

ANEXO I

NORMA DEL PERMEÁMETRO DE

COMPACTACIÓN H - 4146

ASTM - D5856



NORMA ASTM D 5856 – 95 (Actualización 2007)

Método de prueba estándar para medición de la Conductividad Hidráulica del material poroso.

Uso de un Permeámetro de molde de Compactación de pared rígida.

Esta norma se expide con la designación fija D 5856; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última re-aprobación. El superíndice épsilon (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación.

1. Alcance.

1.1. Este método de prueba cubre la medición de laboratorio de la conductividad hidráulica (también conocida como coeficiente de permeabilidad) de materiales compactados en laboratorio con una pared rígida, permeámetro de molde de compactación.

1.2. Este método de prueba puede ser utilizado con especímenes compactados en laboratorio que tienen una conductividad hidráulica menor o igual a $1 \times 10^{-5} \text{ m / s}$.

La conductividad hidráulica de materiales compactados que tienen conductividades hidráulicas mayores de $1 \times 10^{-5} \text{ m / s}$ se puede determinar por el Método de prueba D 2434.

1.3. Los valores declarados en unidades SI deben considerarse como los estándares, a menos que se den otras unidades específicamente. Por tradición en la práctica estadounidense, la conductividad hidráulica se informa en centímetros por segundo, aunque las unidades SI comunes para la conductividad hidráulica es de metros por segundo.

1.4. Esta norma no pretende referirse a todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma para establecer

prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Documentos referenciados.

2.1. Normas ASTM:

D 653 Terminología relacionada con el suelo, la roca y el contenido de fluidos.

D 698 Métodos de prueba para características de compactación de laboratorio del suelo usando esfuerzo estándar (12.400 ft-lbf / ft³ (600 kN-m / m³)).

D 854 Métodos de prueba para la gravedad específica de sólidos del suelo por picnómetro de agua.

D 1557 Métodos de prueba para características de compactación de laboratorio del suelo usando esfuerzo modificado (56,000 ft-lbf / ft³) (2,700 kN-m / m³)).

D 2216 Métodos de prueba para la determinación de contenido agua en laboratorio (Humedad) de suelo y roca en masa.

D 2434 Método de prueba para la permeabilidad de suelos granulares (Cabeza constante).

D 4753 Guía para evaluar, seleccionar y especificar balanzas y masas estándar para uso en suelo, roca y pruebas de materiales de construcción.

D 5084 Métodos de prueba para medir la conductividad hidráulica de materiales porosos saturados utilizando un permeámetro de pared flexible.

E 145 Especificación para hornos de convección por gravedad y ventilación forzada.

3. Terminología.

3.1. Definiciones de términos específicos de esta norma.

3.1.1. Flujo: Cantidad de flujo por unidad de área por unidad de tiempo.

3.1.2. Conductividad hidráulica, k: La tasa de descarga de agua bajo condiciones de flujo laminar a través de una unidad transversal de área de un medio poroso debajo de una unidad hidráulica con condiciones de gradiente y temperatura estándar (20 ° C).

3.1.2.1. Discusión: El término coeficiente de permeabilidad es de uso general en lugar de conductividad hidráulica, pero la conductividad hidráulica se usa exclusivamente en este método de prueba.

Una discusión más completa de la terminología asociada con la ley Darcy está dada en la literatura.

3.1.3. Volumen de flujo de poro: la cantidad acumulada de flujo de salida de un espécimen de prueba dividida por el volumen de espacio de poro en la muestra.

3.1.4. Para las definiciones de otros términos utilizados en este método de prueba véase la terminología D 653.

4. Significado y uso.

4.1. Este método de prueba se aplica a un flujo de agua laminar unidimensional dentro de materiales porosos compactados en laboratorio como el suelo.

4.2. La conductividad hidráulica de materiales porosos en general disminuye con una cantidad creciente de aire en los poros del material. Este método de prueba se aplica a materiales porosos que contiene poco o nada de aire.

El método de prueba está diseñado para minimizar la cantidad de aire en la muestra de ensayo.

Sin embargo, este método de prueba no garantiza la saturación completa de la prueba con agua. En los casos en que sea imprescindible saturar la muestra de prueba completamente con agua, la muestra compactada puede ser probado usando el Método de Prueba D 5084.

4.3. Este método de prueba se aplica a la permeabilidad de materiales porosos con agua.

Permeabilidad con otros líquidos, tales como residuos químicos, pueden lograrse utilizando procedimientos similares a los descritos en este método de prueba. Sin embargo, esta prueba solo está destinado a ser utilizado cuando el agua es el líquido permeable.

4.4. Se supone que la ley de Darcy es válida y que la conductividad hidráulica no se ve afectada esencialmente por la gradiente hidráulica.

La validez de la ley de Darcy puede ser evaluada por la medición de la conductividad hidráulica de la muestra a los tres gradientes hidráulicos; si todos los valores medidos son similares (dentro de 25%), entonces la ley de Darcy puede tomarse como válida. Sin embargo, cuando el gradiente hidráulico que actúa sobre un espécimen de ensayo se cambia, el estado de estrés también cambiará, y, si el espécimen o poro del fluido es compresible, el volumen de la muestra de ensayo o poro del fluido cambiará.

Así, por lo tanto, puede ocurrir algún cambio en la conductividad hidráulica cuando se modifica el gradiente hidráulico, incluso cuando la ley de Darcy es válida.

4.5. Un problema potencial con este método de prueba es la posibilidad de que el agua fluya a lo largo de la interfaz entre la muestra de ensayo y el anillo de compactación / permeámetro.

El problema tiende a ser de mínima importancia para los materiales que comienzan a hincharse cuando se exponen al agua (por ejemplo, suelos arcillosos compactados) pero puede ser un problema muy serio para materiales que podría tender a encogerse y alejarse de las paredes del permeámetro.

El Método de prueba D 5084 se recomienda para cualquier material que tiende a encogerse cuando se expone al líquido permeable.

4.6. La correlación entre los resultados obtenidos con esta prueba y las conductividades hidráulicas de los materiales compactados in situ, no han sido totalmente investigados.

La Experiencia a veces ha demostrado que los patrones de flujo en pequeños, preparados por el laboratorio, las muestras de prueba no siguen necesariamente los mismos patrones en grandes escalas de campo y que las conductividades hidráulicas medidas en pequeñas muestras de prueba no son necesariamente lo mismo como valores de mayor escala. Por lo tanto, los resultados deben ser aplicados a atender situaciones con cautela y por personal calificado.

5. Aparato.

5.1. Sistema hidráulico: Cabeza constante (método de prueba A), cabeza descendente (métodos de prueba B, C y D), o tasa constante de los sistemas de flujo (Método de prueba E), pueden usarse siempre que cumplan los criterios que se resumen a continuación:

5.1.1. Cabeza constante: El sistema debe ser capaz de mantener una presión hidráulica constante o cabezal hasta (+/-) 5% e incluirá medios para medir presiones hidráulicas o se dirige a la tolerancia prescrita. Además, la pérdida de cabeza a través de la muestra de ensayo debe mantenerse constante hasta (+/-) 5% y se medirá con la misma precisión o mejor.

Las presiones se medirán con un medidor de presión, transductor electrónico de presión, o cualquier otro dispositivo de precisión adecuada.

La cabeza del líquido en un tubo vertical se puede medir con una pipeta graduada, regla, escala u otro dispositivo con adecuada exactitud.

5.1.2. Caída de cabeza: El sistema debe permitir la medición de la pérdida de carga aplicada, por lo tanto, el gradiente hidráulico, debe estar entre (+/-) 5% o mejor en cualquier momento.

Además, la relación de pérdida de carga inicial dividida por la pérdida de carga final en un intervalo de tiempo se medirá de modo que esta relación calculada sea precisa dentro (+/-) 5%.

La pérdida de carga se medirá con un medidor de presión, transductor de presión electrónico, escala de ingeniero, pipeta graduada, o cualquier otro dispositivo de precisión adecuada.

Las pruebas de caída de cabeza se pueden realizar con una constante elevación del agua de la cola (Método de prueba B), creciente elevación de agua de cola (Método de prueba C), o aumento de la elevación del agua de cola (Prueba Método D).

5.1.3. Velocidad constante de flujo: el sistema debe ser capaz de mantener una tasa constante de flujo a través de la muestra dentro del (+/-) 5% o mejor. La medición o control de flujo debe ser por jeringa calibrada, pipeta graduada u otro dispositivo de precisión adecuada. La pérdida de cabeza a través del espécimen será medida con una precisión de (+/-) 5% o más usando un transductor electrónico de presión u otro dispositivo de precisión adecuada.

Debe incluirse un medio para asegurar que la cabeza que se está midiendo no se vea afectada por la fuga de la pared lateral. Más información sobre las pruebas con una tasa de flujo constante se dan en la literatura.

5.2. Sistema de medición de flujo: serán medidos o controlados tanto de entrada como de salida de volúmenes. Los volúmenes de flujo deben medirse por un acumulador graduado, pipeta graduada, cilindro graduado, tubo vertical en conjunción con un transductor de presión electrónico, botella de marriotte u otro dispositivo de medición de volumen de precisión adecuada.

Para pruebas de largo plazo, las pérdidas por evaporación pueden ser significativas y deben ser contabilizado utilizando un procedimiento de corrección adecuado.

5.2.1. Precisión de flujo: La precisión requerida para la cantidad de flujo medido en un intervalo de tiempo es (+/-) 5% o mejor.

5.2.2. Pérdidas de carga: Las pérdidas de la cabeza en los tubos, válvulas, piezas porosas finales, y el papel del filtro puede dar lugar a un error. Para proteger contra tales errores, el permeámetro se ensamblará sin espécimen en el interior (pero con algún extremo o lámina porosa o hojas de papel de filtro que se utilizará) y luego el sistema hidráulico lleno.

Si se va a utilizar una prueba de cabeza constante o descendente, se aplicará las presiones hidráulicas o cabezales que se utilizarán en las pruebas de la muestra, y la tasa de flujo medida con una precisión de (+/-) 5% o superior. Esta tasa de flujo será al menos diez veces mayor que la tasa de flujo que se mide cuando una muestra ha sido compactada dentro del permeámetro y se aplican las mismas presiones o cabezas hidráulicas.

Si se utilizará la prueba de tasa de flujo constante, la tasa de flujo a ser utilizado en la prueba de una muestra se suministrará al permeámetro y se debe medir la pérdida de carga. La pérdida de carga sin espécimen será inferior a 0,1 veces la pérdida de carga cuando un espécimen es presente.

5.3. Celda del permeámetro: La celda del permeámetro consistirá de un molde de compactación de pared rígida en el cual el material de la prueba es compactado y en la cual el material compactado es permeado y dos placas finales para controlar el flujo dentro

y fuera de él espécimen de prueba. El anillo de oleaje se puede proporcionar como se discute en 5.3.2.

El permeámetro se diseñará y operará de modo que el agua se filtra hacia abajo a través de la muestra de prueba, aunque se puede usar un flujo ascendente si la parte superior de la muestra está protegida del movimiento ascendente por un elemento poroso rígido.

5.3.1. Molde de compactación / anillo del permeámetro: El molde de compactación / el anillo de permeámetro se construirá de un material rígido que no será dañado durante la compactación de la prueba y que no sufrirá reacciones químicas adversas con el material de prueba o agua impregnada. Materiales tales como acero, aluminio, latón, plástico y vidrio se han utilizado.

El molde deberá ser suficientemente rígido para que su expansión cuando el permeámetro está presurizado sea despreciablemente pequeña.

El molde puede tener cualquier forma cilíndrica siempre que: el área de la sección transversal a lo largo de la dirección del flujo no varía en más del (+/-) 2%; la altura y el diámetro son cada uno > 25 mm; la altura no varía en más del (+/-) 1%, y el tamaño más grande de partículas y trozos en el espécimen compactado es $< 1/6$ el menor de la altura o diámetro.

5.3.2. Anillo de expansión: La parte superior del permeámetro puede estar diseñado para funcionar de una de tres maneras: (1) para no permitir restricción contra la expansión (ver Fig. 1), en cuyo caso un anillo de expansión separa el molde de compactación / anillo permeámetro de la placa superior; (2) para no permitir la expansión de la muestra de prueba (ver Fig.2), en cuyo caso no se proporciona un anillo de expansión; o (3) para controlar la tensión vertical que se aplica a la muestra de prueba (ver Fig. 3), en cuyo caso se puede o no necesitar un anillo de expansión, dependiendo de cómo esté diseñada la placa superior y cómo se aplica la tensión vertical. Si se usa un anillo de expansión, será construido de un material rígido que no reaccionará adversamente con el material de prueba o agua de filtración, tendrá el mismo diámetro o ancho como el molde de compactación / anillo permeámetro, y debe ser lo suficientemente alto para permitir la expansión libre de la prueba o para acomodar aparatos de control de arena.

