} = \infty \dots\dots\dots (20)$$

7.5.9. Cálculo de la incertidumbre expandida, con base a los grados de libertad efectivos del modelo y el nivel de confianza establecido para el resultado de la medición.

$$U_{(\%w)} = KU_{c(y)} = 2 * 0.36\% = 0.71 [\%] \dots\dots\dots (21)$$

Donde:

$U$  = Incertidumbre expandida

$K$  = Factor de cobertura igual a 2

$u_c$  = Incertidumbre combinada de ecuación (18)

Donde K es el factor de curvatura estimado en el informe de calibración.

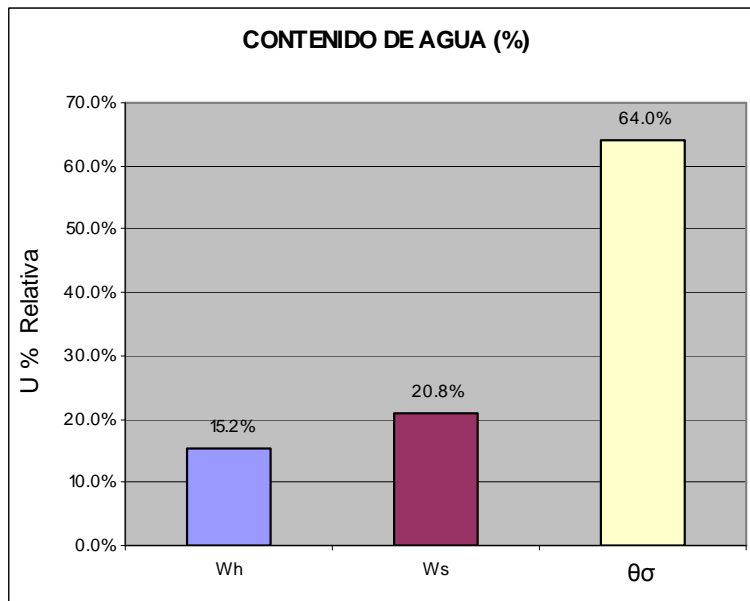
7.5.10. Reporte de Resultados.

Obteniendo el resultado final se tiene el contenido de agua ( $\%w \pm U_{(\%w)}$ ) de la incertidumbre expandida es:

$\%w = 36.32\% \pm 0.71\%$

**Taba No. 6. Resumen De La Incertidumbre De Contenido De Agua**

FUENTE DE INCERTIDUMBRE	TIPO DE ESTIMACIÓN	COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	$U_{xi}$	$u_{y*xi}$	%U RELATIVA
<b>Wh</b>	B	1.10351	0.07112	0.07848	15.2 %
<b>Ws</b>	B	1.50426	0.07112	0.10699	20.8 %
<b><math>\theta\sigma</math></b>	A	1.00000	0.33000	0.33000	64.0%
			<b>Suma</b>	<b>0.52</b>	<b>100 %</b>



El propósito de obtener U es el de proveer un intervalo alrededor del resultado de una medición en el que puede esperarse que se incluya una fracción grande de la distribución de valores que pueden atribuirse razonablemente al mensurando.

La expresión de la incertidumbre expandida U para el Contenido de Agua se obtuvo el resultado de  $36.32\% \pm 0.71\%$ , es el rango aproximado que debe de variar con respecto al %w.

En la tabla No. 6 resume la incertidumbre relativa del contenido de agua, se observa la contribución de los resultados relacionando los coeficientes de sensibilidad con la incertidumbre de cada variable  $U_{xi}$ .

Realizando la gráfica de los resultados obtenidos se nota que contribuye más en los errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas de  $\theta\sigma = (Mm, Pm, Tec, Ca)$  de cada variable que nos afectan en la medición.

En cambio lo que es el Wh y Ws sólo nos afecta directamente el error de la balanza, pero se observan que en este caso la medición de la balanza está afectando un 21% y 15% los resultados del ensayo, por lo que se puede verificar donde no está afectando los resultados de la medición.

En resumen se tiene:

$$U_c(w\%) = 0.36\%$$

$$V = \infty$$

$$K = 2$$

$$U(w\%) = 0.71\%$$

## 7.6 Cálculo de la incertidumbre para el Límite Líquido.

7.6.1 Se define el mensurando y su proceso de medición.

Se determina en contenido de agua de las muestras de suelo alteradas e inalteradas con la siguiente fórmula:

$$\% w = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

$\%w$  = Contenido de Agua

$W_h$  = Masa húmeda

$W_s$  = Masa seca

### Datos de medición

$W_h = 15.64$  g

$W_s = 10.74$  g

Método de Repetibilidad = 2.93

No. de repeticiones = 3

### Datos de equipo

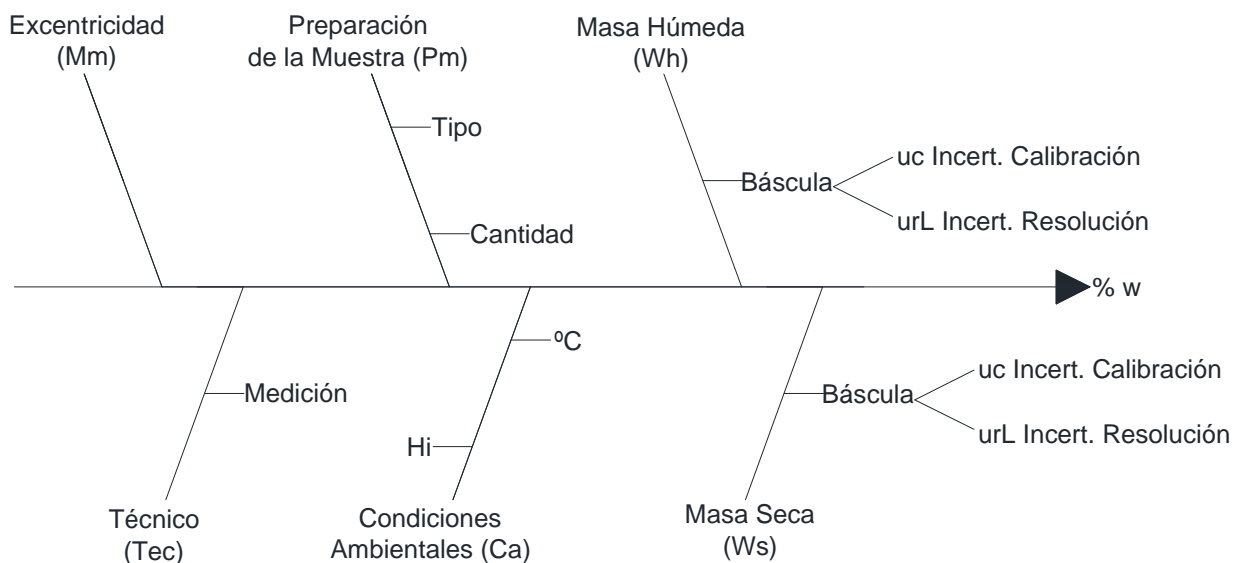
Incertidumbre de la balanza = 0.13

Resol. De la balanza = 0.1 g

Factor de cobertura (k) = 2

$$\%W = \frac{15.64 - 10.74}{10.74} * 100 = 45.62\%$$

7.6.2 Se establecen las variables aleatorias que están involucradas en el proceso de medición.



$$\%w = f(W_h, W_s, M_m, P_m, T_e_c, C_a) \dots\dots\dots (2)$$



Se engloban las variables desconocidas involucradas en el proceso de medición ( $\sigma$ ).

$$\%w = f(Wh, Ws, \sigma\theta) \text{-----} (3)$$

7.6.3 Se determine la relación matemática que describa la función del proceso de medición.

$$\%w = \frac{Wh - Ws}{Ws} \times 100 + \theta\sigma \text{-----} (4)$$

$\theta\sigma$  = Errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas.

7.6.4 Se establece la expresión para el cálculo de la incertidumbre combinada del mesurando con base a la relación matemática y la ley de la propagación de los errores.

$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dx_i} u_{(x)}\right)^2} \text{-----} (5)$$

Donde:

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$\frac{dy}{dx_i}$  = Coeficiente de sensibilidad.

$u(x_i)$  = Incertidumbres individuales de las variables.

$$u_{c(\%w)} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \%w}{\partial Wh} \cdot u_{Wh}\right)^2 + \left(\frac{\partial \%w}{\partial Ws} \cdot u_{Ws}\right)^2 + \left(\frac{\partial \%w}{\partial \theta\sigma} \cdot u_{\theta\sigma}\right)^2\right]} \text{-----} (6)$$

7.6.5 Se calcula el coeficiente de sensibilidad.

$$a) \frac{\partial \%w}{\partial wh} = \frac{100}{ws} = \frac{100}{10.74} = 9.3110 \quad \left[\frac{\%}{g}\right] \text{-----} (7)$$

$$b) \frac{\partial \%w}{\partial ws} = -\frac{100wh}{ws^2} = \frac{100 * 15.64}{10.74^2} = -13.5590 \quad \left[\frac{\%}{g}\right] \text{-----} (8)$$

$$c) \frac{\partial \%w}{\partial \theta\sigma} = 1 \text{-----} (9)$$

7.6.6 Se calcula la incertidumbre asociada a cada variable que se representa como una desviación normal.

$$Wh = uc + url \text{-----} (10)$$

Aplicando la fórmula para el cálculo de la incertidumbre.

$$u_c(Wh) = \sqrt{\left(\frac{\partial Wh}{\partial uc} u_c\right)^2 + \left(\frac{\partial Wh}{\partial url} url\right)^2} \text{-----} (11)$$

Derivando la ecuación 11

$$\frac{\partial Wh}{\partial u_c} = 1 \text{-----} (12)$$

$$\frac{\partial Wh}{\partial rcl} = 1 \text{-----} (13)$$

Tomando el informe de Calibración de la balanza electrónica de plataforma circular, de 400 g con rL de 0,1 g, e Incertidumbre de 0,13 g,

$$u_{rl} = \frac{rL}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289 [g] \text{-----} (14)$$

$$u_c = \frac{ubalanza}{2} = \frac{0.13}{2} = 0.0650 [g] \text{-----} (15)$$

Sustituyendo las ecuaciones 13, 14 en la ecuación 11 se tiene.

$$u_c(Wh) = \sqrt{(1.00 \times 0.0650)^2 + (1 \times 0.0289)^2} = 0.0711 [g] \text{-----} (16)$$

Donde:

$$u_c(Wh) = u_c(W_s) = 0.0711 [g] \text{-----} (17)$$

$\sigma_R$  se toma de la prueba de repetibilidad y reproducibilidad.

$$u_{\theta\sigma} = 2.930 [\%] \text{-----} (18)$$

7.6.7 Cálculo de la incertidumbre combinada sustituyendo las ecuaciones 7, 8, 9, Y 16 en la ecuación (6) tenemos:

$$u_c(w\%) = \sqrt{[(9.3111)(0.0711)]^2 + [(-13.5590)(0.0711)]^2 + [(1.00)(2.4000)]^2} = 2.67 [\%] \text{--} (19)$$

7.6.8 Cálculo de los grados de libertad efectivos.

$$v_{ef} = \frac{u_{c(y)}^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(u_{y/x_i})^4}{v_{xi}}} \text{-----} (20)$$

Donde:

$v_{ef}$  = Grados de libertad efectivos.

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$u_{y/x_i}$  = Incertidumbre en unidades del mensurado debida a la incertidumbre de cada variable independiente de xi.

$v_{xi}$  = Grados de libertad de cada variable xi.

Aplicando la fórmula

$$v_{ef} = \frac{(2.67\%)^4}{\frac{(0.07112\%)^4}{\infty} + \frac{(0.076114\%)^4}{\infty} + \frac{(2.9030\%)^4}{\infty}} = \infty \text{----- (21)}$$

7.6.9 Cálculo de la incertidumbre expandida, con base a los grados de libertad efectivos del modelo y el nivel de confianza establecido para el resultado de la medición.

$$U_{(\%w)} = KU_{c(y)} = 2 * 2.67\% = 5.34 [\%] \text{----- (22)}$$

Donde:

$U$  = Incertidumbre expandida

$K$  = Factor de cobertura igual a 2

$u_c$  = Incertidumbre combinada de ecuación (18)

Donde:

$K$  es el factor de curvatura estimado en el informe de calibración.

7.6.10 Reporte de Resultados.

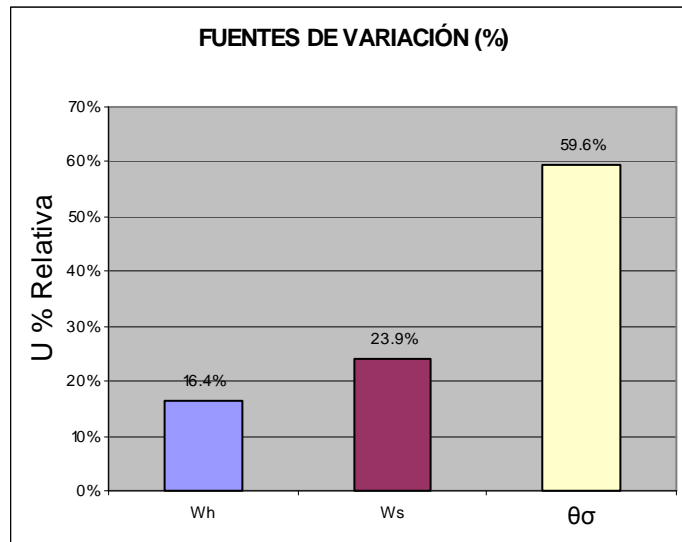
Obteniendo el resultado final se tiene el contenido de agua ( $\%w \pm U_{(\%w)}$ ) de la incertidumbre expandida es:

$$\%w = 45.62\% \pm 5.34\%$$

Resumen de la incertidumbre.

**Taba No. 7. Resumen De La Incertidumbre De Límite Líquido**

FUENTE DE INCERTIDUMBRE	TIPO DE ESTIMACIÓN	COEFICIENTE DE SENCIBILIDAD	Uxi	Uy*Uxi	%U RELATIVA
<b>Wh</b>	B	9.31099	0.07112	0.66222	16.4%
<b>Ws</b>	B1	13.55902	0.07112	0.96434	23.9%
<b>θσ</b>	A	1.00000	2.40000	2.40000	59.6%
<b>Suma</b>				<b>4.56</b>	<b>100.0%</b>



La expresión de la incertidumbre expandida U para el límite líquido se obtuvo el resultado de  $45.62\% \pm 5.34\%$ , es el rango aproximado que debe de variar con respecto al %w, para un nivel de confianza de 95 %.

En la tabla No. 7 resume la incertidumbre relativa del contenido de agua, se observa la contribución de los resultados relacionando los coeficientes de sensibilidad con la incertidumbre de cada variable  $U_{xi}$

Realizando la gráfica de los resultados obtenidos se nota que contribuye más en los errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas de  $\theta\sigma = (Mm, Pm, Tec, Ca)$  de cada variable que nos afectan en la medición.

Sin en cambio lo que es el Wh y Ws solo nos afecta directamente el error de la balanza, pero se observan que en este caso la medición está afectando un 24% y 16% los resultados del ensayo, por lo que se puede verificar donde no afecta la medición para reducir los valores de los resultados.

En resumen se tiene:

$$U_c(w\%) = 2.67 \%$$

$$V = \infty$$

$$K = 2$$

$$U(w\%) = 5.34 \%$$

## 7.7 Cálculo de la incertidumbre para el Límite Plástico.

### 7.7.1 Se define el mensurando y su proceso de medición

Se determina en contenido de agua de las muestras de suelo alteradas e inalteradas con la siguiente fórmula:

$$\%w = \frac{Wh - Ws}{Ws} \times 100 \text{----- (1)}$$

Donde:

$\%w$  = Contenido de Agua

$Wh$  = Masa húmeda

$Ws$  = Masa seca

#### Datos de medición

$Wh = 17.12$  g

$Ws = 12.77$  g

Método de Repetibilidad = 2.51

No. de repeticiones = 3

#### Datos de equipo.

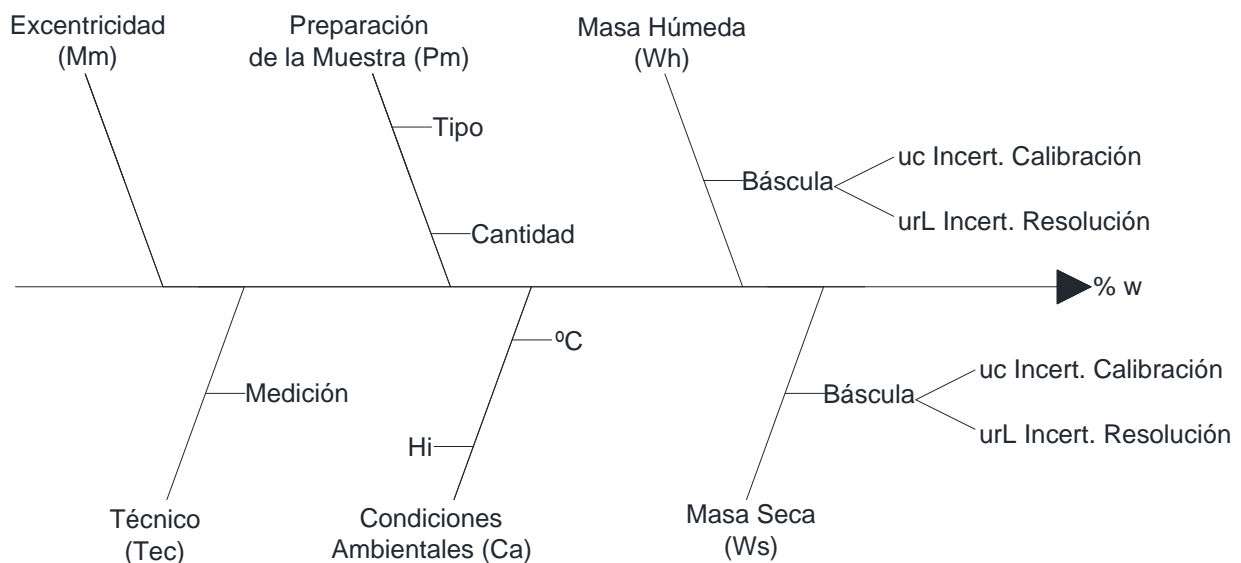
Incertidumbre de la balanza = 0.13

Resol. De la balanza = 0.1

Factor de cobertura (k) = 2

$$\%W = \frac{17.12 - 12.77}{12.77} * 100 = 34.06\%$$

### 7.7.2 Se establecen las variables aleatorias que están involucradas en el proceso de medición.



$$\%w = f(Wh, Ws, Wm, Pm, Tec, Ca) \text{-----(2)}$$

Se engloban las variables desconocidas involucradas en el proceso de medición ( $\sigma$ ).

$$\%w = f ( Wh, Ws, \sigma\theta) \text{-----}(3)$$

7.7.3 Se determine la relación matemática que describa la función del proceso de medición.

$$\%w = \frac{Wh - Ws}{Ws} \cdot 100 + \theta\sigma \text{-----} (4)$$

$\theta\sigma$  = Errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas.

7.7.4 Se establece la expresión para el cálculo de la incertidumbre combinada del mesurando con base a la relación matemática y la ley de la propagación de los errores.

$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dx_i} u_{(x_i)}\right)^2} \text{-----} (5)$$

Donde:

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$\frac{dy}{dx_i}$  = Coeficiente de sensibilidad.

$u(x_i)$  = Incertidumbres individuales de las variables.

$$u_{c(\%w)} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \%w}{\partial Wh} \cdot uWh\right)^2 + \left(\frac{\partial \%w}{\partial Ws} \cdot uWs\right)^2 + \left(\frac{\partial \%w}{\partial \theta\sigma} \cdot u\theta\sigma\right)^2\right]} \text{-----} (6)$$

7.7.5 Se calcula el coeficiente de sensibilidad.

$$a) \frac{\partial \%w}{\partial wh} = \frac{100}{ws} = \frac{100}{17.17} = 7.8309 \quad \left[\frac{\%}{g}\right] \text{-----} (7)$$

$$b) \frac{\partial \%w}{\partial ws} = -\frac{100wh}{ws^2} = \frac{100 \cdot 17.12}{17.120^2} = -10.4984 \quad \left[\frac{\%}{g}\right] \text{-----} (8)$$

$$c) \frac{\partial \%w}{\partial \theta\sigma} = 1 \text{-----} (9)$$

7.7.6 Se calcula la incertidumbre asociada a cada variable que se representa como una desviación normal.

$$Wh = uc + url \text{-----} (10)$$

Aplicando la fórmula para el cálculo de la incertidumbre.

$$u_c(Wh) = \sqrt{\left(\frac{\partial Wh}{\partial uc} u_c\right)^2 + \left(\frac{\partial Wh}{\partial url} url\right)^2} \text{-----} (11)$$

Derivando la ecuación 11

$$\frac{\partial Wh}{\partial u_c} = 1 \text{-----} (12)$$

$$\frac{\partial Wh}{\partial rcl} = 1 \text{-----} (13)$$

Tomando el informe de Calibración de la balanza electrónica de plataforma circular, de 400 g con rL de 0,1 g, e incertidumbre de 0,13 g.

$$u_{rl} = \frac{rL}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289 [g] \text{-----} (14)$$

$$u_c = \frac{ubalanza}{2} = \frac{0.13}{2} = 0.0650 [g] \text{-----} (15)$$

Sustituyendo las ecuaciones 13, 14 en la ecuación 11 se tiene.

$$u_c(Wh) = \sqrt{(1.00 \times 0.0)^2 + (1 \times 0.0289)^2} = 0.0711 [g] \text{-----} (16)$$

Donde:

$$u_c(Wh) = u_c(W_s) = 0.0711 [g] \text{-----} (17)$$

$\sigma_R$  se toma de la prueba de repetibilidad y reproducibilidad.

$$u_{\theta\sigma} = 2.510 [\%] \text{-----} (18)$$

7.7.7 Cálculo de la incertidumbre combinada sustituyendo las ecuaciones 7, 8, 9, Y 16 en la ecuación (6) tenemos:

$$u_c(w\%) = \sqrt{[(7.8309)(0.00711)]^2 + [(-10.4984)(0.00711)]^2 + [(1.00)(2.5100)]^2} = 2.62 \text{--} (19)$$

7.7.8 Cálculo de los grados de libertad efectivos.

$$v_{ef} = \frac{u_{c(y)}^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(u_{y/xi})^4}{v_{xi}}} \text{-----} (20)$$

Donde:

$v_{ef}$  = Grados de libertad efectivos.

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$u_{y/xi}$  = Incertidumbre en unidades del mensurado debida a la incertidumbre de cada variable independiente de xi.

$v_{xi}$  = Grados de libertad de cada variable xi.

Aplicando la fórmula

$$v_{ef} = \frac{(0.36\%)^4}{\frac{(0.0557\%)^4}{\infty} + \frac{(0.0745\%)^4}{\infty} + \frac{(2.5100\%)^4}{\infty}} = \infty \text{----- (21)}$$

7.7.9 Cálculo de la incertidumbre expandida, con base a los grados de libertad efectivos del modelo y el nivel de confianza establecido para el resultado de la medición.

$$U_{(\%w)} = KU_{c(y)} = 2 * 2.68\% = 5.35 [\%] \text{----- (22)}$$

Donde:

$U$  = Incertidumbre expandida

$K$  = Factor de cobertura igual a 2

$u_c$  = Incertidumbre combinada de ecuación (18)

Donde:

$K$  es el factor de curvatura estimado en el informe de calibración.