Se puede colocar arena en el anillo de expansión para minimizar la erosión de la muestra a partir de la medición de las pérdidas de carga en el permeámetro. (ver 5.2.2).

5.3.3. Aparato de control de tensión: Si la superficie superior de la muestra de ensayo compactada se somete a un control vertical controlado, la tensión se aplicará a través de una placa rígida utilizando cualquier medio que mantenga la tensión dentro del (+/-) 5% del valor deseado.

5.3.4. Placa inferior: La placa inferior se construirá de material rígido que no reacciona adversamente con la prueba o líquido permeante.

La placa debe servir para evitar que la muestra de ensayo se expanda hacia abajo, apoyando la muestra de ensayo, recogiendo el líquido del efluente de la base de la muestra de ensayo, y asegurando un flujo unidimensional cerca del extremo efluente de la muestra de ensayo.

La placa base deberá ser sellada al molde de compactación / anillo permeámetro, por ejemplo, con una junta tórica, para evitar fugas.

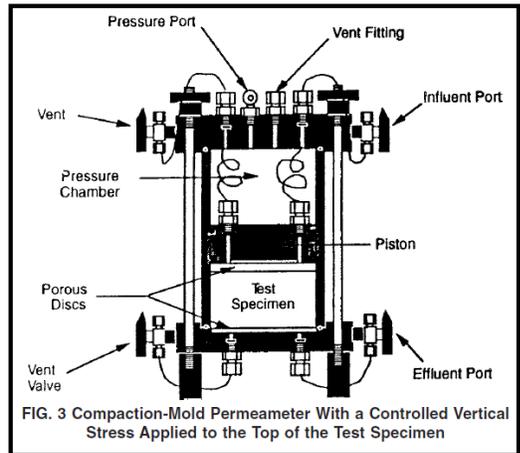
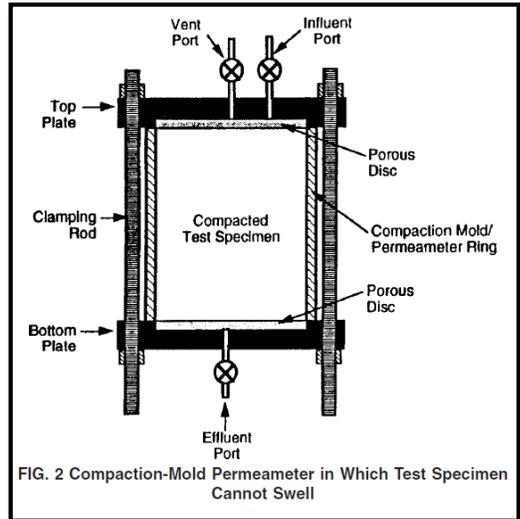
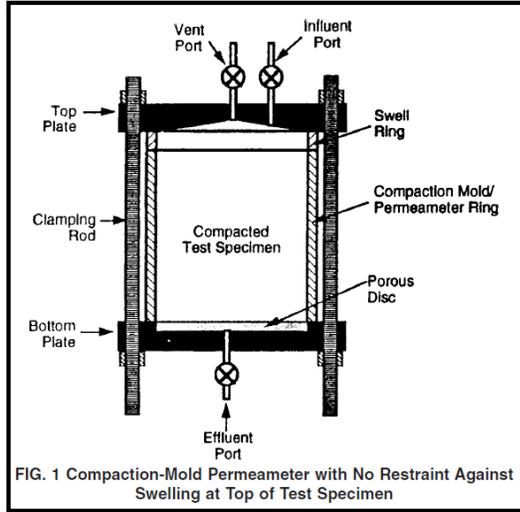
Controles de fugas, realizado sin suelo en la celda, son útiles para asegurar adecuación de los sellos.

El examen cuidadoso del sello es particularmente importante cuando el aparato es desmontado y reensamblado durante la prueba.

La placa inferior contendrá un material poroso (como plástico poroso, metal poroso, corindón poroso, o arena bien compactada) que es mucho más permeable que la muestra de prueba (5.2.2 asegura que este es el caso) y que tiene el mismo diámetro o ancho total que la muestra de prueba.

Dos diseños de placa base son aceptables:

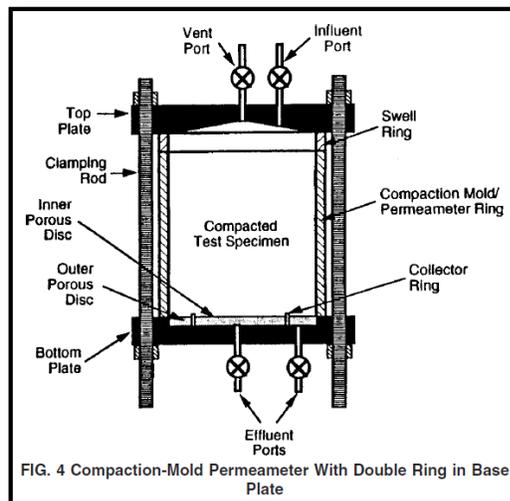
5.3.4.1. Anillo simple: este diseño (Fig. 1, Fig. 2 y Fig. 3) consiste en un solo material poroso con el mismo diámetro o ancho como el espécimen de prueba.



5.3.4.2 Anillo doble: con este diseño (ver Fig. 4), el flujo de salida de la parte central de la muestra se separa del flujo cerca de las paredes laterales de la placa base. El sistema será diseñado de modo que el anillo colector (ver Fig. 4) sobresalga aproximadamente 3 mm en la muestra de prueba y separe completamente el flujo que ingresa a la placa base a través de la zona interior del flujo que ingresa a la zona exterior.

Se debe usar un anillo delgado con un borde afilado para evitar la perturbación del suelo durante la instalación.

NOTA 1: El anillo doble se prefiere sobre el anillo simple porque el anillo doble proporciona un medio para identificar mediciones erróneas causado por fugas en la pared lateral. A menos que el solicitante solicite específicamente una placa base de anillo simple, se utilizará la placa base de doble anillo.



5.3.5. Placa superior: La placa superior se construirá de materiales rígidos que no reaccionan adversamente con el material de prueba o agua impregnada. La placa superior estará sellada al molde de compactación / anillo permeámetro o anillo de expansión (si está presente) de forma que evite las fugas. Pruebas de fugas, realizadas sin el suelo en el molde, son útiles para asegurar la adecuación de los sellos.

La placa debe estar diseñada para garantizar que el flujo a través de la muestra de la prueba sea unidimensional.

5.4. Papel de filtro: Si es necesario para evitar la intrusión de material en los poros de las piezas finales porosas, se colocarán una o más hojas de papel de filtro entre las piezas del extremo poroso superior e inferior y la muestra.

El papel tiene una impedancia hidráulica insignificante. Los requisitos en 5.2.2 aseguran que la impedancia es pequeña.

5.5. Equipo para compactar una muestra: Se utilizará el equipo adecuado (incluyendo compactador y molde) para el método de compactación especificado por el solicitante. Ejemplos de los equipos / procedimientos de compactación son métodos de prueba D 698 y D 1557.

5.6. Dispositivos para medir las dimensiones de la muestra: los dispositivos utilizados para medir las dimensiones de la muestra deben ser capaz de medir al 0.3 mm (0.01 in.) o más cercano, y se construirá de tal manera que su uso no perturbe la muestra.

5.7 Balanzas: La balanza debe ser adecuada para determinar la masa de la muestra y se seleccionará como se discute en la Especificación D 4753. La masa de especímenes de menos de 100 gr se determinará al más cercano 0.01 gr. La masa de las muestras de 100 gr o más se determinarán con una precisión de 0.1 gr. La masa de los especímenes > 1000 g se determinará a la más cercano de 1.0 gr.

5.8 Dispositivo de mantenimiento de temperatura: la temperatura del permeámetro, la muestra de ensayo y el depósito del líquido permeante no debe variar más de ± 3 ° C (± 5.7 ° F).

Normalmente esto se realiza mediante la ejecución de la prueba en una habitación con una temperatura relativamente constante. Si tal habitación no está disponible, el aparato se colocará en un baño de agua, cámara aislada, u otro dispositivo que mantiene una temperatura dentro de la tolerancia especificada anteriormente. La temperatura será medida y registrada periódicamente.

5.9. Contenedores de agua: Los recipientes estarán de acuerdo con el Método de Prueba D 2216.

5.10. Horno de secado: El horno debe estar de acuerdo con la Especificación E 145.

6. Reactivos

6.1. Agua permeante:

6.1.1. El agua permeante es el líquido que se utiliza para permear la muestra de la prueba. Cualquier líquido introducido en la muestra de prueba, elementos porosos, papel de filtro u otras partes del permeámetro será permeable al agua.

6.1.2. El tipo de agua permeante deberá ser especificado por el solicitante. Si no se realiza ninguna especificación, el agua del grifo sin aire será utilizado para el líquido permeante. El tipo de agua utilizada será indicado en el informe. Independientemente del tipo de agua permeante solicitada, el agua debe ser desaireada (ver 6.1.3), a menos que el solicitante solicite específicamente que el agua no sea desaireada.

NOTA 2: Interacciones químicas entre un líquido permeante y el material poroso puede conducir a variaciones en la conductividad hidráulica.

El agua destilada puede disminuir significativamente la conductividad hidráulica de los suelos arcillosos.

Por esta razón, el agua destilada generalmente no se recomienda como un permeante líquido.

Un líquido permeante usado por algunos es 0.005 N CaSO₄, que puede ser obtenido, por ejemplo, disolviendo 6,8 g de grado de reactivo no hidratado CaSO₄ en 10 Lt de agua destilada (o des ionizada). Este CaSO₄ se piensa que la solución no aumenta ni disminuye significativamente la conductividad hidráulica de suelos arcillosos.

En zonas con agua de grifo muy salobre, se recomienda la solución de CaSO₄.

6.1.3. Para ayudar a eliminar la mayor cantidad de aire de la muestra de ensayo como sea posible, se utilizará agua desaireada.

El agua es usualmente desaireada por ebullición, rociando una fina niebla de agua en un recipiente evacuado conectado a una fuente de vacío, o por fuerza de agitación del agua en un recipiente conectado a una fuente de vacío.

Si se utiliza la ebullición, se debe tener cuidado de no evaporar una cantidad excesiva de agua, que puede conducir a una mayor concentración de sal en el agua permeante de la deseada.

Para prevenir la disolución del aire de vuelta al agua, el agua sin aire no debe estar expuesta al aire por periodos prolongados.

7. Muestra de prueba.

7.1. Preparación del anillo de compactación / permeámetro: Antes de la compactación, determinar las dimensiones interiores del anillo de compactación / permeámetro a las tolerancias indicadas en 5.3.1, y determinar la masa del anillo de compactación / permeámetro a las tolerancias dadas en 5.7. Si es deseado, el interior del permeámetro se puede recubrir con una capa delgada de pasta de bentonita de sodio para minimizar la posibilidad de fugas en las paredes laterales.

7.2. Compactación: Prepare el material a ensayar y compacte dentro del anillo de compactación / permeámetro de una manera especificada por el solicitante. Si el espécimen se coloca y se compacta en capas, escarifique ligeramente la superficie de cada capa previamente compactada (rugosa) con un tenedor, un punzón para hielo u otro objeto adecuado, a menos que el solicitante indique específicamente que esa escarificación no se debe realizar.

Los métodos de prueba D 698 y D 1557 describen dos métodos de compactación, pero cualquier otro método especificado por el solicitante puede ser utilizado siempre que el método se describa en el informe.

Los grandes terrones de material no deben descomponerse antes de la compactación a menos que se sepa que también serán rotos en la construcción del campo, o el solicitante solicite específicamente que se reduzca el tamaño del montón.

Ni los terrones duros ni las partículas individuales del material deberán exceder $1/6$ de la altura o el diámetro del espécimen.

Después de la compactación, determinar la masa del anillo de compactación / permeámetro que contiene la muestra compactada e inmediatamente monte el anillo de compactación / permeámetro que contiene la muestra de ensayo en el permeámetro.

Determinar el contenido de agua de los recortes o exceso de material de acuerdo con el método de prueba D 2216.

Determine la masa (M) del espécimen de prueba restando la masa del anillo de compactación / permeámetro de la masa del anillo de compactación / permeámetro más muestra de prueba.

7.3. Calcule el volumen total de la muestra de ensayo (V) a partir de la longitud (L) y el diámetro (D) de la muestra de ensayo, de la siguiente manera:

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4}$$

7.4. Calcular la densidad seca inicial (ρ_{di}) de la muestra compactada y porosidad (n) de la masa de muestra de prueba (M) y el volumen de la muestra (V) y el contenido de agua (w, en forma decimal) del espécimen de la siguiente manera:

$$\rho_{di} = \frac{M}{(1+w)V}$$

$$n = 1 - \frac{\rho_{di}}{G_s \rho_w}$$

Dónde:

G_s = la gravedad específica de los sólidos, que deberá ser medida de acuerdo con el método de prueba D 854 o estimada.