7.7.10 Reporte de Resultados.

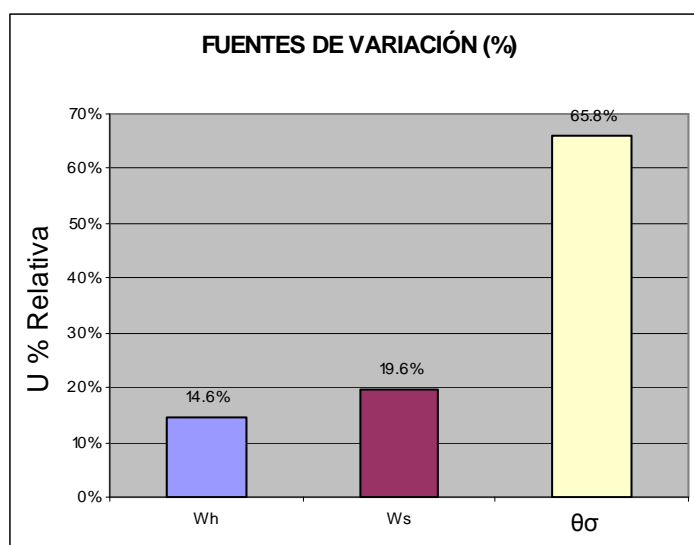
Obteniendo el resultado final se tiene el contenido de agua ( $\%w \pm U_{(\%w)}$ ) la incertidumbre expandida es:

**$\%w = 34.06\% \pm 5.35\%$**

**Taba No. 8. Resumen De La Incertidumbre De Límite Plástico**

FUENTE DE INCERTIDUMBRE	TIPO DE ESTIMACIÓN	COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	Uxi	Uy*Uxi	%U RELATIVA
<b>Wh</b>	B	7.83085	0.07112	0.55695	14.6%
<b>Ws</b>	B1	10.49837	0.07112	0.74666	19.6%
<b><math>\theta\sigma</math></b>	A	1.00000	2.51000	2.51000	65.8%
			<b>Suma</b>	<b>3.81</b>	<b>100.0%</b>





La expresión de la incertidumbre expandida  $U$  para el límite plástico se obtuvo el resultado de  $34.06\% \pm 5.35\%$ , es el rango aproximado que debe de variar con respecto al %w, para un nivel de confianza de 95 %.

En la tabla No. 8 resume la incertidumbre relativa del contenido de agua, se observa la contribución de los resultados relacionando los coeficientes de sensibilidad con la incertidumbre de cada variable  $U_{xi}$

Realizando la gráfica de los resultados obtenidos se nota que contribuye más en los errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas de  $\theta\sigma = (Mm, Pm, Tec, Ca)$  de cada variable que nos afectan en la medición; así también nos da una idea de donde podemos mejorar el ensayo.

Sin embargo lo que es el Wh y Ws sólo nos afecta directamente el error de la balanza, pero se observa que la medición afecta un 20% y 15% los resultados del ensayo, por lo que se puede verificar donde esta afecta los resultados de medición.

En resumen se tiene:

$$U_c(w\%) = 2.62\%$$

$$V = \infty$$

$$K = 2$$

$$U(w\%) = 5.34\%$$

## 7.8 Cálculo de la incertidumbre para el Análisis granulométrico.

7.8.1 Se define el mensurando y su proceso de medición.

Se determina el análisis granulométrico de los agregados de los suelos con la siguiente fórmula:

$$\% \text{pasa} = \left( 1 - \frac{W_{ret}}{W_{total}} \right) \times 100 \text{----- (1)}$$

Donde:

$\% \text{pasa}$  = Porcentaje que pasa la malla

$W_{ret}$  = Masa retenida en la malla

$W_{total}$  = Masa total de la masa

Datos de medición

### Datos de medición

$W_{ret} = 30.28 \text{ g}$

$W_{total} = 180.10 \text{ g}$

$\% \text{pasa} = 83.19 \%$

Método de Repetibilidad = 0.09

No. de repeticiones = 3

### Datos de equipo

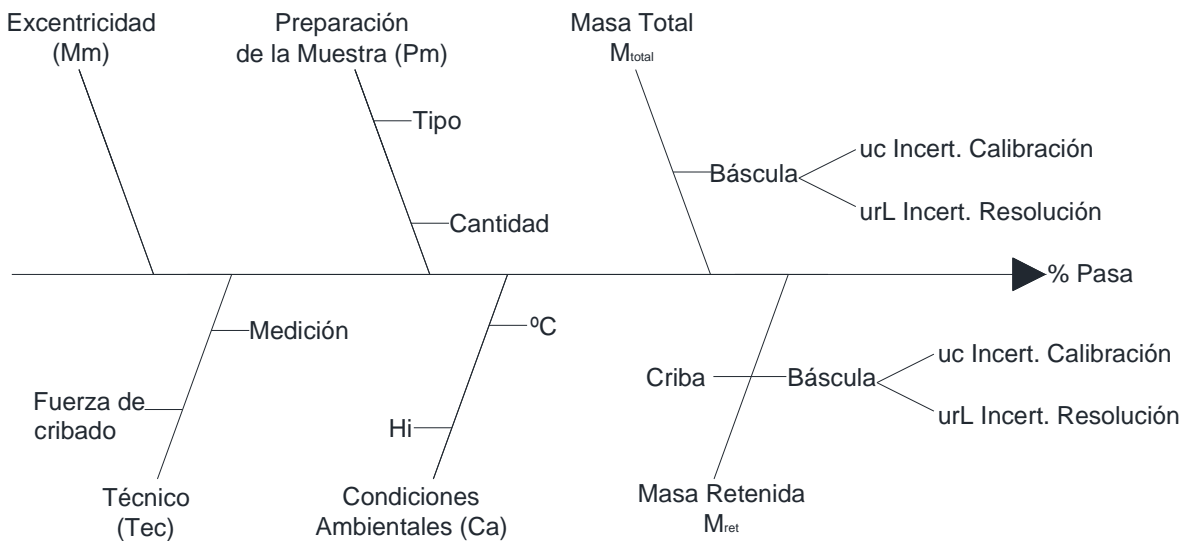
Incertidumbre de la báscula = 0.095 g

Resol. De la balanza = 0.01 g

Factor de cobertura (k) = 2

Incertidumbre de la malla = 0.005

7.8.2 Se establecen las variables aleatorias que están involucradas en el proceso de medición.



$$\% \text{pasa} = f (W_{ret}, W_{total}, W_m, P_t, T_{ec}, C_a) \text{----- (2)}$$

Se engloban las variables desconocidas involucradas en el proceso de medición ( $\sigma$ ).

$$\% \text{ pasa} = f(W_{ret}, W_{total}, \sigma\theta) \text{ ----- (3)}$$

7.8.3 Se determine la relación matemática que describa la función del proceso de medición.

$$\% \text{ pasa} = \left(1 - \frac{W_{ret}}{W_{total}}\right) \times 100 + \theta\sigma \text{ ----- (4)}$$

$\theta\sigma$  = Errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas.

7.8.4 Se establece la expresión para el cálculo de la incertidumbre combinada del mesurando con base a la relación matemática y la ley de la propagación de los errores.

$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dx_i} u_{(x_i)}\right)^2} \text{ ----- (5)}$$

Donde:

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$\frac{dy}{dx_i}$  = Coeficiente de sensibilidad.

$u(x_i)$  = Incertidumbres individuales de las variables.

$$u_{c(\% \text{ pasa})} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \% \text{ pasa}}{\partial W_{ret}} \cdot u_{W_{ret}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \% \text{ pasa}}{\partial W_{total}} \cdot u_{W_{total}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \% \text{ pasa}}{\partial \theta\sigma} \cdot u_{\theta\sigma}\right)^2\right]} \text{ ----- (6)}$$

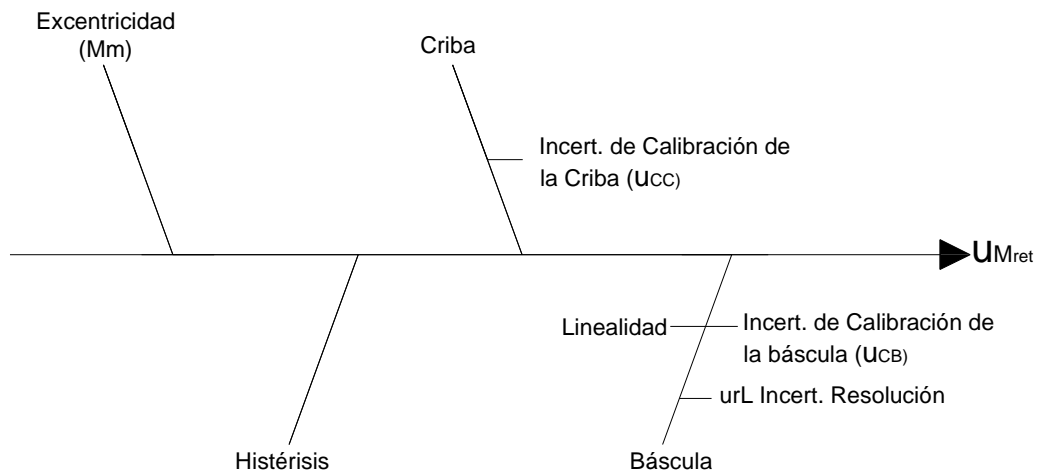
7.8.5 Se calcula el coeficiente de sensibilidad

$$\text{a) } \frac{\partial \% \text{ pasa}}{\partial W_{ret}} = -\frac{100}{W_{total}} = -\frac{100}{180.10} = -0.5552 \quad \left[\frac{\%}{g}\right] \text{ ----- (7)}$$

$$\text{b) } \frac{\partial \% \text{ pasa}}{\partial W_{total}} = \frac{100W_{ret}}{W_{total}^2} = \frac{100 \cdot 30.28}{180.10^2} = 0.0934 \quad \left[\frac{\%}{g}\right] \text{ ----- (8)}$$

$$\text{c) } \frac{\partial \% \text{ pasa}}{\partial \theta\sigma} = 1 \text{ ----- (9)}$$

7.8.6 Se calcula la incertidumbre asociada a cada variable que se representa como una desviación normal.



$$W_{ret} = f(rL, u_{CB}, u_{CC}) \text{----- (10)}$$

Se toma en cuenta los datos de calibración del equipo, mismos que se reportan como UT, incertidumbre de la certificación de la balanza como se muestra en la siguiente fórmula.

$$uc(W_{ret}) = \sqrt{\left(\frac{\partial W_{ret}}{\partial rL} u_{rL}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_{ret}}{\partial u_{CB}} u_{CB}\right)^2 + \left(\frac{\partial W_{ret}}{\partial u_{CC}} u_{CC}\right)^2} \text{----- (11)}$$

Derivando la ecuación 11

$$\frac{\partial W_{ret}}{\partial u_c} = 1 \text{----- [a dimensional]----- (12)}$$

$$\frac{\partial W_{ret}}{\partial rL} = 1 \text{----- [a dimensional]----- (13)}$$

$$\frac{\partial M_{ret}}{\partial CC} = 1 \text{----- } \left[ \frac{g}{mm} \right] \text{----- (14)}$$

Tomando el informe de Calibración de la balanza electrónica de plataforma circular de 4000 g con rL 0,01 g e Incertidumbre de 0,0095 g.

$$u_{rL} = \frac{rL}{2\sqrt{3}} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029 [g] \text{----- (15)}$$

$$u_c = \frac{u_{balanza}}{2} = \frac{0.0095}{2} = 0.0048 [g] \text{----- (16)}$$

Del informe de calibración de la malla No. 10

$$u_c = \frac{u_{malla}}{2} = \frac{0.005}{2} = 0.0025 [mm] \text{----- (17)}$$

Sustituyendo las ecuaciones 12 a la 16 en la ecuación 11 se tiene.

$$u_c(W_{ret}) = \sqrt{(1.00 \times 0.0029)^2 + (1 \times 0.00048)^2 + (1 \times 0.0025)^2} = 0.006 [g] \text{----- (18)}$$

Donde para  $UM_{total}$ :

$$u_c(W_{ret}) = u_c(W_{total}) = 0.006 [g] \text{----- (19)}$$

Y para  $u_{\theta\sigma}$

$\sigma_R$  se toma de la prueba de repetibilidad y reproducibilidad.

$$u_{\theta\sigma} = 0,090 [\%] \text{----- (20)}$$

7.8.7 Cálculo de la incertidumbre combinada sustituyendo las ecuaciones 7, 8, 9, 18, 19 Y 20 en la ecuación (6) tenemos:

$$u_c(\% \text{ pasa}) = \sqrt{[(-0.555)(0.006)]^2 + [(0.096)(0.006)]^2 + [(1.00)(0.090)]^2} = 0.09 [\%] \text{--(21)}$$

7.8.8 Cálculo de los grados de libertad efectivos.

$$v_{ef} = \frac{u_{c(y)}^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(u_{y/x_i})^4}{v_{x_i}}} \text{----- (22)}$$

Donde:

$v_{ef}$  = Grados de libertad efectivos.

$u_{c(y)}$  = Incertidumbre combinada.

$u_{y/x_i}$  = Incertidumbre en unidades del mensurado debida a la incertidumbre de cada variable independiente de  $x_i$ .

$v_{x_i}$  = Grados de libertad de cada variable  $x_i$ .

Aplicando la fórmula

$$v_{ef} = \frac{(0.09\%)^4}{\frac{(0.0033\%)^4}{\infty} + \frac{(0.00056\%)^4}{\infty} + \frac{(0.090\%)^4}{\infty}} = \infty \text{----- (23)}$$

7.8.9 Cálculo de la incertidumbre expandida, con base a los grados de libertad efectivos del modelo y el nivel de confianza establecido para el resultado de la medición.

$$U_{(\% \text{ pasa})} = KU_{c(y)} = 0.09 * 2 = 0.18 [\%] \text{----- (24)}$$

Donde:

$U$  = Incertidumbre expandida

$K$  = Factor de cobertura

$u_c$  = Incertidumbre combinada de ecuación (18)

Donde

$K$  es el factor de curvatura estimado en el informe de calibración.

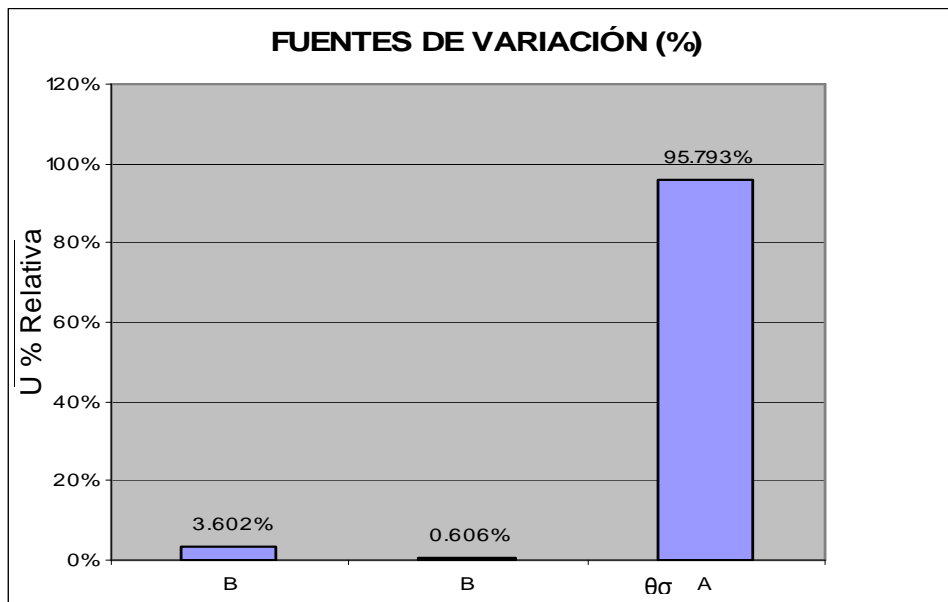
#### 7.8.10 Reporte de Resultados.

Obteniendo el resultado final se tiene el contenido de agua (%pasa  $\pm U_{(%w)}$ ) de la incertidumbre expandida es:

$$\% \text{ pasa} = 83.19\% \pm 0.18\%$$

**Taba No. 9. Resumen De La Incertidumbre Del Análisis Granulométrico**

FUENTE DE INCERTIDUMBRE	TIPO DE ESTIMACIÓN	COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD	$u_{xi}$	$u_{y^*xi}$	%U RELATIVA
<b>Wret</b>	B	0.55525	0.00609	0.00338	3.602
<b>Wtotal</b>	B	0.09335	0.00609	0.00057	0.606
<b><math>\theta\sigma</math></b>	A	1.00000	0.09000	0.09000	95.79
<b>Suma</b>				<b>0.094</b>	<b>100</b>



La expresión de la incertidumbre expandida  $U$  para el límite plástico se obtuvo el resultado de  $83.19\% \pm 0.18\%$ , es el rango aproximado que debe de variar con respecto al % que pasa la malla., para un nivel de confianza de 95 %.

En la tabla No. 9 resume la incertidumbre relativa del análisis granulométrico, se observa el resumen que indica que tanto contribuyen los resultados obtenidos, donde se relacionan los coeficientes de sensibilidad con la incertidumbre de cada variable  $U_{xi}$ .

Realizando la gráfica de los resultados obtenidos se nota que contribuye más en los errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas de  $\theta\sigma = (Mm, Pm, Tec, Ca)$  de todas las variable involucradas en la medición. En este caso afecta más en  $\theta\sigma$ , ya que para realizar este ensayo depende de varios factores, también nos da una idea de donde se tiene que trabajar más para reducir el error en este ensayo.

Sin en cambio lo que es el  $W_{ret}$  y  $W_{total}$ , sólo nos afecta directamente el error de la balanza lo cual se encuentra no afecta el resultado del ensayo.

En resumen se tiene:

$$U_c(w\%) = 0.09 \%$$

$$V = \infty$$

$$K = 2$$

$$U(w\%) = 0.18 \%$$

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

La experiencia ha demostrado que el crear, implementar y trabajar bajo un sistema de aseguramiento de calidad requiere que el personal del laboratorio posea una base sólida de conocimientos técnicos y experiencias reales para avanzar firmemente y decididamente hacia el objetivo, que es lograr la acreditación.

Al establecer sistema de calidad en el laboratorio tiene un costo adicional para la empresa, que no es solo económico sin un esfuerzo extra del personal, pero da como resultado un valor adicional para establecer una manera oficial de confiabilidad del laboratorio.

No existe un modelo único a seguir para establecer un sistema de aseguramiento de la calidad o que debe de ser una copia exacta de las normas existentes. Las variables que definen el sistema van de acuerdo al tamaño del laboratorio, la complejidad de sus procedimientos, sus requerimientos externos, y otros.

En la evaluación de las pruebas de laboratorio en este trabajo se observó que:

En el contenido de agua.

Los resultados obtenidos en el análisis de repetibilidad y reproducibilidad son menores que los parámetros tomados de la normas ASTM anexo tabla No. 1, considerando los resultados aceptables y confiables, además se considera que los laboratoristas están realizando las mediciones adecuadamente.

En cuanto al análisis de la incertidumbre en el resumen se muestra cuales son las variables de medición que nos afecta al realizar el ensayo, dándonos una idea de donde hay que tener precaución y mejorar el desempeño del laboratorio.

Estos casos no convienen fijar un parámetro de los resultados obtenidos de las mediciones, la cual nos va a servir para mejora y realizar ensayos futuros de mejora.

Los Límites de Consistencia.

Los resultados obtenidos en el análisis de repetibilidad y reproducibilidad son menores que los parámetros tomados de la normas ASTM, considerando los resultados aceptables y confiables, además se considera que los laboratoristas están realizando las mediciones adecuadamente.

Para el cálculo de la incertidumbre se muestra que los resultados de las variables  $W_h$  y  $W_s$ , se deben de ajustar aplicando nuevamente el método hasta detectar la deficiencia en la medición y tener los resultados satisfactorios.

También se recomienda fijar los parámetros aceptables de medición.



## El Análisis Granulométrico.

Los resultados obtenidos en el análisis de repetibilidad y reproducibilidad son menores que los parámetros tomados de la normas ASTM, considerando los resultados aceptables y confiables, además se considera que los laboratoristas están realizando las mediciones adecuadamente.

Para la incertidumbre del análisis granulométrico nos podemos dar cuenta de involucramos más variables de medición para el cálculo, lo cual en este caso se debe de tener la habilidad y capacidad para realizar los ensayos adecuadamente.

En este caso nos podemos dar cuenta que la incertidumbre relativa %U, contribuye más a los errores aleatorios del proceso de medición en condiciones normalizadas  $\theta\sigma$ . Se recomienda enfocarnos más a estas variables para mejorar el desempeño del laboratorio.

## Recomendaciones Generales.

Para el análisis de la repetibilidad y reproducibilidad se recomiendo utilizar un material de las mismas características y el control en la preparación.

Se recomienda realizar calibraciones del equipo utilizado ante un ente acreditado y además realizar verificaciones intermedias, para mantener el equipo en óptimas condiciones.

Para el análisis de la repetibilidad y reproducibilidad se recomiendo como mínimo realizar tres determinaciones con material de las mismas características.

Cuando se realice ensayos para calificar y evaluar el desempeño de los laboratorista, esto debe de ser supervisados por el encargado del laboratorio.

Para realizar una estimación de incertidumbre es necesario tener conocimientos básicos en áreas de: estadística, matemáticas y metrología. Esta estimación también involucra el pleno entendimiento e interpretación de los métodos de ensayo y un dominio en normas de calidad.

La capacidad del experto en métodos de ensayo debe ser tal que sea capaz de identificar los puntos importantes para definir las variables involucradas en la estimación de la incertidumbre.

Una correcta interpretación de informes/certificados de calibración/verificación de los instrumentos de medición, nos permite evaluar la consistencia y estabilidad de los equipos a través del tiempo.

El uso de procedimientos de ensayo normalizados nos da la ventaja de conocer la variabilidad de los resultados que se obtienen en las condiciones específicas de dicho procedimiento, mediante los parámetros de repetibilidad y reproducibilidad del método normalizado.

Es responsabilidad del laboratorio de ensayo demostrar, mediante evidencia física, la capacidad técnica del personal que ejecuta los ensayos y comprobar el cumplimiento de la repetibilidad y reproducibilidad del método de ensayo.

El cumplimiento de la repetibilidad y reproducibilidad por parte del laboratorio asegura una correcta estimación de la incertidumbre.

En caso de que la entidad mexicana de acreditación (ema), realice ensayos de aptitud es obligación de un laboratorio acreditado participar en dichos programas.



## 9.2. ENSAYOS DE LÍMITES DE PLASTICIDAD (LL, LP), REALIZADOS EN EL LABORATORIO

### Determinaciones del Laboratorista No. 1

#### LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

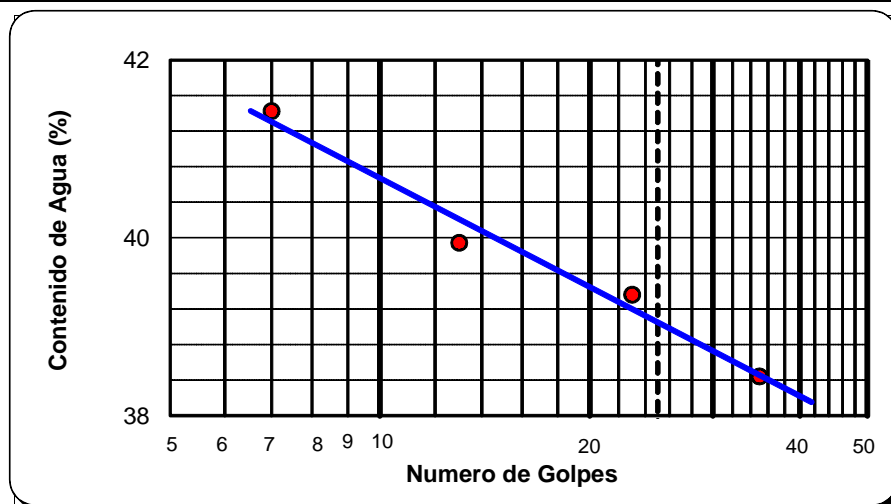
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
SONDEO : ENSAYO No. 1 PROFUNDIDAD: -- m FECHA: 20 de agosto de 2013

#### LIMITE LIQUIDO

NO. PRUEBA	NUMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	35	174	51.70	44.30	25.05	38.44
2	23	175	47.70	41.30	25.04	39.36
3	13	176	55.20	46.60	25.07	39.94
4	7	173	56.80	47.50	25.05	41.43

#### LIMITE PLASTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	178	33.40	31.60	25.10	27.69	27.61
2	170	33.40	31.60	25.06	27.52	



WL = 39.05 %  
Wp = 27.61 %  
Ip = 11.44 %  
SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

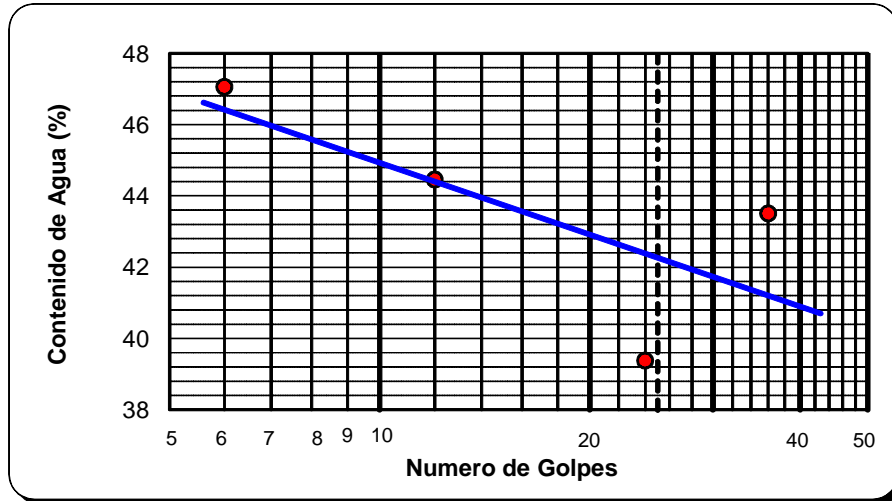
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
 SONDEO : ENSAYO No. 2 PROFUNDIDAD:     --     m FECHA: 20 de agosto de 2013