NOTA 3: La medición precisa de la gravedad específica de los sólidos de muchos materiales es difícil. La gravedad específica de los sólidos será determinada con una precisión estimada de ± 0.05 . Para muchos materiales, es posible estimar G_s dentro de esta exactitud.

7.5 Calcular el volumen de los poros en la muestra de ensayo (V_p) como sigue:

$$V_p = nV$$

8. Procedimiento.

8.1. Preparación de la muestra:

8.1.1. Si se utiliza papel de filtro para evitar la obstrucción de las piezas del extremo poroso, cortar las hojas de papel de filtro a aproximadamente la misma forma como la sección transversal de la muestra de ensayo.

8.1.2. Empape cualquier pieza de extremo porosa (discos) y hojas de papel de filtro que se utilizaran en un recipiente de agua permeante y coloque las hojas de papel filtro en las piezas de los extremos porosos.

8.1.3. Ensamble la celda del permeámetro y llénela con agua permeante desaireada. Hacer circular el agua permeante a través de la línea de entrada para eliminar cualquier gas atrapado.

NOTA 4: Se debe tener cuidado al ensamblar los permeámetros con un anillo doble en la placa base para asegurar el asiento del anillo en la muestra. Se puede colocar un anillo de restricción en la parte superior de la muestra durante montaje para evitar el deslizamiento de la muestra a medida que se presiona en el anillo.

Alternativamente, el espécimen se puede compactar directamente en la base del permeámetro, si se usa este último procedimiento, entonces la placa base y el anillo deben ser lo suficientemente resistente para evitar roturas durante la compactación.

8.1.4. Si se debe aplicar un esfuerzo controlado a la superficie superior de un espécimen de prueba, aplíquelo en esta etapa.

8.2 Permeación.

8.2.1. Gradiente hidráulico: Cuando sea posible, el gradiente hidráulico utilizado para las mediciones de conductividad hidráulica debe ser similar al que se espera que ocurra en el campo. En general, los gradientes hidráulicos de < 1 a 5 cubren la mayoría de las condiciones de campo.

Sin embargo, el uso de pequeños gradientes hidráulicos puede llevar a largos tiempos de prueba para materiales de baja conductividad hidráulica (menor a 1×10^{-8} m / s).

Los gradientes hidráulicos un poco más grandes se usan generalmente en el laboratorio para acelerar las pruebas, pero los gradientes excesivos deben evitarse porque las altas presiones de infiltración pueden consolidar el material, el material de la muestra puede ser lavado, puede ocurrir una canalización a lo largo de la pared lateral, o las partículas finas pueden lavarse aguas abajo y tapan el extremo efluente de la muestra de ensayo. Estos efectos podrían aumentar o disminuir la conductividad hidráulica.

Para gradientes hidráulicos altos (> 20), se recomienda una placa base con un anillo doble (ver Fig. 4) para evitar mediciones anómalas causadas por canalizando a lo largo de la pared lateral. Si el solicitante no especifica un gradiente hidráulico, se pueden seguir los siguientes parámetros:

Hydraulic Conductivity (m/s)	Recommended Maximum Hydraulic Gradient
1×10^{-5} to 1×10^{-6}	2
1×10^{-6} to 1×10^{-7}	5
1×10^{-7} to 1×10^{-8}	10
1×10^{-8} to 1×10^{-9}	20
$< 1 \times 10^{-9}$	30

El método de velocidad de flujo constante puede ser ventajoso si se desean gradientes bajos y tiempos de prueba cortos para la prueba de materiales saturados con muy baja conductividad hidráulica.

8.2.2. Iniciación: Inicie la permeación de la muestra incrementando la presión del influyente. La presión al final del efluente de la muestra de ensayo es normalmente la presión atmosférica (ver Nota 5). Si se proporciona una restricción contra el movimiento hacia arriba de la muestra, inicialmente el flujo hacia arriba puede ayudar en saturación.

NOTA 5: La contrapresión normalmente no se aplica en este tipo de prueba. Si se utiliza la contrapresión, se recomienda el permeámetro de pared flexible (ver Método de prueba D 5084). Si se solicita específicamente contrapresión con este método de prueba, el solicitante deberá especificar la magnitud de la contrapresión. Si se utiliza la contrapresión, use un colector de efluentes de doble anillo (ver Fig. 5) o emplee alguna otra metodología adecuada para asegurar que la contrapresión no ha expandido el anillo del permeámetro y provoque una pérdida falsa en la pared lateral.

8.2.3. Prueba de cabeza constante (método de prueba A): Mida y registre la pérdida de carga en la muestra de la muestra de prueba y mantenga constante las pérdidas de carga $\pm 5\%$. Mida y registre periódicamente la cantidad de entrada, así como la cantidad de salida.

Si se utiliza el colector de efluentes de doble anillo, registrar la cantidad de salida de ambos anillos colectores. Continuar la permeación hasta que se obtenga al menos cuatro valores de conductividad hidráulica en un intervalo de tiempo en el cual: la relación de flujo de salida a entrada es entre 0.75 y 1.25, la conductividad hidráulica es constante.

Si se utiliza un colector de doble anillo, la relación del flujo desde el anillo exterior a la del anillo interior está entre 0,75 y 1.25. Considerar la conductividad hidráulica constante si cuatro o más determinaciones de conductividad hidráulica consecutivas cae dentro de $\pm 25\%$ del valor medio para $k \geq 1 \times 10^{-10}$ m / s o dentro de $\pm 50\%$ para $k < 1 \times 10^{-10}$ m / s, y una gráfica de la conductividad hidráulica en función del tiempo no muestra tendencia ascendente o descendente significativa. Ver la Nota 6.

NOTA 6: Si la muestra de prueba se ha preparado utilizando un material seco y altamente expandible, como bentonita de sodio, o tiene una conductividad hidráulica muy baja ($< 1 \times 10^{-10}$ m / s), la hidratación puede no ser completa incluso cuando se cumplen los requisitos de 8.2.3. Si la hidratación incompleta es motivo de preocupación, se puede realizar un método adecuado de remojo de la muestra antes de la permeación.

8.2.4. Pruebas de caída de cabeza (Métodos de prueba B, C y D): Mida y registre la pérdida de carga en la muestra de ensayo. En ningún momento la pérdida de carga aplicada a través del espécimen será menor al 75% de la pérdida de carga inicial (máxima) durante cada determinación individual de conductividad hidráulica.

Continuar con la permeación hasta que se obtenga al menos cuatro valores de conductividad hidráulica en un intervalo de tiempo en el que: la relación de flujo de salida a entrada es entre 0.75 y 1.25, la conductividad hidráulica es constante (ver 8.2.3), y si se utiliza un colector de doble anillo, la relación del flujo desde el anillo exterior a la del anillo interior está entre 0,75 y 1,25. Ver Nota 6, Nota 7, y Nota 8.

NOTA 7: Cuando la presión del agua en una muestra de prueba cambia, el volumen del líquido de los poros (especialmente las burbujas de gas) puede cambiar y la muestra de prueba en sí puede expandirse o contraerse. El requisito de que la pérdida de carga no disminuya mucho durante una prueba de caída de la cabeza tiene la intención de minimizar estas fuentes potenciales de cambio de volumen.

NOTA 8: Cuando las pérdidas iniciales y finales de la cabeza a través de la muestra de prueba no difieren mucho, se necesita una gran precisión para cumplir con el requisito de 5.1.2 de que la relación entre la pérdida de carga inicial y final sea determinado con una precisión de $\pm 5\%$ o superior. Cuando las pérdidas iniciales y finales de la cabeza en un intervalo de tiempo no difieren mucho, puede ser posible cumplir con los requisitos de 8.2.3 y tratar la prueba como una prueba de cabeza constante.

8.2.4.1. Prueba con nivel de agua de cola constante (Método de prueba B): Si la presión del agua en el extremo aguas abajo (aguas de la cola) de la muestra de ensayo se mantiene constante, mida y registre periódicamente la cantidad de entrada o el nivel de agua en el tubo vertical de entrada; mida y registre la cantidad de salida de la muestra de ensayo.

8.2.4.2. Prueba con agua de cabeza constante y aumento del nivel del agua de la cola (Método de prueba C): Si la presión del agua en el extremo corriente arriba (agua de cabeza) de la muestra de prueba se mantiene constante, mida y registre periódicamente la cantidad de salida o el nivel de agua en el tubo de salida del efluente; mida y registre la cantidad de entrada en la muestra de ensayo. Una botella de marriott es un dispositivo conveniente para medir la cantidad de entrada mientras se mantiene una cabeza constante.

8.2.4.3. Prueba con disminución del nivel de agua de cabeza y aumento nivel del agua de la cola (Método de prueba D): Si la presión del agua en el extremo aguas abajo de la muestra de prueba aumenta durante un intervalo de tiempo, mida y registre periódicamente la cantidad de entrada y salida o los cambios en los niveles de agua en las tuberías de entrada y salida del afluente y el efluente.

8.2.5. Prueba de velocidad constante de flujo (método de prueba E): Iniciar permeación de la muestra imponiendo un caudal constante.

Elija el caudal para que el gradiente hidráulico no exceda el valor especificado, o si no se especifica ninguno, el valor recomendado en 8.2.1.

Medir periódicamente la pérdida de cabeza a través del espécimen de prueba.

Continuar con la permeación hasta que al menos cuatro valores de conductividad hidráulica se obtengan en un intervalo de tiempo en el que conductividad hidráulica sea constante (ver 8.2.3) y, si se utiliza un colector de anillo doble, la relación del flujo desde el anillo exterior al del anillo interior está entre 0,75 y 1,25 (ver nota 6). El usuario también se asegurará de que el sistema esté libre de fugas y que la tasa de entrada y salida sean similares.

Un método para verificar estas condiciones es comparar periódicamente la tasa de entrada y salida y determinar si la relación de entrada y salida este entre 0,75 y 1,25.

También se pueden utilizar otros métodos adecuados.

NOTA 9: Las mediciones de volumen deben realizarse después de que haya transcurrido el tiempo suficiente para permitir el flujo en los reservorios de medición que es al menos diez veces la mejor graduación en el depósito. Las mediciones se pueden realizar en intervalos de tiempo más cortos solo si se puede garantizar que se puedan realizar mediciones precisas de la tasa de flujo o cambio en la altura de la cabeza, o ambos.

8.3. Dimensiones finales de la muestra. Después de completar la permeación, reducir las presiones aplicadas, desmontar cuidadosamente la celda del permeámetro, y examinar la muestra. Si la muestra está libre de expandirse, mida la altura de la muestra.

Si la longitud del espécimen es más de 1.15 veces la longitud original, recortar la muestra y repetir la medición de conductividad hidráulica (ver nota 10).

Tenga cuidado al recortar el espécimen para no manchar el material a través de la superficie de la muestra de ensayo. Después de recortar, escarificar la superficie de la muestra. Una vez finalizada la prueba, mida y registre la altura final, diámetro y masa total del espécimen. Luego determine el contenido final de agua de la muestra mediante el procedimiento del Método de Prueba D 2216.

NOTA 10: Si la muestra se expande en un anillo de expansión, las condiciones de contorno en el extremo influyente son inciertas. Este problema es considerado

insignificante si la cantidad de expansión es menor o igual al 15% de la longitud original del espécimen. Si la expansión es superior al 15%, el material que se expandió en el anillo de expansión debe recortarse. Si esto es conocido antes de la permeación que se producirá una gran cantidad de expansión, la muestra puede recortarse en algún punto intermedio de la prueba, es decir, no es necesario esperar hasta que todos los requisitos de la Sección 8 estén satisfecho antes de desmontar la celda y recortar el material que se expandió en el anillo de expansión. Sin embargo, todos los requisitos deben cumplirse antes de que se complete una prueba. Incluso si la altura de la muestra es ≤ 1.15 veces la altura original, mida toda la longitud del espécimen y luego recórtela antes de determinar la longitud final, la masa y el contenido de agua (la longitud final, la masa y el contenido de agua se determinarán en esa porción de la muestra de prueba contenida dentro del molde de compactación /anillo del permeámetro). Use la longitud medida antes del recorte para el cálculo de la conductividad hidráulica.

NOTA 11: Para algunos materiales con graduación de separación, la migración de partículas puede afectar la conductividad hidráulica medida. Revertir la dirección del flujo puede ser útil para evaluar el efecto de la migración de partículas.

9. Cálculos.

9.1. Pruebas de carga constante y de velocidad constante (Prueba métodos A y E):

Calcule la conductividad hidráulica, k , como sigue:

$$k = \frac{Q L}{A t h}$$

Dónde:

k = Conductividad hidráulica, m/s.

Q = Cantidad de flujo, tomada como el promedio de entrada y flujo de salida, m³.

L = Longitud del espécimen a lo largo de la trayectoria del flujo, m.

A = Área de la sección transversal del espécimen, m².

t = Intervalo de tiempo, durante el cual se produce el flujo Q , s.

h = Diferencia en la cabeza hidráulica a través de la muestra, m de agua.

NOTA 12: Si se utiliza un colector de efluentes de doble anillo, el flujo de salida la cantidad se tomará como la cantidad total de ambos anillos.

9.2. Pruebas de caída de carga:

9.2.1. Presión constante del agua de la cola (método de prueba B) y agua de cabeza constante y aguas de la cola ascendentes (método de prueba C).

Calcule la conductividad hidráulica, k , como sigue:

$$K = \frac{aL}{At} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Dónde:

a = Área de la sección transversal del reservorio que contiene el líquido influyente, m^2 .

L = Longitud del espécimen, m.

A = Área de la sección transversal de la muestra, m^2 .

t = Tiempo transcurrido entre la determinación de h_1 y h_2 , s.

h₁ = Pérdida de carga a través del espécimen, en el tiempo t_1 , m.

h₂ = Pérdida de carga a través de la muestra en el tiempo t_2 , m.

NOTA 13: El método de prueba C solo se utilizará para las pruebas realizadas en un permeámetro de un solo anillo (ver Fig. 1 y Fig. 2) a menos que la configuración para la prueba de doble anillo (ver Fig. 4) asegure las elevaciones del agua de la cola en los reservorios del efluente permanecen iguales durante toda la prueba. Siempre que las elevaciones permanezcan iguales, entonces $a = a_1 + a_2$

Dónde:

a₁ = Área de la sección transversal del reservorio que contiene el líquido efluente desde el anillo interior, m^2 .

a₂ = Área de la sección transversal del reservorio que contiene el líquido efluente desde el anillo exterior, m^2 .

9.2.2. Disminución del agua de la altura de cabeza y aumento de la presión del agua de la cola (Método de prueba D).

Calcular la conductividad hidráulica, como sigue:

$$K = \frac{a_{in} a_{out} L}{A t (a_{in} + a_{out})} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Dónde:

a_{in} = Área de la sección transversal del reservorio que contiene el líquido influyente, m².

a_{out} = Área de la sección transversal del reservorio que contiene el líquido efluente, m².

L = Longitud del espécimen, m.

A = Área de la sección transversal de la muestra, m².

t = Tiempo transcurrido entre la determinación de h_1 y h_2 , s.

h_1 = Pérdida de carga a través de la muestra en el tiempo t_1 , m.

h_2 = Pérdida de carga a través de la muestra en el tiempo t_2 , m.

NOTA 14: Para el caso del Método de prueba D, donde $a_{out} = a_{in} = a$, la ecuación para calcular k para una prueba de caída de cabeza con un aumento del nivel del agua de la cola nivel es:

$$k = \frac{a L}{2 A t} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Además, el método de prueba D solo se utilizará para las pruebas realizadas en el permeámetro de un solo anillo (ver Fig. 1 y Fig. 2) a menos que la configuración para la prueba de anillo doble (ver Fig. 4) asegure las elevaciones del agua de la cola en los reservorios de efluentes permaneciendo iguales durante toda la prueba.

Siempre que las elevaciones sean iguales, entonces $a_{out} = a_1 + a_2$

Dónde:

a_1 = Área de la sección transversal del reservorio que contiene el líquido efluente desde el anillo interior, m².

a_2 = Área de la sección transversal del reservorio que contiene el líquido efluente desde el anillo exterior, m².

9.3. Corrección la conductividad hidráulica a 20 °C. (68 ° F). k20.

Multiplique k por la relación de la viscosidad de agua a la temperatura de prueba, T, a la viscosidad del agua a 20 ° C (68 ° F), RT, de la Tabla 1, como sigue:

$$K_{20} = R_T k$$

9.4 Deje que Ms denote la masa secada en horno (en kilogramos) de material que comprende el espécimen de prueba, V, el volumen final de la muestra de ensayo contenida en el molde de compactación / anillo permeámetro (en metros cúbicos), w (adimensional) el contenido de agua final de la muestra de prueba, y Gs la gravedad específica adimensional de los sólidos (ver Nota 4). Determinar la densidad seca (ρ_{df} en kg / m3) de la muestra de prueba de la siguiente manera:

$$\rho_{df} = \frac{M_s}{V}$$

y el grado de saturación final (S, expresado como porcentaje):

$$S = \frac{w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} - \frac{1}{G_s}} \times 100$$

Dónde:

ρ_w = es la densidad del agua (998.2 kg / m3 a 20 ° C).

TABLA 1 Factor de corrección RT para la viscosidad del agua a diferentes temperaturas.

Temperature (°C)	R_T	Temperature (°C)	R_T
1	1.723	26	0.869
2	1.664	27	0.850
3	1.611	28	0.832
4	1.560	29	0.814
5	1.511	30	0.797
6	1.465	31	0.780
7	1.421	32	0.764
8	1.379	33	0.749
9	1.339	34	0.733
10	1.301	35	0.719
11	1.265	36	0.705
12	1.230	37	0.692
13	1.197	38	0.678
14	1.165	39	0.665
15	1.135	40	0.653
16	1.106	41	0.641
17	1.077	42	0.629
18	1.051	43	0.618
19	1.025	44	0.607
20	1.000	45	0.598
21	0.976	46	0.585
22	0.953	47	0.575
23	0.931	48	0.565
24	0.910	49	0.556

9.5. Determine el número de volúmenes de poro de entrada (N_{PV}) al final de la prueba de la siguiente manera:

$$N_{PV} = \frac{Q_{in}}{V_p}$$

Dónde:

Q_{in} = Es la cantidad acumulada de entrada de la muestra de ensayo y V_p es el volumen inicial del espacio poroso dentro del espécimen de ensayo (ver 7.5).

10. Informe.

10.1. Presentar la siguiente información:

10.1.1. Muestra de información de identificación.

10.1.2. Cualquier proceso especial de selección y preparación, tal como remoción de piedras u otros materiales.

10.1.3. Información descriptiva sobre el método de compactación.

10.1.4. Las dimensiones iniciales de la muestra.

10.1.5. El contenido inicial de agua y la densidad seca de la muestra.

10.1.6. El tipo de líquido permeante utilizado.

10.1.7. Tipo de permeámetro utilizado, incluido el tipo (si corresponde) de confinamiento contra la hinchazón, placa base de anillo simple o doble, y cualquier acuerdo de prueba no estándar, como el uso de contrapresión.

10.1.8. El método de prueba (A, B, C, D o E) utilizado.

10.1.9. Gradiente hidráulico (informe el rango, si es variable).

10.1.10. El número total de volúmenes de poro de líquido permeante que salió de la muestra de prueba y la duración de la prueba, medida desde el inicio de la permeación hasta el final del último conjunto de lecturas utilizadas para determinar la conductividad hidráulica.

10.1.11. La longitud final, diámetro, contenido de agua, densidad seca, y grado de saturación de la muestra de ensayo. También informe la gravedad específica de los sólidos utilizados para los cálculos e indicar si este valor fue medido o asumido.

10.1.12. La cantidad de expansión que se midió y si el material se recortó o no del anillo de expansión (si corresponde) antes de la permeación.

10.1.13. La conductividad hidráulica promedio para los últimos cuatro determinantes de conductividad hidráulica, reportadas con dos cifras significativas, por ejemplo, 7.1×10^{-10} m / s, y reportadas en unidades de m / s (más unidades adicionales, si se solicita o es habitual),

10.1.14. Un gráfico o tabla de conductividad hidráulica en función del tiempo o volúmenes de poro de flujo y un gráfico o tabla de la relación de flujo de salida a flujo de entrada en función del tiempo o volumen de flujo de poro.

10.1.15. Si se usó un colector de efluentes de doble anillo, informe un gráfico o tabla de la relación de flujo desde el anillo exterior a la del anillo interno en función del tiempo o volúmenes de poro de flujo.

ANEXO II

ENSAYOS DE LABORATORIO

REPORTE FOTOGRÁFICO

A. II. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.

A.II.1. Ensayos de clasificación.

La clasificación de suelos es un modelo mediante el cual, los suelos se clasifican sistemáticamente de acuerdo a sus características probables de Ingeniería. La clasificación de un suelo dado se termina realizando las siguientes pruebas de laboratorio.

A.II.1.1. Granulometría.

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen un suelo.

A.II.1.1.1 Análisis por cribado.

Es el análisis por tamizado, que se realiza mediante la cual separamos los suelos finos, para la ejecución de otros ensayos.

A.II.1.1.1.1. Objetivo.

El objetivo de la granulometría es obtener los porcentajes que pasan los tamices de la serie utilizada en el ensayo y de esta manera determinar parte de los parámetros o indicadores necesarios en la clasificación de suelos.

A.II.1.1.1.2. Materiales utilizados.

- Tamices: N° 40 y N° 200.
- Tapa.
- Base.
- Fuentes metálicas.
- Balanza digital de 0,01 gr de precisión.
- Horno eléctrico de 105 °C a 110 °C de temperatura.
- Martillo de goma.

A.II.1.1.1.3. Procedimientos de laboratorio.

- Debido a que el material utilizado, es un suelo arcilloso, su granulometría se la determina mediante el método de lavado, porque el mismo garantiza una

disgregación total del suelo, dando como resultado los tamaños reales de las partículas.

- En primer lugar, se disgrega la muestra, con la ayuda del martillo de goma, para evitar la presencia de terrones.
- Luego se pesó una cantidad aproximada de 1500 gr de muestra a humedad natural, para introducirla al horno y dejarla secar durante 24 hrs.
- Una vez secada la muestra se procede a pesar 1000 gr de material, para dejarlo reposado en el agua durante 24 hrs garantizando de esta manera la completa saturación del suelo.
- Transcurrida las 24 hrs de saturación se procede a lavar el material mediante el tamiz N° 200, cuidando de no perder muestra, se deja caer el agua dentro del mismo tamiz y con movimiento rotatorios que se realizan con la mano comienza a pasar todo el suelo fino a través del tamiz, esto se lo realiza hasta que el agua que pasa a través del tamiz tenga un aspecto claro.
- Luego cuidadosamente se deposita todo el material retenido en la criba en un plato para su posterior secado. Una vez secado el material se procede a tamizarlo mediante los tamices N° 40 y N° 200, registrando los pesos retenidos en cada uno de ellos.

A.II.1.1.1.4. Cálculos.

- Con los pesos retenidos de cada tamiz, se procedió a calcular los retenidos acumulados en gr. Para llevarlos a porcentajes en función del peso total seco de la muestra.
- Con esos valores se calculó el porcentaje pasante de suelo en cada criba correspondiente.
- Con los datos obtenidos se grafica la curva de distribución granulométrica en escala semilogarítmica, donde en el eje de las abscisas se coloca la abertura de cada malla en milímetros a escala logarítmica y en el eje de las ordenadas se coloca el porcentaje que pasa cada malla en escala aritmética.

- Debido a que en este análisis se tiene suelos finos, el análisis por cribado no basta para conocer la total distribución por tamaños de suelo, entonces se tuvo que recurrir a un método que trata con estos suelos, el análisis hidrométrico.

A.II.1.1.1.5. Reporte fotográfico.

Imagen A.II.1. Muestra de suelo seca para realizar el lavado



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.2. Lavado de la muestra a través del tamiz N° 200



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.3. Material retenido en el tamiz N° 200 después del lavado



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.4. Preparación del material retenido en el tamiz N° 200 para ser secado



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.5. Tamizado del material retenido en el tamiz N° 200 a través del tamiz N°40



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.6. Tamizado del material retenido en el tamiz N° 200 a través del tamiz N° 200



Fuente: Elaboración propia

A.II.1.1.2. Análisis hidrométrico.

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes, la cual relaciona, la velocidad de una esfera cayendo libremente a través de un fluido, con el diámetro de esfera. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelo dispersadas que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

A.II.1.1.2.1. Objetivo.

- Realizar una distribución granulométrica del material que pasa el tamiz N° 200, basándose en la relación de la velocidad de una esfera que cae libremente a través de un fluido y su diámetro, para determinar el porcentaje de arcilla presente en el suelo.

A.II.1.1.2.2. Material utilizado.