### LÍMITE LÍQUIDO

NO. PRUEBA	NÚMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	36	161	45.70	39.40	24.92	43.51
2	24	162	48.40	41.80	25.04	39.38
3	12	163	46.80	40.10	25.03	44.46
4	6	164	47.60	40.40	25.10	47.06

### LÍMITE PLÁSTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	165	34.60	32.30	25.15	32.17	32.88
2	166	33.80	31.60	25.05	33.59	



WL = 42.21 %  
 Wp = 32.88 %  
 Ip = 9.33 %  
 SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

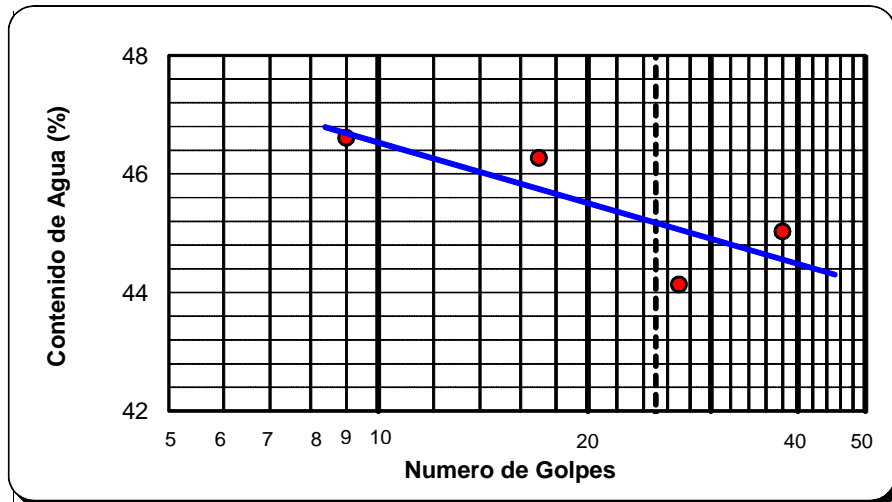
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
SONDEO : ENSAYO No. 3 PROFUNDIDAD: -- m FECHA: 20 de agosto de 2013

### LIMITE LIQUIDO

NO. PRUEBA	NÚMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	38	161	43.60	37.80	24.92	45.03
2	27	162	47.90	40.90	25.04	44.14
3	17	163	42.10	36.70	25.03	46.27
4	9	164	42.40	36.90	25.10	46.61

### LIMITE PLASTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	165	33.70	31.60	25.15	32.56	31.78
2	166	33.50	31.50	25.05	31.01	



WL = 45.17 %  
Wp = 31.78 %  
Ip = 13.38 %  
SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.

## Determinaciones del Laboratorista No. 2

### LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LIMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

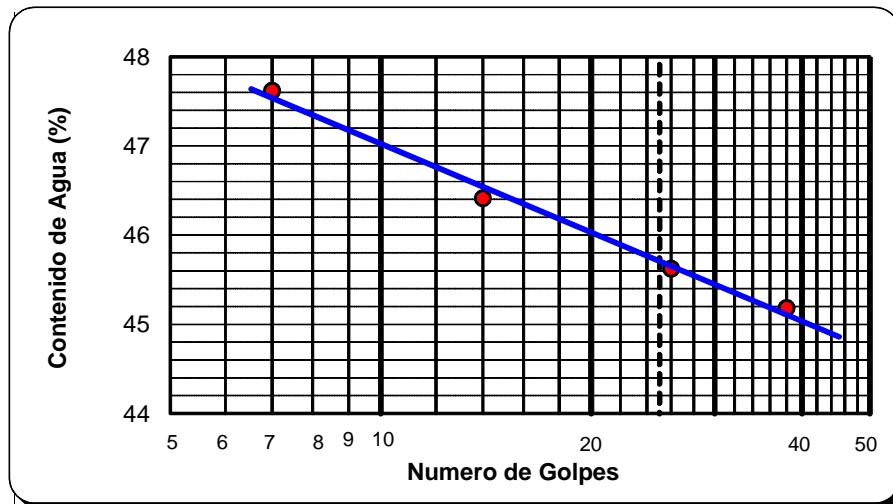
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
SONDEO : ENSAYO No. 1 PROFUNDIDAD: -- m FECHA: 20 de agosto de 2013

#### LIMITE LIQUIDO

NO. PRUEBA	NÚMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	38	167	42.10	36.80	25.07	45.18
2	26	170	40.70	35.80	25.06	45.62
3	14	173	42.40	36.90	25.05	46.41
4	7	176	38.40	34.10	25.07	47.62

#### LIMITE PLASTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	161	41.90	37.60	24.92	33.91	34.06
2	162	42.30	37.90	25.04	34.21	



WL = 45.70 %  
Wp = 34.06 %  
Ip = 11.64 %  
SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

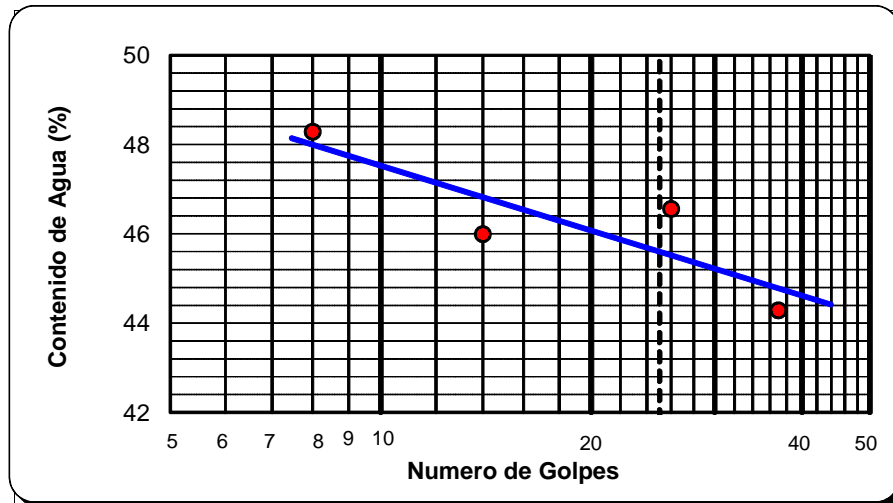
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
SONDEO : ENSAYO No. 2 PROFUNDIDAD:     --     m FECHA: 20 de agosto de 2013

### LÍMITE LÍQUIDO

NO. PRUEBA	NÚMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	37	168	45.20	39.00	25.00	44.29
2	26	171	47.40	40.30	25.05	46.56
3	14	174	46.00	39.40	25.05	45.99
4	8	177	44.10	37.90	25.06	48.29

### LÍMITE PLÁSTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	163	42.40	38.00	25.03	33.92	33.74
2	164	44.60	39.70	25.10	33.56	



WL = 45.59 %  
Wp = 33.74 %  
Ip = 11.84 %  
SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.



## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

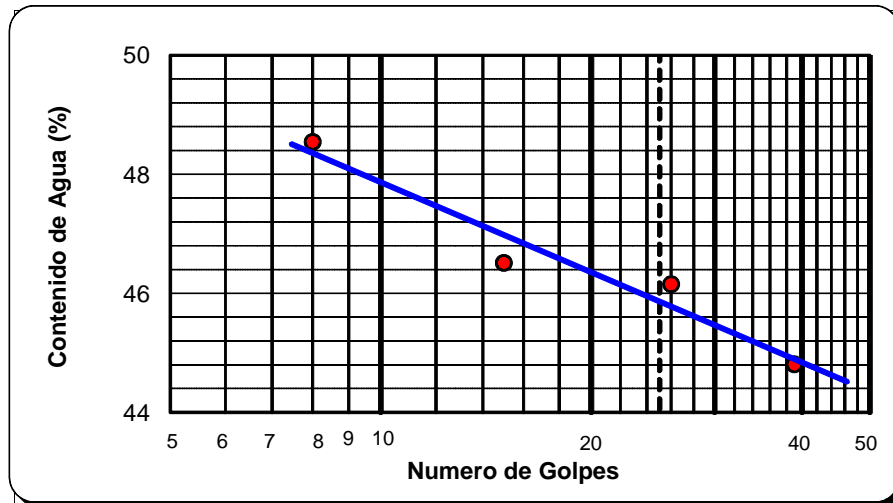
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
SONDEO : ENSAYO No. 3 PROFUNDIDAD:     --     m FECHA: 20 de agosto de 2013

### LÍMITE LÍQUIDO

NO. PRUEBA	NÚMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	39	169	45.30	39.00	24.94	44.81
2	26	172	45.10	38.80	25.15	46.15
3	15	175	45.20	38.80	25.04	46.51
4	8	178	40.40	35.40	25.10	48.54

### LÍMITE PLÁSTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	165	43.60	39.10	25.15	32.26	32.36
2	166	42.60	38.30	25.05	32.45	



WL = 45.86 %  
Wp = 32.36 %  
Ip = 13.50 %  
SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.

### Determinaciones del Laboratorista No. 3

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LIMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

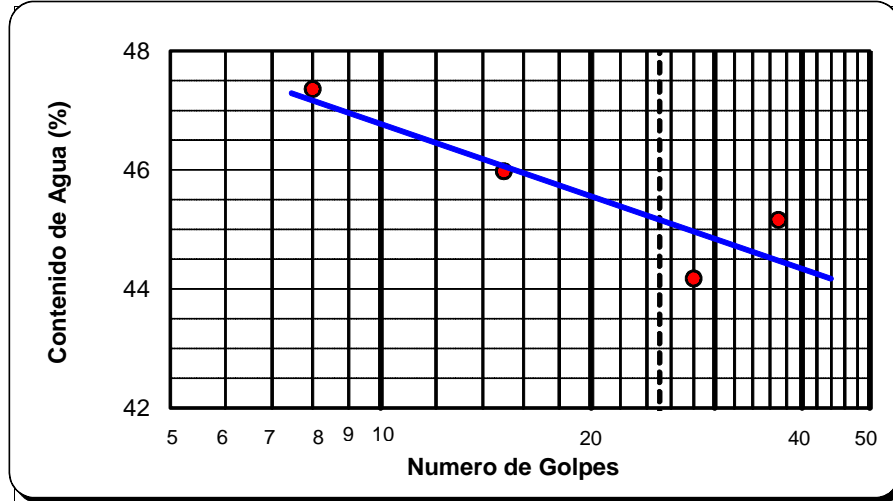
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
SONDEO : ENSAYO No. 1 PROFUNDIDAD: -- m FECHA: 20 de agosto de 2013

#### LIMITE LIQUIDO

NO. PRUEBA	NÚMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	37	171	53.85	44.89	25.05	45.16
2	28	168	50.75	42.86	25.00	44.18
3	15	174	58.80	48.17	25.05	45.98
4	8	177	50.45	42.29	25.06	47.36

#### LIMITE PLASTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	162	34.58	32.39	25.04	29.80	29.00
2	163	32.53	30.88	25.03	28.21	



WL = 45.16 %  
Wp = 29.00 %  
Ip = 16.16 %  
SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LIMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

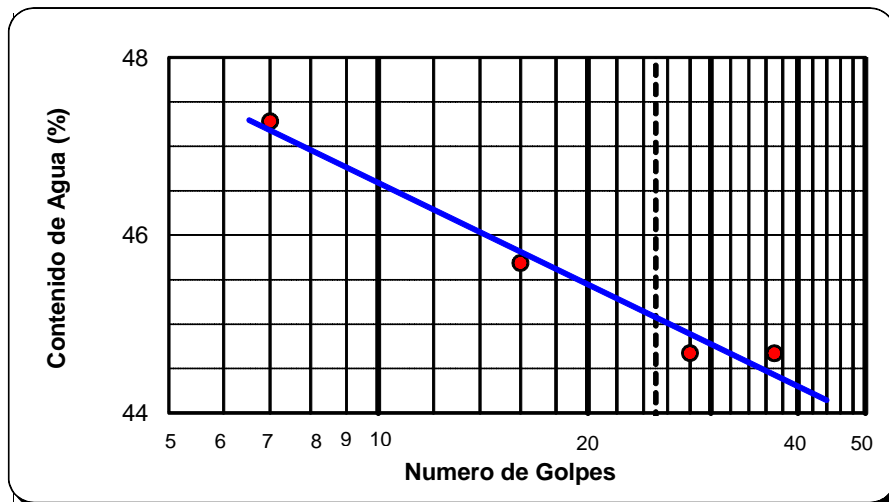
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
SONDEO : ENSAYO No. 2 PROFUNDIDAD: -- m FECHA: 20 de agosto de 2013

### LIMITE LIQUIDO

NO. PRUEBA	NÚMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	37	170	51.81	43.55	25.06	44.67
2	28	167	50.20	42.44	25.07	44.67
3	16	175	58.49	48.00	25.04	45.69
4	7	178	55.44	45.70	25.10	47.28

### LIMITE PLASTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	161	33.66	31.68	24.92	29.29	29.08
2	179	34.68	32.50	24.95	28.87	



WL = 45.07 %  
Wp = 29.08 %  
Ip = 15.99 %  
SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS LIMITES DE PLASTICIDAD

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.6

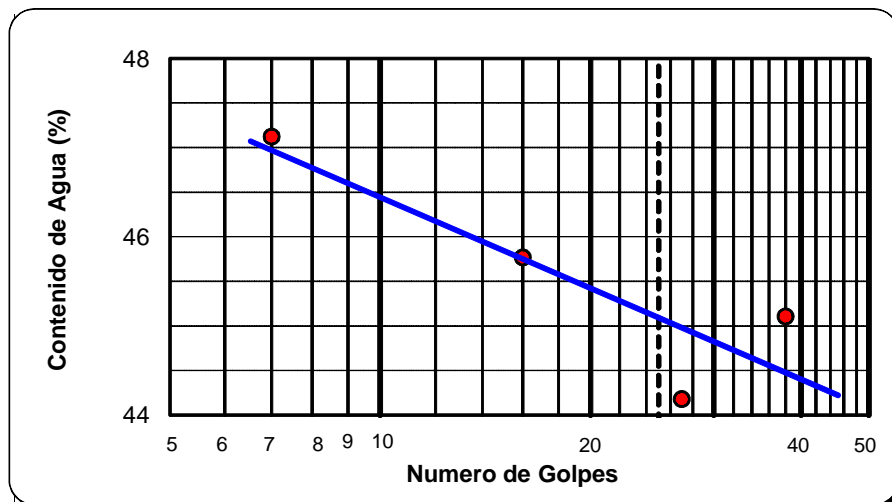
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS LOCALIZACIÓN: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS.  
SONDEO : ENSAYO No. 3 PROFUNDIDAD:     --     m FECHA: 20 de agosto de 2013

### LIMITE LIQUIDO

NO. PRUEBA	NÚMERO DE GOLPES	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	38	172	56.29	46.61	25.15	45.11
2	27	169	52.94	44.36	24.94	44.18
3	16	173	53.30	44.43	25.05	45.77
4	7	176	50.89	42.62	25.07	47.12

### LIMITE PLASTICO

NO. PRUEBA	No. TARA	Whumendo MAS TARA (g)	Wseco MAS TARA (g)	PESO TARA (g)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	164	34.27	32.15	25.10	30.07	29.54
2	180	34.63	32.48	25.07	29.01	



WL = 45.09 %  
Wp = 29.54 %  
Ip = 15.54 %  
SUCS: ML

Observaciones : LA CLASIFICACIÓN SUCS, SE REALIZÓ DE ACUERDO CON LA FIGURA No. 1, CARTA DE PLASTICIDAD.

### 9.3. ENSAYOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO REALIZADOS EN EL LABORATORIO

#### Determinaciones del Laboratorio No. 1

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

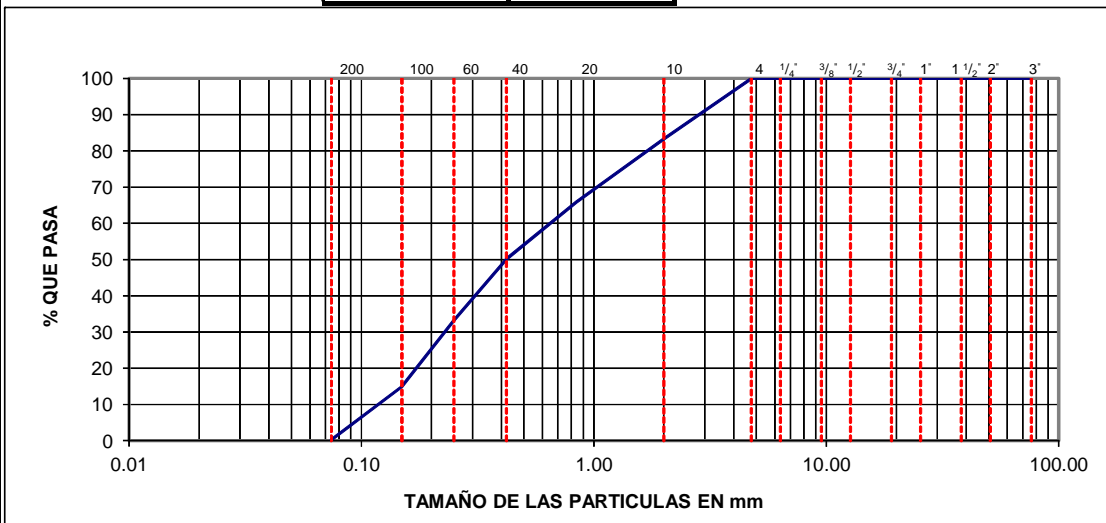
NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS  
 UBICACION: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS SONDEO: ENSAYO No. 1  
 MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: ----- m. FECHA: 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA		OBSERVACIONES
				100.00		
3"	76.200	0.00	0.00	100.00		Análisis efectuado con muestra total de 180.10 g.
2"	50.800	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00		
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00		
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00		
pasa No.4		180.10	-----			
sumas		0.00	0%			

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	
10	2.000	30.16	16.75	83.25	83.25	Análisis efectuado con muestra total de 180.10 g.
20	0.840	31.30	17.38	65.87	65.87	
40	0.420	28.36	15.75	50.13	50.13	
60	0.250	30.49	16.93	33.20	33.20	
100	0.149	32.87	18.25	14.95	14.95	
200	0.074	26.50	14.71	0.23	0%	
pasa 200		0.42	-----			
sumas		179.68	100%			



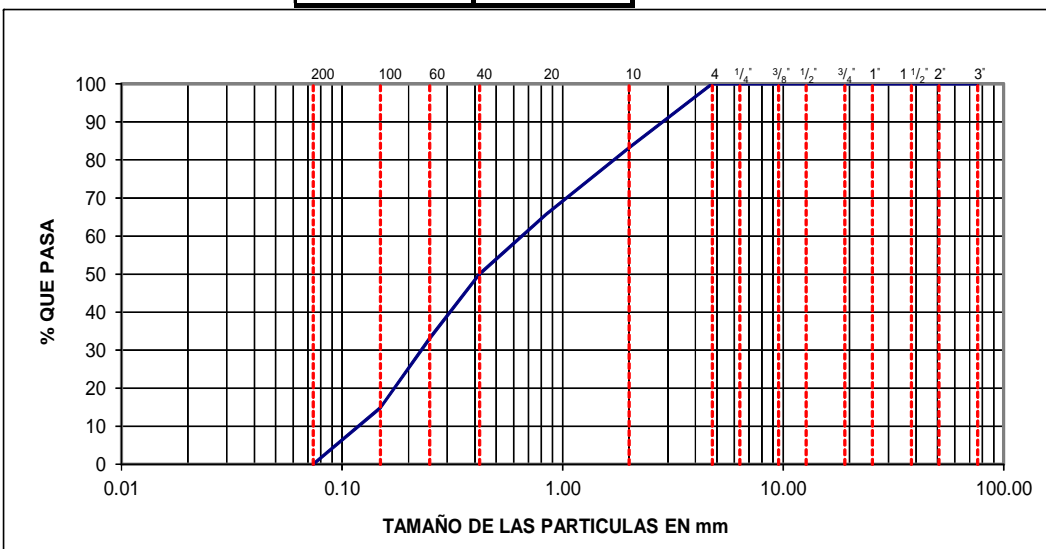
## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS  
 UBICACION: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS SONDEO: ENSAYO No. 2  
 MUESTRA: 2 PROFUNDIDAD: ----- m. FECHA : 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00	
3"	76.200	0.00	0.00	100.00	Análisis efectuado con muestra total de 180.12 g.
2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00	
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00	
pasa No.4		180.12	-----		
sumas		0.00	0%		

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	
10	2.000	30.26	16.80	83.20	83.20	Análisis efectuado con muestra total de 180.12 g.
20	0.840	31.53	17.50	65.70	65.70	
40	0.420	28.14	15.62	50.07	50.07	
60	0.250	30.52	16.94	33.13	33.13	
100	0.149	32.85	18.24	14.89	14.89	
200	0.074	26.56	14.75	0.14	0%	% material menor que 200
pasa 200		0.26	-----			
sumas		179.86	100%			



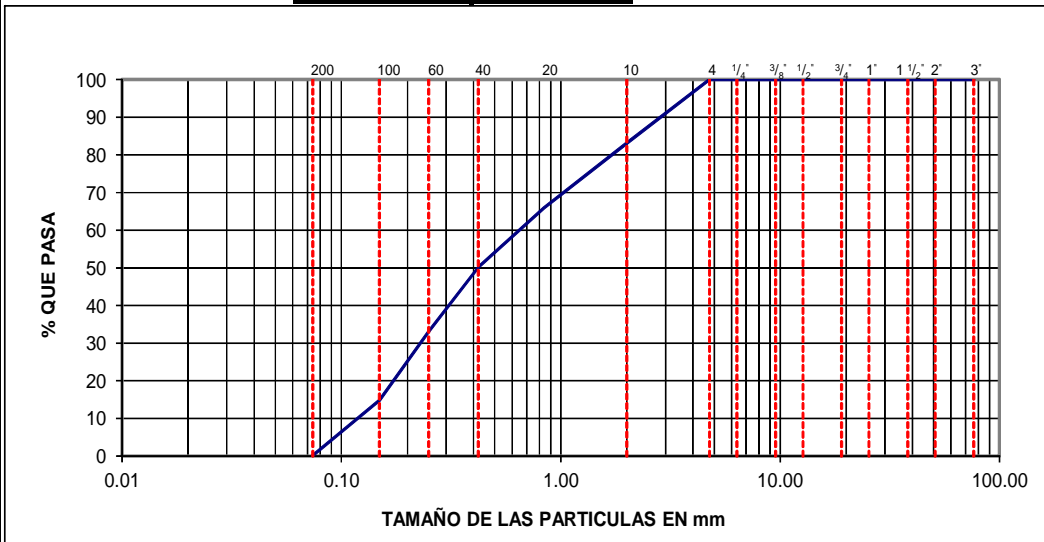
## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

**OBRA:** ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS  
**UBICACION:** LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS **SONDEO:** ENSAYO No. 3  
**MUESTRA:** 3 **PROFUNDIDAD:** ----- m. **FECHA :** 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA		OBSERVACIONES
				100.00		Análisis efectuado con muestra total de 180.06 g.
3"	76.200	0.00	0.00	100.00		
2"	50.800	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00		
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00		
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00		
pasa No.4		180.06	-----			% material menor que No. 4
sumas		<b>0.00</b>	<b>0%</b>			

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	Análisis efectuado con muestra total de 180.06 g.
10	2.000	30.28	16.82	83.18	83.18	
20	0.840	30.97	17.20	65.98	65.98	
40	0.420	28.56	15.86	50.12	50.12	
60	0.250	30.70	17.05	33.07	33.07	
100	0.149	32.68	18.15	14.92	14.92	
200	0.074	26.59	14.77	0.16	<b>0%</b>	
pasa 200		0.28	-----			% material menor que 200
sumas		<b>179.78</b>	<b>100%</b>			