- Hidrómetro graduado 152 H ASTM.
- Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5 °C.
- Probeta graduada de vidrio para sedimentación de 1000 cc de capacidad.
- Probeta graduada de 100 cc de capacidad.
- Agua destilada.
- Agente dispersante hexametáfosfato de sodio.
- Pipeta graduada de vidrio de 10 cc.
- Tamiz de 75 μm (N° 200).
- Cronómetro o reloj.
- Fuentes metálicas.
- Balanza digital de 0,01 gr de precisión.
- Horno eléctrico de 105 °C a 110 °C de temperatura.

A.II.1.1.2.3. Procedimiento de laboratorio.

- El tamaño de la muestra que se utilizó para el análisis hidrométrico fue de 70 gr de material seco que pasa el tamiz N° 200.
- Se colocó la muestra en una cápsula, en la cual se agregó agua destilada hasta que la muestra quedo totalmente sumergida. En este momento se añadió 125 cc de

solución dispersante de hexametáfosfato de sodio. Se dejó la muestra en remojo durante un lapso de tiempo de 24 hrs hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado en su totalidad.

- Transcurridas las 24 hrs transferimos la suspensión a la probeta de sedimentación, la cual fue llenada de agua destilada hasta la marca de enrase de 1000 cc.
- Se agitó la probeta vigorosamente volteando el cilindro hacia arriba y hacia abajo durante 1 minuto con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme.
- Inmediatamente concluido el proceso de agitación, introducimos el hidrómetro y se comenzó a lecturar generalmente en los siguientes intervalos de tiempo 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 120...minutos hasta que la última lectura del hidrómetro fue la más próxima a cero (las lecturas se las realizó en el tope del menisco formado alrededor del vástago), así como también se fueron registrando las temperaturas correspondientes a cada lectura, con el termómetro de aproximación de 0,5 °C.

A.II.1.1.2.4. Cálculos.

Antes de proceder con los cálculos las lecturas del hidrómetro deberán ser corregidas por menisco y por temperatura.

C_m = Corrección por menisco.

C_t = Corrección por temperatura.

La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado, y se determina introduciendo el hidrómetro en agua y observando la altura a la cual el menisco se levanta por encima de la superficie del agua. El valor corriente de C_m para un hidrómetro tipo 152 H es: $C_m = 1$ gr/litro.

La corrección por temperatura, es aplicada a cada una de las lecturas de hidrómetro, la cual debe sumarse algebraicamente a cada lectura. Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura a la que se encuentra la suspensión al momento de realizar la lectura.

- **Lectura del hidrómetro corregida por menisco.**

Las lecturas se corrigen por menisco sumándoles el factor por menisco C_m .

$$R = R' + Cm$$

Donde:

R = Lectura de hidrómetro corregido.

R' = Lectura no corregida.

- **Cálculo de la profundidad efectiva L.**

Estos valores se extraen de la Tabla N° 1 de la Norma ASTM D422, donde L está en función de la lectura del hidrómetro corregida (R).

- **Cálculo del diámetro de las partículas.**

El diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro se calcula con la fórmula siguiente:

$$D(mm) = K \left(\frac{L}{t} \right)$$

Donde:

L = Profundidad efectiva en cm.

T =Tiempo transcurrido en min.

$$K = \frac{\frac{30 \times \mu}{g}}{\tau_s - \tau_f}$$

Donde:

g = Aceleración gravitacional = 980,70 cm/s².

μ = Coeficiente de viscosidad del agua en Poises.

τ_s = Peso unitario de los sólidos del suelo en gr/cm³.

τ_f = Peso unitario del agua destilada, a la temperatura T, en gr/cm³.

Los valores de K están tabulados en la Tabla N° 4 de la Norma ASTM D422, en función del peso específico y la temperatura.

- **Cálculo del porcentaje más fino.**

Para calcular el porcentaje de partículas de diámetro más fino que el correspondiente a una lectura de hidrómetro dada, utilice las fórmulas siguientes:

$$\text{Porcentaje mas fino} = \frac{100 \times a}{W_o} (R \pm Ct)$$

Donde:

W_o = Peso de la muestra secado al horno que se empleó para el análisis del hidrómetro.

$(R \pm Ct)$ = Lectura de hidrómetro corregida por menisco, sumada algebraicamente con el factor de corrección por temperatura.

a = Factor de corrección por peso específico, los cuales se encuentran tabulados en la Tabla N°5 de la Norma ASTM D422.

A.II.1.1.2.5. Reporte fotográfico.

Imagen A.II.7. Probetas graduadas de vidrio para sedimentación de 1000 cc de capacidad



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.8. Hidrómetro 152 H ASTM



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.9. Agente dispersante hexametáfosfato de sodio



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.10. Medición de lecturas con hidrómetro 152 H



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.11. Muestras ensayadas



Fuente: Elaboración propia

A.II.1.2. Determinación del peso específico relativo.

El peso específico es la relación del peso, al aire, de un determinado volumen de material, a una cierta temperatura y el peso y el aire de un volumen igual de agua; a la misma temperatura.

A.II.1.2.1. Objetivo.

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm.

A.II.1.2.2. Material utilizado.

- Frasco volumétrico de 500 cc.
- Balanza digital de precisión de 0,01 gr.
- Termómetro con aproximación de 0,5 °C.
- Accesorios para baño María caliente y frío.
- Pipeta.
- Agua destilada.
- Solución disolvente de grasas.

A.II.1.2.3. Procedimiento de laboratorio.

Calibración de frasco volumétrico.

- Se lava el frasco con la solución disolvente de grasas, eliminando toda clase de impurezas, para luego determinar el peso del frasco volumétrico.
- Llenar el agua en el frasco volumétrico hasta la mitad de su volumen, luego introducir el frasco en un baño María y someterlo al incremento de calor hasta que la temperatura dentro del frasco este alrededor de unos 60 °C.
- Sacar el frasco volumétrico del baño María y completar el agua a la temperatura ambiente hasta la marca de enrase. En este punto leer la temperatura, tratando de que el termómetro se introduzca al centro del frasco volumétrico, y luego pesar el conjunto y registrar este dato.
- Seguidamente bajar la temperatura del agua mediante baño María frío, se realizó 5 mediciones de peso a diferentes temperaturas comprendidas entre 15 °C y 30 °C.

- En una planilla de datos se registra los pesos obtenidos los cuales están en función a su determinada temperatura: con todos esos datos se elaboró una curva de calibración de pesos del frasco volumétrico (eje de ordenadas) versus temperatura (eje de abscisas).

Determinación del peso específico.

- Se pesó 80 gr de suelo húmedo, para colocarlo en un plato, se añade agua y se mezcla hasta formar una pasta suave, para luego colocarla dentro del frasco volumétrico y batir hasta generar una suspensión uniforme, se tiene extraer todo el aire atrapado dentro del suelo, para esto se debe girar el frasco con mucho cuidado.
- Se introdujo el frasco volumétrico con agua y suelo a un baño María, hasta que alcanzó una temperatura de 60 °C, después se llenó el frasco volumétrico con agua destilada a temperatura ambiente hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de enrase.
- Se pesa el frasco volumétrico y se mide la temperatura en su centro, para luego someter el frasco volumétrico a un enfriamiento; se realizó 5 mediciones de peso a diferentes temperaturas comprendidas entre 15 °C y 30 °C.
- Una vez obtenido los datos de peso a diferentes temperaturas, se extrae el contenido del frasco en un recipiente para introducir al horno y obtener el peso del suelo seco.

A.II.1.2.4. Cálculos.

- El peso específico del suelo, basado en agua a la temperatura de ensayo, será calculada de la siguiente manera:

$$\gamma = \frac{W_s}{W_{fs} + W_s - W_{fsw}} K$$

Donde:

γ = Peso específico del suelo.

W_s = Peso del suelo seco.

W_{fw} = Peso del frasco lleno de agua a una temperatura t_x que se obtiene de la calibración del frasco volumétrico.

W_{fsw} = Peso del frasco con suelo y agua.

K = Factor de conversión que se obtiene dividiendo la densidad relativa del agua a una temperatura t_x , entre la densidad relativa del agua a 20 °C.

A.II.1.2.5. Reporte fotográfico.

Imagen A.II.12. Materiales utilizados en la práctica



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.13. Frasco volumétrico de 500 cc



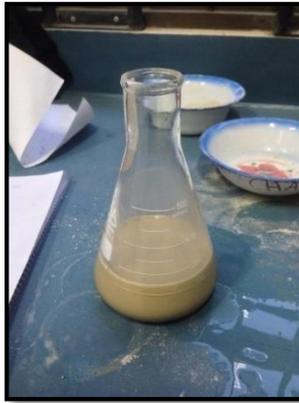
Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.14. Calibración del frasco volumétrico



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.15. Preparación de muestra a ensayar



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.16. Frasco volumétrico más suelo sometido a baño María



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A.II.17. Medición de temperaturas de la mezcla de agua y suelo



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.18. Medición del peso a diferentes temperaturas



Fuente: Elaboración propia

A.II.1.3. Límites de consistencia.

Por consistencia se entiende el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tiene a deformar o destruir su estructura. Los límites de consistencia de un suelo, están representados por contenidos de humedad y los principales que se utilizan para su clasificación de un suelo se conocen con los nombres de: límite líquido y límite plástico.

A.II.1.3.1. Límite líquido.

El límite líquido, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

A.II.1.3.1.1. Objetivo.

Este método establece el procedimiento para determinar el límite líquido de los suelos, mediante la máquina Casagrande.

A.II.1.3.1.2. Material utilizado.

- Máquina Casagrande.
- Acanalador.
- Tamiz N° 40.
- Plato de evaporación.
- Espátula.
- Cápsulas de secado.
- Balanza digital de precisión de 0,01 gr.
- Probeta graduada.
- Horno eléctrico.
- Agua destilada.

A.II.1.3.1.3. Procedimiento de laboratorio.

- El material que pasa por el tamiz N° 40, se coloca dentro de un recipiente, se le agrega agua, luego se procede a homogenizar la mezcla hasta formar una pasta suave, teniendo en cuenta de eliminar todo el aire atrapado entre las partículas del suelo.
- Ajustar la altura de caída de la taza, para esto se debe girar la manivela hasta que la taza se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador, verifique que la distancia entre el punto de percusión y la base sea exactamente de 10 mm.
- Pesar cinco cápsulas vacías y limpias, anotando los pesos de cada cápsula con su respectiva identificación en la planilla de límite líquido.
- Con la ayuda de la espátula poner la muestra suavemente en la taza, tratando que la superficie del suelo adopte una disposición horizontal donde el nivel de referencia en la parte inferior de la copa.
- Una vez que la muestra se encuentre horizontal, se procedió a realizar; la ranura de forma segura en una sola pasada, tratando de que el fondo de la ranura se encuentre visible el color de la copa a lo largo de toda la ranura.
- Una vez realizada la ranura, se accionó la manivela de la máquina Casagrande, al ritmo de dos golpes por segundo, hasta que la ranura se produzca una unión de aproximadamente de 12,7 mm. Se debe registrar el número de golpes en la planilla, este procedimiento se repite unas 5 veces en un rango de 15 a 35 golpes.
- Con la espátula y en forma perpendicular a la ranura, realizar dos cortes a la muestra, estos deben pasar por los extremos de la parte que se unió. Luego extraer la porción de suelo entre los cortes y procedemos a depositar en una de las capsulas ya que se encuentran pesadas e identificadas.
- Pesar el suelo húmedo más cápsula registrar el dato en la planilla correspondiente al número de golpes anotado.
- Introducir las cápsulas más muestra húmeda en el horno, dejar secar a una temperatura de 105 °C a 110 °C, durante 24 hrs, luego extraer del horno, pesar las cápsulas más muestra seca.

A.II.1.3.1.4. Cálculos.

- Calcule y registre la humedad de cada determinación (w) con la siguiente ecuación:

$$\% w = \frac{pag}{pss} \cdot 100$$

Donde:

% w = Porcentaje de humedad.

pag = Peso del agua.

pss = Peso del suelo seco.

- Conociendo el contenido de humedad correspondiente a cada número de golpes, encontraremos la curva de flujo que presenta la relación entre las dos variables anteriores, esta curva será representada en escala semilogarítmica de tal modo que los contenidos de humedad se anoten en las ordenadas en escala aritmética y en el número de golpes en escala logarítmica.
- El contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la abscisa de 25 golpes será el límite líquido del suelo ensayado.

A.II.1.3.1.5. Reporte fotográfico.

Imagen A.II.19. Homogenización de la muestra a ensayar



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.20. Disposición horizontal de la muestra sobre la taza



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.21. Ranura en la muestra a ensayar



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.22. Porciones de muestras ensayadas a diferentes números de golpes



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.23. Medición de peso después de 24 hrs de secado



Fuente: Elaboración propia

A.II.1.3.2. Límite plástico.

Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plásticos y semisólidos. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3 mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a 1 cm de largo y no puedan ser reamados ni reconstruidos.

A.II.1.3.2.1. Objetivo.