## Determinaciones del Laboratorista No. 2

### LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

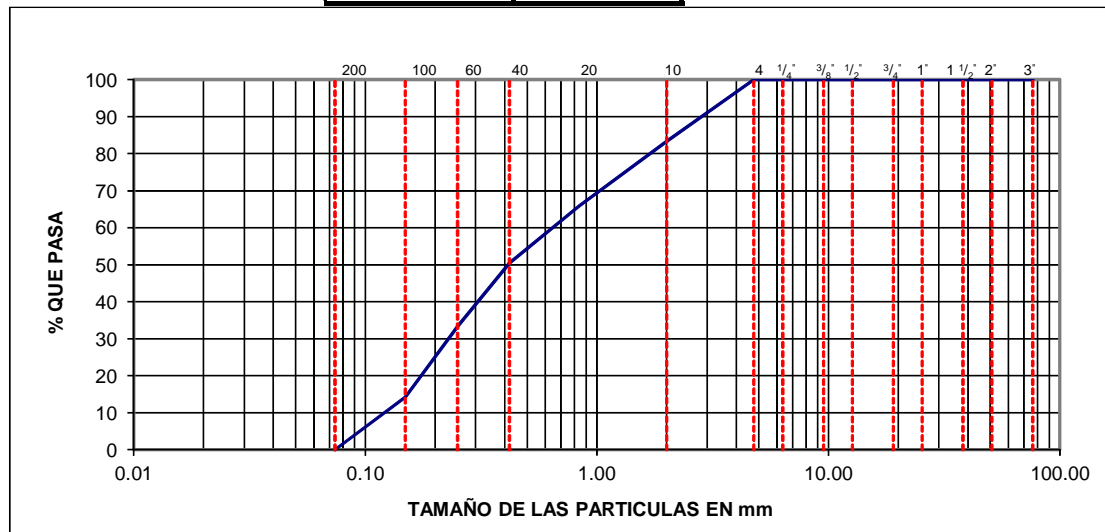
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS

UBICACION: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS SONDEO: ENSAYO No. 1

MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: ----- m. FECHA : 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00	
3"	76.200	0.00	0.00	100.00	Análisis efectuado con muestra total de 180.16 g.
2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00	
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00	
pasa No.4		180.16	-----		
sumas		0.00	0%		

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	
10	2.000	30.03	16.67	83.33	83.33	Análisis efectuado con muestra total de 180.16 g.
20	0.840	31.46	17.46	65.87	65.87	
40	0.420	27.75	15.40	50.47	50.47	
60	0.250	30.86	17.13	33.34	33.34	
100	0.149	34.30	19.04	14.30	14.30	
200	0.074	25.76	14.30	0.00	0%	
pasa 200		0.00	-----			% material menor que 200
sumas		180.16	100%			





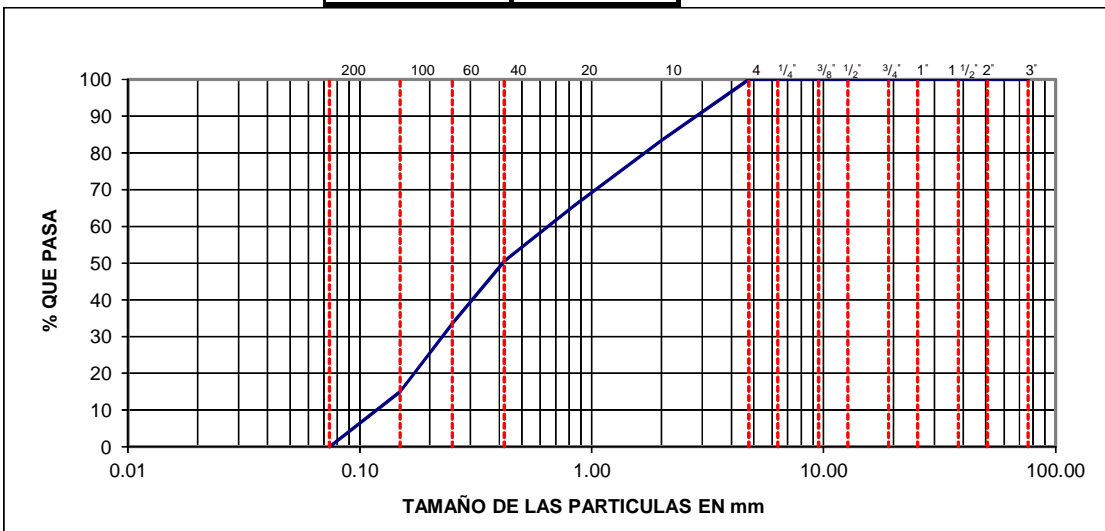
## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS  
 UBICACION: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS SONDEO: ENSAYO No. 2  
 MUESTRA: 2 PROFUNDIDAD: ----- m. FECHA: 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00	
3"	76.200	0.00	0.00	100.00	Análisis efectuado con muestra total de 180.10 g.
2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00	
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00	
pasa No.4		180.10	-----		
sumas		0.00	0%		

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA< No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	
10	2.000	29.87	16.59	83.41	83.41	Análisis efectuado con muestra total de 180.10 g.
20	0.840	32.06	17.80	65.61	65.61	
40	0.420	27.21	15.11	50.51	50.51	
60	0.250	30.70	17.05	33.46	33.46	
100	0.149	33.25	18.46	15.00	15.00	
200	0.074	27.01	15.00	0.00	0%	% material menor que 200
pasa 200		0.00	-----			
sumas		180.10	100%			



## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

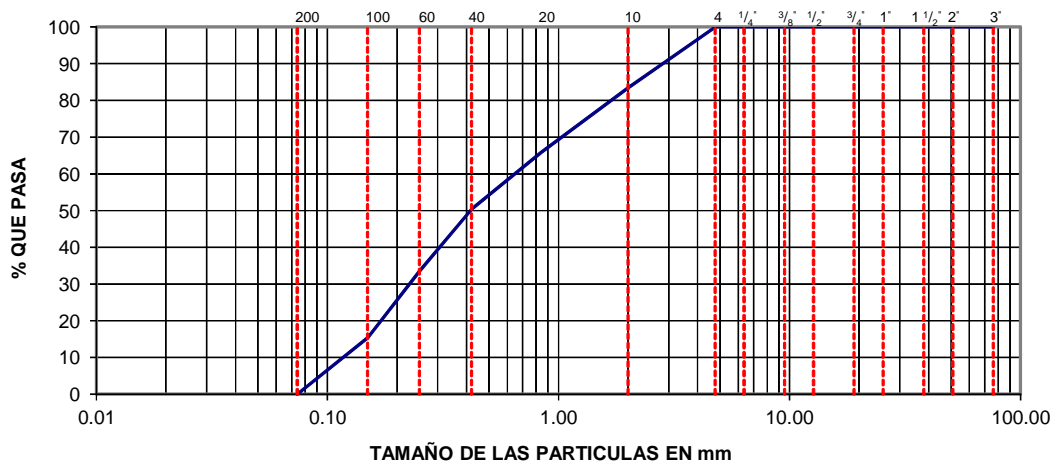
OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TÉCNICOS

UBICACION: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS SONDEO: ENSAYO No. 3

MUESTRA: 3 PROFUNDIDAD: ----- m. FECHA: 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00	
3"	76.200	0.00	0.00	100.00	Análisis efectuado con muestra total de 180.16 g.
2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00	
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00	
pasa No.4		180.16	-----		
sumas		0.00	0%		

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	
10	2.000	29.95	16.62	83.38	83.38	Análisis efectuado con muestra total de 180.16 g.
20	0.840	31.65	17.57	65.81	65.81	
40	0.420	27.76	15.41	50.40	50.40	
60	0.250	30.40	16.87	33.53	33.53	
100	0.149	32.78	18.19	15.33	15.33	
200	0.074	27.62	15.33	0.00	0%	% material menor que 200
pasa 200		0.00	-----			
sumas		180.16	100%			



G= 0%  
S= 100%  
F= 0%

### Determinaciones del Laboratorista No. 3

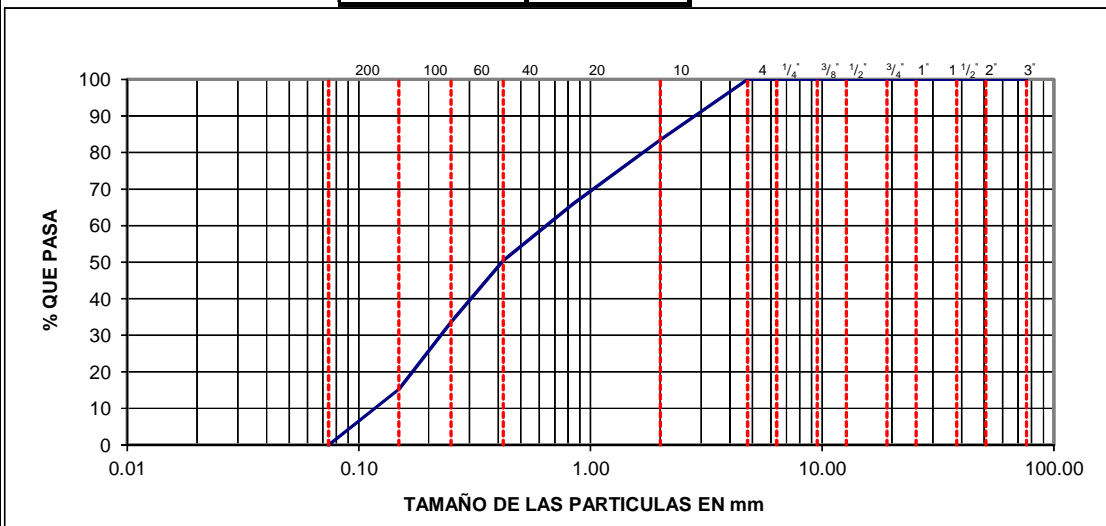
## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TECNICOS  
 UBICACION: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS SONDEO: ENSAYO No. 1  
 MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: ----- m. FECHA: 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00	
3"	76.200	0.00	0.00	100.00	Análisis efectuado con muestra total de 180.17 g.
2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00	
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00	% material menor que No. 4
pasa No.4		180.17	-----		
sumas		<b>0.00</b>	<b>0%</b>		

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	
10	2.000	29.90	16.60	83.40	83.40	Análisis efectuado con muestra total de 180.17 g.
20	0.840	31.46	17.46	65.94	65.94	
40	0.420	27.97	15.52	50.42	50.42	
60	0.250	30.11	16.71	33.71	33.71	
100	0.149	33.23	18.44	15.26	15.26	
200	0.074	27.39	15.20	0.06	<b>0%</b>	% material menor que 200
pasa 200		0.11	-----			
sumas		<b>180.06</b>	<b>100%</b>			



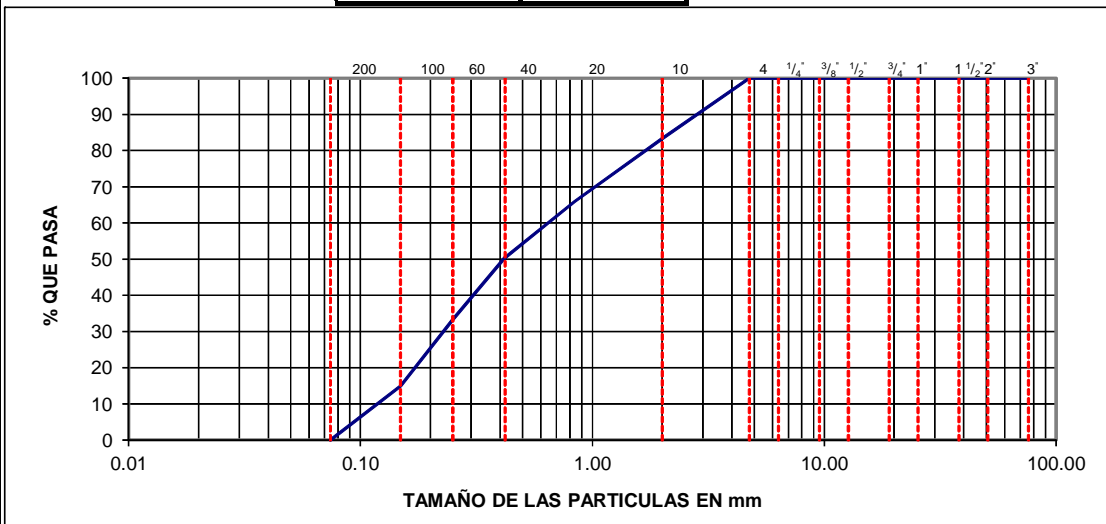
## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TECNICOS  
 UBICACION: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS SONDEO: ENSAYO No. 2  
 MUESTRA: 2 PROFUNDIDAD: ----- m. FECHA : 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00	
3"	76.200	0.00	0.00	100.00	Análisis efectuado con muestra total de 180.15 g.
2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00	
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00	
pasa No.4		180.15	-----		
sumas		0.00	0%		