Este método establece el procedimiento para determinar el límite plástico de los suelos.

A.II.1.3.2.2. Material utilizado.

- Plato de evaporación.
- Espátula.
- Superficie de amasado.
- Cápsulas para secado.
- Balanza digital de precisión de 0,01 gr.
- Probeta graduada.
- Horno eléctrico.
- Tamiz N° 40.
- Agua destilada.

A.II.1.3.2.3. Procedimiento de laboratorio.

- Disponer el vidrio sobre la superficie de amasado, colocar la muestra que sobrepase los 35 golpes en la prueba del límite líquido, pesar las cápsulas limpias e identificarlas, registrar en la planilla de límite plásticos.
- Amase la muestra entre las manos; luego hágala rodar sobre la superficie de amasado, ejerciendo una leve presión con la palma de la mano hasta conformar un cilindro.
- Cuando el cilindro alcance un diámetro de 3 mm, doble, amase nuevamente y vuelva a conformar el cilindro.
- Repita la operación, manteniendo la velocidad y la presión de amasado, hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aproximadamente de 3 mm, en trozos de 0,5 a 1 cm de largo y no pueda ser reamasado ni reconstruido.
- Reúna las fracciones del cilindro disgregado y colóquelas en una cápsula de secado, previamente registrada. Introduzca las cápsulas al horno durante 24 hrs y registre el peso seco del material.

A.II.1.3.2.4. Cálculos.

Calcule el límite plástico (LP) como el promedio de las tres determinaciones efectuadas sobre la muestra de ensayo, aproximando a un decimal. Las determinaciones no deben diferir entre sí en más de dos puntos; cuando no se cumpla esta condición, repita todo el ensayo.

- Para determinar el límite plástico se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% w = \frac{pag}{pss} \cdot 100$$

Donde:

% w = Porcentaje de humedad.

pag = Peso del agua.

pss = Peso del suelo seco.

A.II.1.3.2.5. Reporte fotográfico.

Imagen A.II.24. Formación de cilindros sobre la superficie de amasado



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.25. Cilindros de 3 mm de diámetro



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.26. Capsulas de secado con cilindros ensayados



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.27. Cilindros sometidos a proceso de secado durante 24 hrs



Fuente: Elaboración propia

A.II.2. Compactación Proctor modificado.

La compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de las partículas de suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

Cuando el contenido de agua es gradualmente incrementado y se usa el mismo esfuerzo compactador para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en un volumen unitario crece en forma gradual.

Más allá de un cierto contenido de agua w , cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupado por las partículas sólidas.

El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama contenido de agua óptimo.

A.II.2.1. Objetivo.

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo, compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 4,5 kg. En caída libre desde una altura de 460 mm, con una energía específica de compactación de $2,67 \text{ J/cm}^3$ ($27,2 \text{ Kgf cm/cm}^3$).

A.II.2.2. Materiales utilizados.

- Molde metálico.
- Collarín.
- Base metálica.
- Pisón metálico.
- Enrazador metálico.
- Tamiz N° 4.
- Probeta graduada.
- Balanza digital de precisión de 0,1 gr.
- Cápsulas de secado.
- Fuentes metálicas.
- Horno eléctrico de 105 °C a 110 °C de temperatura.

A.II.2.2.3. Procedimiento de laboratorio.

- Se pesa y registra el molde más la base metálica vacíos.
- Se calcula su capacidad volumétrica del molde a través de sus dimensiones estandarizadas.
- Se prepara 5 fracciones de muestras de material de peso igual a 5 kg que pasa a través del tamiz N° 4 y se la somete a un proceso de secado en el horno eléctrico por 24 hrs.
- Se mezcla completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí que se distribuyan próximas a la humedad óptima (w_o).

- Se coloca el molde con su collarín en la base metálicas asegurándolos con tuercas mariposas.
- Se introduce una capa de material de aproximadamente un quinto de la altura del molde más collarín.
- Se compacta la capa con 56 golpes de pisón, uniformemente distribuidos.
- Se repite cuatro veces el procedimiento de los dos puntos anteriores, quedando un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.
- Terminada la compactación, se retira el collarín y se enraza cuidadosamente con la regla metálica al nivel del borde del molde.
- Se retira el material del molde y se extrae dos muestras representativas del centro del suelo compactado. Se las coloca en las cápsulas de secado para introducirlas al horno y determinar su contenido de humedad.
- Se repite el procedimiento con las 4 fracciones de suelo restante.

A.II.2.2.4. Cálculos.

- Se resta la masa del molde para determinar la masa de suelo compactado que llena el molde (m).
- Se determina la densidad húmeda del suelo compactado (ρ_h) dividiendo la masa de suelo compactado que llena el molde por la capacidad volumétrica del molde:

$$\rho_h = \frac{m}{v}$$

- Se calcula la densidad seca del suelo compactado para cada determinación, de acuerdo con la formula siguiente:

$$\rho_d = \frac{\rho_h}{w + 100}$$

Donde:

ρ_d : Densidad seca del suelo compactado (Kg/m³)

ρ_h : Densidad húmeda del suelo compactado (Kg/m³)

w: Humedad del suelo compactado (%).

Se construye un gráfico con la densidad seca del suelo compactado en las ordenadas y la humedad en las abscisas conectando los 5 puntos determinados.

- Se expresa la humedad óptima (w_o) como la correspondiente al punto máximo de la curva.
- Se expresa la densidad seca máxima ($\rho_{d\ max}$) como la correspondiente a la humedad óptima

A.II.2.2.5. Reporte fotográfico.

Imagen A.II.28. Preparación de muestra que pasa a través del tamiz N° 4



Fuente: Elaboración propia

Imagen A.II.29. Proceso de compactación de la primera capa



Fuente: Elaboración propia

A.II.30. Medición de peso de la muestra compactada



Fuente: Elaboración propia

A.II.31. Muestra compactada sin enrasar



Fuente: Elaboración propia

A.II.32. Muestra compactada y enrasada



Fuente: Elaboración propia

A.II.33. Muestras representativas a diferentes humedades de compactación



Fuente: Elaboración propia

A.II.3. Permeabilidad.

La permeabilidad representa la resistencia que ofrece el suelo al flujo de un fluido. El parámetro que determina esta propiedad es el coeficiente de permeabilidad k y se basa en la aplicación de la ley de Darcy.

Hay varios métodos de laboratorio que se utilizan para la obtención del coeficiente de permeabilidad del suelo, en esta investigación se utilizaron los siguiente:

- Permeámetro de compactación H – 4146 de carga variable.
- Permeámetro de pared flexible de carga variable.

A.II.3.1. Permeámetro de compactación H – 4146 de carga variable.

El permeámetro H-4146 está diseñado para realizar pruebas de permeabilidad de cabezal variable, en suelos compactados.

Las características físicas del equipo son las siguientes:

- Altura de molde = 11,60 cm.
- Diámetro interno de molde = 15,20 cm.

A.II.3.1.1. Objetivo.

- Determinar la permeabilidad en laboratorio de diferentes suelos arcillosos, utilizando el permeámetro de compactación H – 4146, aplicando la ley de Darcy bajo ciertos parámetros proporcionados en la Norma ASTM D – 5856.

A.II.3.1.2. Materiales utilizados.

- Permeámetro de compactación H – 4146.
- Soporte alimentador de carga.
- Probeta graduada de 25 cc.
- Agua destilada.
- Juego de llaves.
- Desarmador plano y estrella.
- Cronómetro o reloj.
- Regla graduada.
- Extractor de núcleo.

A.II.3.1.3. Procedimiento de laboratorio.

- Antes de realizar el ensayo de permeabilidad, se debe saturar completamente la muestra compactada. Para esto realizó la compactación en moldes Proctor modificado, y se introdujeron en contenedores de 200 litros llenos de agua durante lapsos de tiempo hasta lograr la saturación.
- El proceso de saturación se verifico midiendo la expansión y pesando la muestra hasta que los espacios vacíos entre las partículas de los sólidos se llenen de agua en su totalidad.
- Un parámetro para lograr la saturación fue que el peso de la muestra se mantuvo constante.
- También se rompieron las muestras compactadas después de la saturación para verificar la infiltración del agua en toda su longitud.
- Una vez verificada la saturación, se extrajo la muestra compactada del molde Proctor modificado al molde del permeámetro de compactación H – 4146; a través de un extractor de núcleo, tomando las debidas precauciones para no alterar las propiedades de la muestra.
- Sobre la base de montaje de aluminio se coloca la piedra porosa que evita la pérdida de material fino y la junta de goma para evitar fugas de agua. Se debe verificar que los conductos de salida de flujo estén libres de cualquier obstrucción.

- Luego se monta el molde de compactación con la muestra saturada, asegurando a los ejes mediante las tuercas mariposas.
- Sobre la muestra saturada se coloca otra piedra porosa para evitar la pérdida de finos, y encima de esta un resorte bien centrado para evitar la expansión de la muestra al momento de realizar el ensayo.
- Sobre el canal del molde de compactación, se debe colocar la segunda junta de goma para evitar las fugas de agua, y encima de esta el collarín asegurándolo en los ejes mediante tuercas mariposas.
- Se realiza una prueba hidráulica para comprobar que no existan pérdidas de agua por las juntas de goma.
- Después de haber realizado la prueba hidráulica, en el canal de la base de compresión se coloca la tercera junta de goma y se monta la misma asegurándola en los ejes mediante las tuercas mariposas.
- Se conecta la manguera del mecanismo alimentador de agua a la tubería de bronce que se encuentra en la base de compresión, cargando agua a través del embudo hasta llenar totalmente el sistema.
- En este momento se debe purgar el aire que encuentra en la trayectoria de carga, para esto se abre la válvula de escape de aire girando a posición vertical.
- Por último, se elige un nivel de referencia de carga de agua en la regla graduada del mecanismo alimentador y se procede a realizar las lecturas en intervalos de tiempos iguales.
- En cada lectura se debe medir el flujo de salida, esto se realiza conectando una manguera a la tubería de bronce que se encuentra en la base de montaje de aluminio, mediante la cual se recibe el agua que filtra a través de la muestra en una probeta graduada de 25 cc.
- La norma establece como mínimo 4 lecturas de pérdida de carga en la muestra ensayada.

A.II.3.1.4. Cálculos.

Para calcular el coeficiente de permeabilidad k , se utilizó el principio de la ley de Darcy, mediante la siguiente ecuación:

$$k = 2.3 \frac{L \cdot a}{A \cdot t} \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Donde:

k = coeficiente de permeabilidad (cm/s).

a = Área del tubo vertical de carga (cm²).

A = Área de la muestra (cm²).

L = Longitud de la muestra (cm).

h_1 = Carga hidráulica al principio de la prueba (cm).

h_2 = Carga hidráulica al final de la prueba (cm).

t = Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de h_1 a h_2 (s).

A.II.3.1.5. Reporte fotográfico.

A.II.34. Contenedores de agua para el proceso de saturación



Fuente: Elaboración propia

A.II.35. Muestras compactadas en proceso de saturación



Fuente: Elaboración propia

A.II.36. Moldes de compactación utilizados en la investigación



Fuente: Elaboración propia

A.II.37. Medición de expansión en el proceso de saturación



Fuente: Elaboración propia

A.II.38. Medición de peso en el proceso de saturación



Fuente: Elaboración propia

A.II.39. Expansión de la muestra después de la saturación



Fuente: Elaboración propia

A.II.40. Proceso de extracción de muestra saturada



Fuente: Elaboración propia

A.II.41. Proceso de extracción de muestra saturada



Fuente: Elaboración propia

A.II.42. Proceso de extracción de muestra saturada



Fuente: Elaboración propia

A.II.43. Montaje del molde con muestra saturada sobre la base de aluminio



Fuente: Elaboración propia

A.II.44. Prueba hidráulica para la detección de fugas



Fuente: Elaboración propia

A.II.45. Permeámetros de compactación H-4146



Fuente: Elaboración propia

A.II.46. Permeámetro de compactación H-4146 instalado



Fuente: Elaboración propia

A.II.47. Medición del volumen de agua de salida



Fuente: Elaboración propia

A.II.3.2. Permeámetro de pared flexible de carga variable.

El permeámetro de pared flexible de carga variable está diseñado para realizar pruebas de permeabilidad de cabezal variable, en suelos inalterados.

Las características físicas del equipo son las siguientes:

- Altura de molde = 20 cm.
- Diámetro interno de molde = 7,60 cm.

A.II.3.2.1. Objetivo.

- Determinar la permeabilidad en laboratorio de diferentes suelos arcillosos, utilizando el permeámetro de pared flexible, aplicando la ley de Darcy.

A.II.3.2.2. Material utilizado.

- Permeámetro de pared flexible.
- Soporte alimentador de carga.
- Probeta graduada de 25 cc.
- Agua destilada.
- Juego de llaves.
- Desarmador plano y estrella.
- Cronómetro o reloj.
- Regla graduada.
- Cilindro metálico de corte.
- Prensa hidráulica.

A.II.3.2.3. Procedimiento de laboratorio.

- Para realizar el ensayo se debe extraer la muestra del molde del permeámetro de compactación H – 4146, sin modificar sus propiedades. Para esto se fabricó un cilindro de corte con las mismas dimensiones del permeámetro de pared flexible.
- Primero, se debe impregnar con grasa toda la superficie interna del cilindro de corte que entrara en contacto con la muestra, esto para facilitar la extracción de la muestra cortada.
- Se coloca el cilindro encima de la muestra, este debe estar bien centrado, para después aplicar cierta presión colocando una tabla de madera encima del cilindro

y golpeando con un combo de goma, hasta introducir la pestaña de corte del cilindro.

- Con la prensa hidráulica, se corta la muestra, garantizando una presión uniforme entre la superficie de contacto del cilindro y la prensa. La presión aplicada con la prensa hidráulica tiene que ser suave, para no modificar las propiedades de la muestra al momento de cortar la misma.
- Se prepara la celda del permeámetro, verificando que el conducto de salida del flujo no presente obstrucciones.
- Luego de esto se introduce la piedra porosa para evitar la pérdida de material fino.
- Se traslada la muestra del cilindro de corte a la celda del permeámetro de pared flexible, esto se realiza con la ayuda de una pieza metálica fabricada la cual entra en contacto con toda la superficie de la muestra, a la cual se le aplica una presión uniforme para deslizar la muestra hasta que quede totalmente introducida en la celda del permeámetro.
- Encima de la muestra se introduce otra piedra porosa para evitar la pérdida de material fino.
- Se procede a montar la base metálica de compresión, asegurando las tres tuercas en sus ejes.
- Antes de comenzar con la medición, se debe verificar que no existan pérdidas de agua. Para esto se debe realizar una prueba hidráulica.
- Se conecta la manguera del mecanismo alimentador de agua a la tubería de bronce que se encuentra en la base de compresión, cargando agua a través del embudo hasta llenar totalmente el sistema.
- En este momento se debe purgar el aire que se encuentra en la trayectoria de carga, para esto se abre la válvula de escape de aire girando hacia la izquierda.
- Por último, se elige un nivel de referencia de carga de agua en la regla graduada del mecanismo alimentador y se procede a realizar las lecturas en intervalos de tiempos iguales.
- En cada lectura se debe medir el flujo de salida, esto se realiza conectando una manguera a la tubería de bronce que se encuentra en la base de montaje de

aluminio, mediante la cual se recibe el agua que filtra a través de la muestra en una probeta graduada de 25 cc.

- La norma establece como mínimo 4 lecturas de pérdida de carga en la muestra ensayada.

A.II.3.2.4. Cálculos.

- Para calcular el coeficiente de permeabilidad k , se utilizó el principio de la ley de Darcy, mediante la siguiente ecuación:

$$k = 2.3 \frac{L \cdot a}{A \cdot t} \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Donde:

k = coeficiente de permeabilidad (cm/s).

a = Área del tubo vertical de carga (cm²).

A = Área de la muestra (cm²).

L = Longitud de la muestra (cm).

h_1 = Carga hidráulica al principio de la prueba (cm).

h_2 = Carga hidráulica al final de la prueba (cm).

t = Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de h_1 a h_2 (s).

A.II.3.2.5. Reporte fotográfico.

A.II.48. Cilindro de corte



Fuente: Elaboración propia

A.II.49. Comprobación de saturación de muestra



Fuente: Elaboración propia

A.II.50. Proceso de corte de muestra



Fuente: Elaboración propia

A.II.51. Introducción de la pestaña de corte del cilindro.



Fuente: Elaboración propia

A.II.52. Proceso de corte con prensa hidráulica



Fuente: Elaboración propia

A.II.53. Muestra cortada



Fuente: Elaboración propia

A.II.54. Muestra extraída del cilindro de corte



Fuente: Elaboración propia

A.II.55. Montaje de la muestra cortada a la célula del permeámetro



Fuente: Elaboración propia

A.II.56. Muestra introducida en la célula del permeámetro



Fuente: Elaboración propia

A.II.57. Montaje de la base de compresión a la célula del permeámetro.



Fuente: Elaboración propia

A.II.58. Ejecución del ensayo de laboratorio



Fuente: Elaboración propia

ANEXO III

PROCESAMIENTO DE DATOS Y

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE

LABORATORIO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**GRANULOMETRÍA MÉTODO LAVADO
 ASTM D 422**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

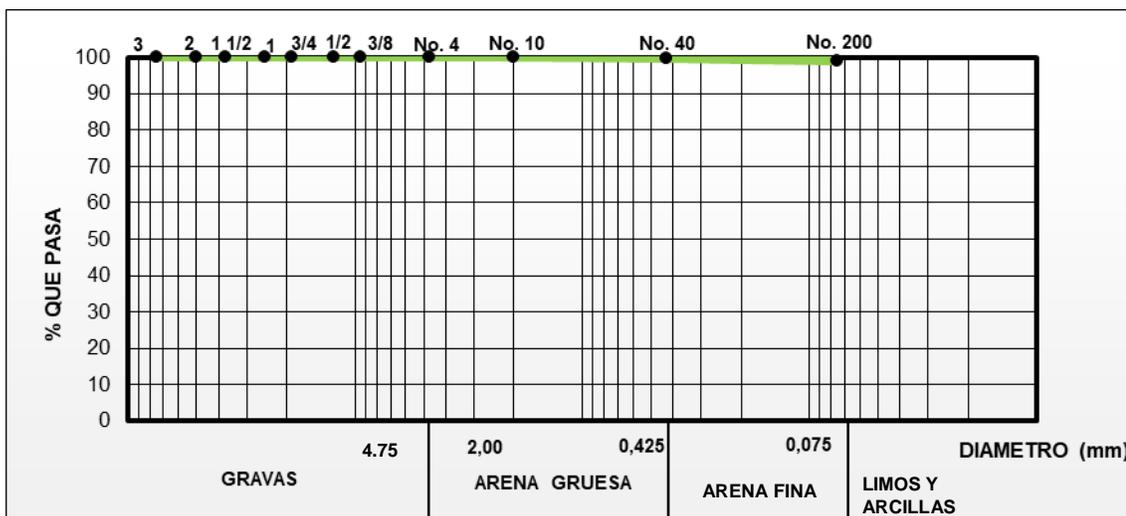
Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Enero de 2019.

Identificación: Muestra N° 1.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Tamices	Peso Total (gr)		1000	Ret. Acum (%)	% Que Pasa del Total
	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)		
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N°10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N°40	0,425	2,10	2,10	0,21	99,79
N°200	0,075	8,60	10,70	1,07	98,93
Base		989,30			



.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**GRANULOMETRÍA MÉTODO LAVADO
 ASTM D 422**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

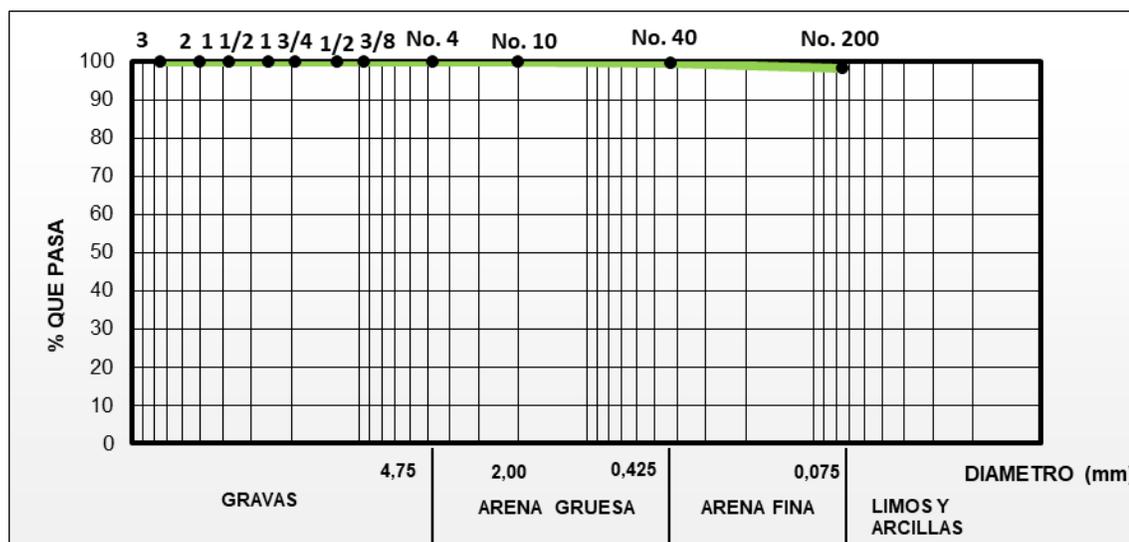
Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Enero de 2019.

Identificación: Muestra N° 2.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Tamices	Peso Total (gr)		1000		
	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	Ret. Acum (%)	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N°10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N°40	0,425	6,10	6,10	0,61	99,39
N°200	0,075	10,40	16,50	1,65	98,35
Base		983,50			



.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**GRANULOMETRÍA MÉTODO LAVADO
 ASTM D 422**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

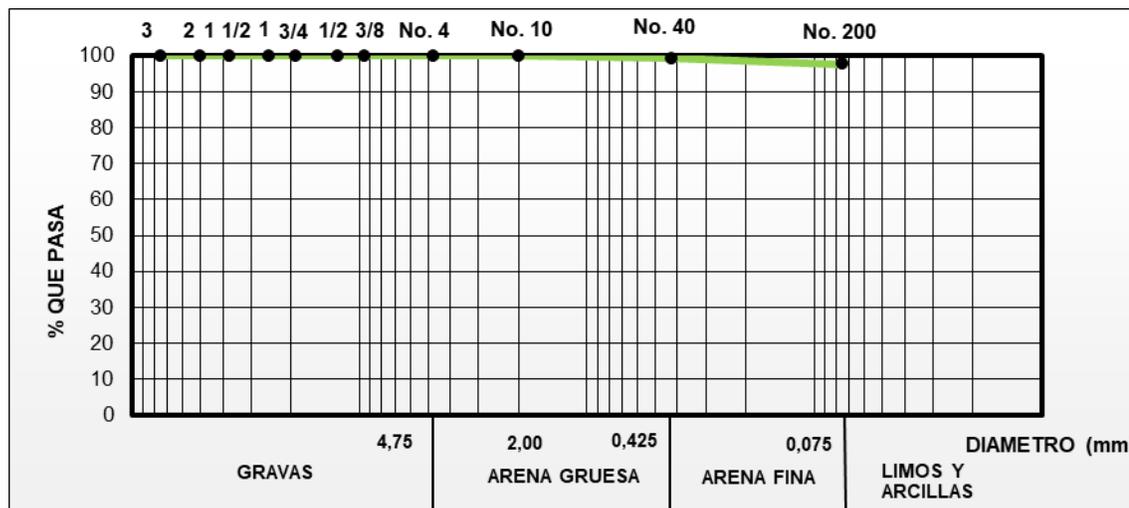
Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Enero de 2019.

Identificación: Muestra N° 3.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Tamices	Peso Total (gr)		1000		
	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	Ret. Acum (%)	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N°10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N°40	0,425	7,40	7,40	0,74	99,26
N°200	0,075	14,80	22,20	2,22	97,78
Base		977,80			



.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**GRANULOMETRÍA MÉTODO LAVADO
 ASTM D 422**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

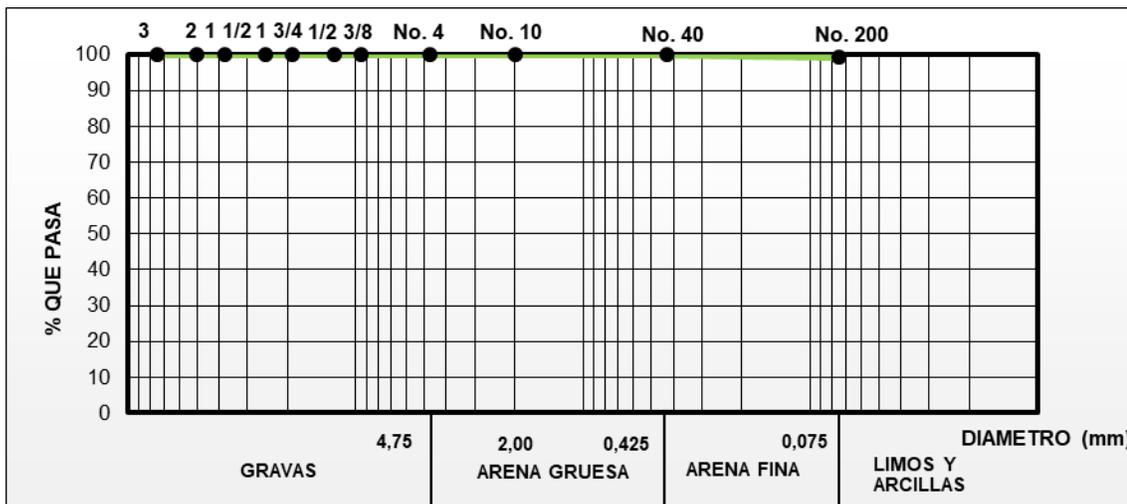
Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Enero de 2019.