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA< No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	
10	2.000	30.04	16.67	83.33	83.33	Análisis efectuado con muestra total de 180.15 g.
20	0.840	31.27	17.36	65.97	65.97	
40	0.420	28.00	15.54	50.42	50.42	
60	0.250	30.82	17.11	33.32	33.32	
100	0.149	33.03	18.33	14.98	14.98	
200	0.074	26.89	14.93	0.06	0%	% material menor que 200
pasa 200		0.10	-----			
sumas		180.05	100%			



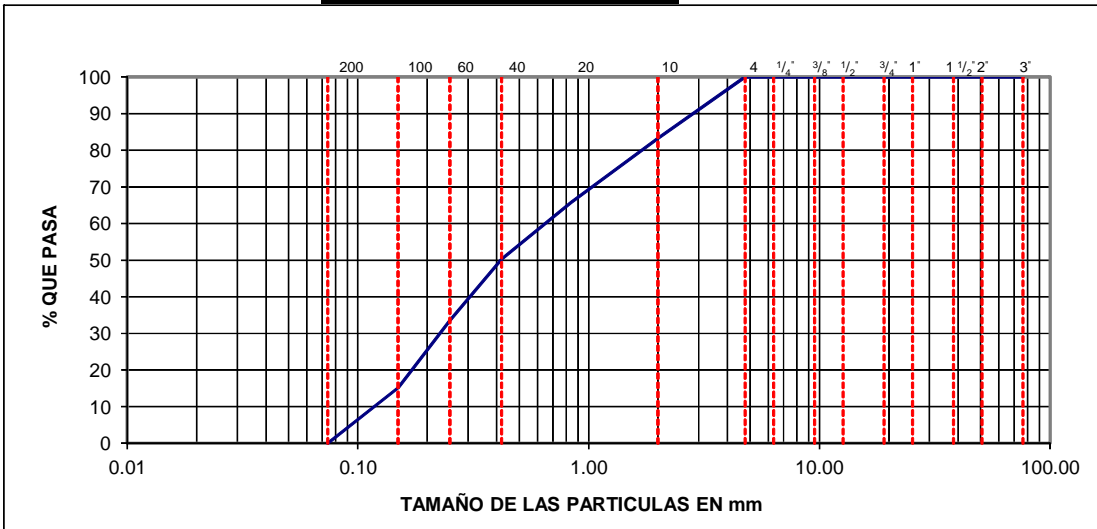
## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA POR MALLAS

NORMA  
NMX-C-416-ONCCE-2003, CAP.5

OBRA: ENSAYO DE APTITUD ENTRE TECNICOS  
 UBICACION: LABORATORIO CENTRAL DE MECÁNICA DE SUELOS SONDEO: ENSAYO No. 3  
 MUESTRA: 3 PROFUNDIDAD: ----- m. FECHA: 20-ago-2013

MALLA	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	ACUMULATIVO % QUE PASA	OBSERVACIONES
				100.00	
3"	76.200	0.00	0.00	100.00	Análisis efectuado con muestra total de 180.12 g.
2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	0.00	0.00	100.00	
No. 4	4.760	0.00	0.00	100.00	
pasa No.4		180.12	-----		
sumas		0.00	0%		

MALLA	ABERTURA mm	MASA RETENIDA g	% PARCIAL RETENIDO	% ACUM. QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA < No.4	MUESTRA TOTAL	
				100.00	100.00	
10	2.000	30.09	16.71	83.29	83.29	Análisis efectuado con muestra total de 180.12 g.
20	0.840	31.55	17.52	65.78	65.78	
40	0.420	27.83	15.45	50.33	50.33	
60	0.250	30.20	16.77	33.56	33.56	
100	0.149	33.20	18.43	15.13	15.13	
200	0.074	27.15	15.07	0.06	0%	
pasa 200		0.10	-----			% material menor que 200
sumas		180.02	100%			



#### 9.4. TABLAS DE REFERENCIAS NORMAS ASTM.

**Tabla No. 10 Resumen De Resultados De Pruebas de Laboratorios De Ensayo Por Triplicado.**

(1) Number of Triplicate Test Labs			(2) Test Value <sup>A</sup> (Units)	(3) Average Value <sup>B</sup>			(4) Standard Deviation <sup>C</sup>			(5) Acceptable Range of Two Results <sup>D,E</sup>		
<i>Soil Type:</i>												
CH	CL	ML		CH	CL	ML	CH	CL	ML	CH	CL	ML
<i>Single-Operator Results (Within-Laboratory Repeatability):</i>												
11	12	11	$\gamma_{d,max}$ (pcf)	97.2	109.2	106.3	0.5	0.4	0.5	1.3	1.2	1.3
11	12	11	$w_{opt}$ (%)	22.8	16.6	17.1	0.2	0.3	0.3	0.7	0.9	0.9
<i>Multilaboratory Results (Between-Laboratory Reproducibility):</i>												
11	12	11	$\gamma_{d,max}$ (pcf)	97.2	109.2	106.3	1.4	0.8	0.6	3.9	2.3	1.6
11	12	11	$w_{opt}$ (%)	22.8	16.6	17.1	0.7	0.5	0.5	1.8	1.5	1.3

**Tabla No. 11 De Precisión De Estimaciones Límites De Plasticidad**

Material and Type Index	Standard Deviation <sup>B</sup>	Acceptable Range of Two Results <sup>B</sup>
<i>Single-operator precision:</i>		
Liquid Limit	0.8	2.4
Plastic Limit	0.9	2.6
<i>Multilaboratory precision:</i>		
Liquid Limit	3.5	9.9
Plastic Limit	3.7	10.6

<sup>A</sup> The figures given in Column 2 are the standard deviations that have been found to be appropriate for the test results described in Column 1. The figures given in Column 3 are the limits that should not be exceeded by the difference between the two properly conducted tests.

<sup>B</sup> These numbers represent, respectively, the (1S) and (D2S) limits as described in Practice C 670.

**Tabla No. 12 De Precisión De Estimaciones Para  
Análisis Granulométrico**

	Total Percentage of Material Passing		Standard Deviation (1s), % <sup>A</sup>	Acceptable Range of Test Results (d2s) % <sup>A</sup>	Test Meth Total m
	<	≥			
<i>Coarse Aggregate:<sup>B</sup></i>					
Single-operator precision	<100	≥95	0.32	0.9	Total m
	<95	≥85	<u>0.81</u>	2.3	
	<85	≥80	1.34	3.8	
	<80	≥60	2.25	6.4	Total m
	<60	≥20	<u>1.32</u>	3.7	
	<20	≥15	0.96	2.7	
	<15	≥10	1.00	2.8	
<10	≥5	0.75	2.1	Total m	
<5	≥2	0.53	1.5		
<2	>0	<u>0.27</u>	0.8		
Multilaboratory precision	<100	≥95	0.35	1.0	Total m
	<95	≥85	<u>1.37</u>	3.9	
	<85	≥80	1.92	5.4	
	<80	≥60	2.82	8.0	Total m
	<60	≥20	<u>1.97</u>	5.6	
	<20	≥15	<u>1.60</u>	4.5	Total m
	<15	≥10	1.48	4.2	
	<10	≥5	1.22	3.4	
	<5	≥2	1.04	3.0	
<2	>0	<u>0.45</u>	1.3		
<i>Fine Aggregate:</i>					
Single-operator precision	<100	≥95	0.26	0.7	
	<95	≥60	<u>0.55</u>	1.6	
	<60	≥20	<u>0.83</u>	2.4	
	<20	≥15	<u>0.54</u>	1.5	
	<15	≥10	<u>0.36</u>	1.0	
	<10	≥2	<u>0.37</u>	1.1	
	<2	>0	0.14	0.4	
Multilaboratory precision	<100	≥95	0.23	0.6	(I) Re
	<95	≥60	<u>0.77</u>	2.2	
	<60	≥20	<u>1.41</u>	4.0	
	<20	≥15	1.10	3.1	(I) A
	<15	≥10	<u>0.73</u>	2.1	
	<10	≥2	<u>0.65</u>	1.8	
<2	>0	0.31	0.9		

<sup>A</sup> These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits described in Practice C670.

<sup>B</sup> The precision estimates are based on aggregates with nominal maximum size of 19.0 mm (¾ in.).

## 10. REFERENCIAS.

- NMX-CH-140-IMNC-2002                      Guía Para La Expresión De Incertidumbre En Las Mediciones.
- NMX-CH-5725-IMNC-2006                      Guía Para La Expresión De Incertidumbre En Las Mediciones.
- NMX-EC-17025-IMNC-2006      Criterios para la aplicación.
- NMX-C-416-ONNCCE-2003      Capítulo 4. Método de prueba para la determinación del contenido de agua en materiales térreos.
- NORMA ASTM-D4218                      Métodos de Pruebas Estándar para líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- NMX-C-084-0NNCCE-2003      Método de prueba para determinar las partículas más finas que la criba 0.075 mm (No. 200) por lavado.
- GARCIA TERÁN E.                      Acreditamiento de un laboratorio de Mecánica de Suelos. XIX Reunión Nacional de Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., Puebla México, 1998.
- SIV CHIRINOS J.                      El Aseguramiento de Calidad en Laboratorios Geotecnia.
- ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN EN MÉTODOS DE PRUEBA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN (REFERNCIA CURSO IMCYC).
- ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN EN MÉTODOS DE PRUEBA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN (REFERENCIA CURSO IMCYC).



## GLOSARIO.

**Contenido de agua.** Es la relación existente entre la masa que pierde la muestra al someterla a un proceso de secado a una temperatura de  $(110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C})$  y la masa de las partículas sólidas que tiene la muestra después de someterla a dicho proceso hasta lograr la masa constante, expresado en porciento.

**Muestra representativa.** Es aquella muestra en donde la cantidad de material en estudio es pequeña, por lo que se efectúa la prueba con todo el material.

**Muestra inalterada.** Es aquella en la que se conserva la estructura, contenido de vacíos y el contenido de agua que tiene el suelo del lugar donde se obtiene.

**Muestra alterada.** Es aquella que está constituida por el material disgregado o fragmentado en la que no se requiere conservar las características de estructura, relación de vacíos y contenido de agua.

**Análisis granulométrico.** Consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas de un suelo retenidas en una sucesión de mallas, expresando los pesos retenidos en cada malla como porcentajes del peso total de la muestra.

**Límite Líquido (LL):** Constituye el contenido de agua de una muestra de suelos que se considera la frontera convencional entre el estado de comportamiento semilíquido y el estado de comportamiento plástico del suelo, en condiciones remoldeadas.

**Límite Plástico (LP):** Constituye el contenido de agua de una muestra de suelo que se considera la frontera convencional entre el estado de comportamiento plástico y el estado de comportamiento semisólido del suelo, en condiciones remoldeadas.

**Índice de plasticidad (IP):** Es la diferencia encontrada entre el límite líquido y el límite plástico, y es la medida de la plasticidad del suelo.

**Calidad:** Grado en que el conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.

**Sistema:** Conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan.

**Sistema de gestión:** Sistema para establecer la política y los objetivos y para lograr dichos objetivos.

**Política de calidad:** Intenciones globales y orientación de una organización relativas a la calidad tal como se expresan formalmente por la alta dirección.

**Control de la calidad:** Parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad.

**Incertidumbre:** Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

**Trazabilidad:** Capacidad para seguir la historia, aplicación o localización de todo aquello que está bajo consideración.

**Mensurando:** Magnitud que se desea medir.

**Precisión:** Grado de concordancia existente entre los resultados de ensayo independientes, obtenidos en condiciones estipuladas.

**Verificación:** Confirmación mediante la aportación de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados.

**Ensayo/ prueba:** Determinación de una o más características de acuerdo con un procedimiento.

**Condición de Repetibilidad de una medición:** Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.

**Condición de reproducibilidad de una medición:** Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares.

**Ensayo de aptitud:** Evaluación del desempeño de los participantes con respecto a los criterios previamente establecidos a través de comparaciones interlaboratorios.

**ema:-** Entidad Mexicana de Acreditación