Identificación: Muestra N° 4.

Laboralista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Tamices	Peso Total (gr)		1000		
	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	Ret. Acum (%)	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N°10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N°40	0,425	0,00	0,00	0,00	100,00
N°200	0,075	8,00	8,00	0,80	99,20
Base		992,00			



Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboralista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**GRANULOMETRÍA MÉTODO LAVADO
 ASTM D 422**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

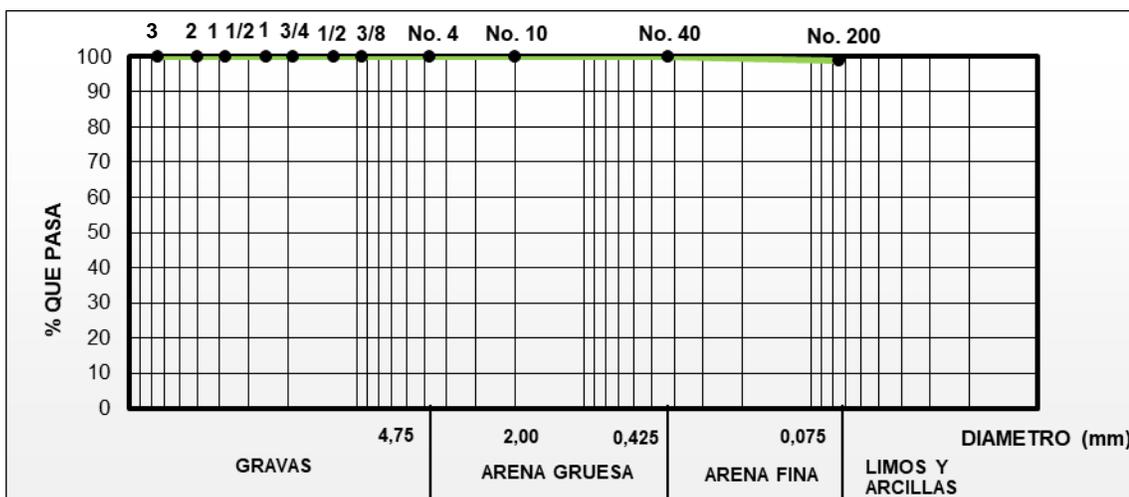
Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Enero de 2019.

Identificación: Muestra N° 5.

Laboralista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Peso Total (gr)			1000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	Ret. Acum (%)	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N°10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N°40	0,425	0,00	0,00	0,00	100,00
N°200	0,075	9,90	9,90	0,99	99,01
Base		990,10			



Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboralista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**GRANULOMETRÍA MÉTODO LAVADO
 ASTM D 422**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

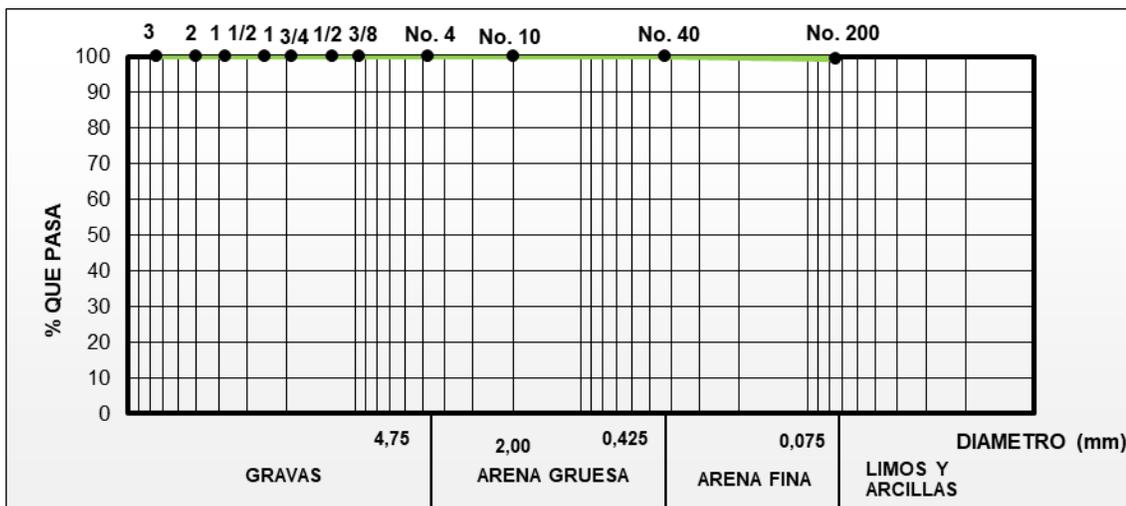
Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Enero de 2019.

Identificación: Muestra N° 6.

Laboradorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Peso Total (gr)		1000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	Ret. Acum (%)	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N°10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N°40	0,425	0,00	0,00	0,00	100,00
N°200	0,075	6,90	6,90	0,69	99,31
Base		993,10			



.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboradorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAE SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS

CALIBRACIÓN DE FRASCO VOLUMÉTRICO

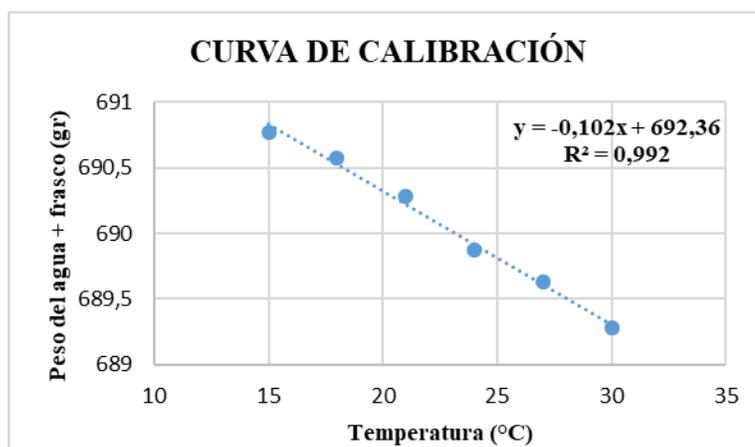
Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Fecha: Enero de 2019.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Peso del frasco seco y limpio	213,61	gr
Peso del frasco + agua	Wfw	gr
Temperatura	T	°C

Ensayo	Wfw	T
N°	(gr)	(° C)
1	689,28	30
2	689,63	27
3	689,87	24
4	690,28	21
5	690,58	18
6	690,77	15



Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

PESO ESPECÍFICO RELATIVO
ASTM D854

Proyecto: “Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos”

Procedencia: Barrio El Portillo.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Identificación: Muestra N° 1.

Fecha: Enero de 2019.

Número de ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada (°C)	30	26	22	18	15	
Peso de suelo húmedo + tara (gr)	195,600	213,500	213,500	213,500	213,500	
Peso de suelo seco + tara (gr)	190,000	190,000	190,000	190,000	190,000	
Peso de tara (gr)	110,000	110,000	110,000	110,000	110,000	
Peso del suelo seco W_s (gr)	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	
Peso del frasco + agua W_{fw} (gr)	689,300	689,708	690,116	690,524	690,830	
Peso del frasco + agua + suelo W_{fws} (gr)	739,730	740,210	740,660	741,110	741,480	
Peso específico	2,705	2,712	2,716	2,720	2,726	
Factor de corrección K	0,999	1,000	1,000	1,001	1,002	
Peso específico corregido	2,709	2,713	2,715	2,717	2,721	2,715

El peso específico relativo de la muestra es

2,71

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

PESO ESPECÍFICO RELATIVO
ASTM D854

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos"

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Identificación: Muestra N° 2.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Enero 2019.

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada (°C)	30	26	23	18	15	
Peso de suelo húmedo + tara (gr)	197,820	197,820	197,820	197,820	197,820	
Peso de suelo seco + tara (gr)	194,380	194,380	194,380	194,380	194,380	
Peso de tara (gr)	117,820	117,820	117,820	117,820	117,820	
Peso del suelo seco W_s (gr)	76,560	76,560	76,560	76,560	76,560	
Peso del frasco + agua W_{fw} (gr)	689,300	689,708	690,014	690,524	690,830	
Peso del frasco + agua + suelo W_{fws} (gr)	737,410	737,860	738,270	738,810	739,170	
Peso específico	2,691	2,695	2,705	2,708	2,713	
Factor de corrección K	0,999	1,000	1,000	1,001	1,002	
Peso específico corregido	2,694	2,696	2,704	2,705	2,708	2,701

El peso específico relativo de la muestra es **2,70**

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

PESO ESPECÍFICO RELATIVO
ASTM D854

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

Identificación: Muestra N° 3.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Enero de 2019.

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada (°C)	30	27	22	18	15	
Peso de suelo húmedo + tara (gr)	192,100	192,100	192,100	192,100	192,100	
Peso de suelo seco + tara (gr)	188,800	188,800	188,800	188,800	188,800	
Peso de tara (gr)	112,000	112,000	112,000	112,000	112,000	
Peso del suelo seco W_s (gr)	76,800	76,800	76,800	76,800	76,800	
Peso del frasco + agua W_{fw} (gr)	689,300	689,606	690,116	690,524	690,830	
Peso del frasco + agua + suelo W_{fws} (gr)	737,370	737,730	738,280	738,740	739,120	
Peso específico	2,673	2,678	2,682	2,687	2,694	
Factor de corrección K	0,999	0,999	1,000	1,001	1,002	
Peso específico corregido	2,676	2,680	2,681	2,684	2,689	2,682

El peso específico relativo de la muestra es

2,68

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

PESO ESPECÍFICO RELATIVO
ASTM D854

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Identificación: Muestra N° 4.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Enero de 2019.

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada (°C)	30	25	22	18	15	
Peso de suelo húmedo + tara (gr)	207,970	207,970	207,970	207,970	207,970	
Peso de suelo seco + tara (gr)	203,640	203,640	203,640	203,640	203,640	
Peso de tara (gr)	127,770	127,770	127,770	127,770	127,770	
Peso del suelo seco W _s (gr)	75,870	75,870	75,870	75,870	75,870	
Peso del frasco + agua W _{fw} (gr)	689,300	689,810	690,116	690,524	690,830	
Peso del frasco + agua + suelo W _{fws} (gr)	737,420	738,000	738,350	738,800	739,200	
Peso específico	2,734	2,741	2,745	2,750	2,759	
Factor de corrección K	0,999	1,000	1,000	1,001	1,002	
Peso específico corregido	2,737	2,742	2,744	2,746	2,754	2,745

El peso específico relativo de la muestra es

2,74

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAE SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

PESO ESPECÍFICO RELATIVO
ASTM D854

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, Permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Identificación: Muestra N° 5.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Enero de 2019.

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada (°C)	30	25	22	18	15	
Peso de suelo húmedo + tara (gr)	181,240	181,240	181,240	181,240	181,240	
Peso de suelo seco + tara (gr)	171,310	171,310	171,310	171,310	171,310	
Peso de tara (gr)	101,240	101,240	101,240	101,240	101,240	
Peso del suelo seco W _s (gr)	70,070	70,070	70,070	70,070	70,070	
Peso del frasco + agua W _{fw} (gr)	689,300	689,810	690,116	690,524	690,830	
Peso del frasco + agua + suelo W _{fws} (gr)	733,630	734,210	734,580	735,030	735,360	
Peso específico	2,722	2,730	2,736	2,741	2,744	
Factor de corrección K	0,999	1,000	1,000	1,001	1,002	
Peso específico corregido	2,725	2,730	2,735	2,738	2,739	2,733

El peso específico relativo de la muestra es

2,73

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

PESO ESPECÍFICO RELATIVO
ASTM D854

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Identificación: Muestra N° 6.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Enero de 2019.

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada (°C)	29	25	22	18	15	
Peso de suelo húmedo + tara (gr)	203,100	203,100	203,100	203,100	203,100	
Peso de suelo seco + tara (gr)	190,700	190,700	190,700	190,700	190,700	
Peso de tara (gr)	123,000	123,000	123,000	123,000	123,000	
Peso del suelo seco W _s (gr)	67,700	67,700	67,700	67,700	67,700	
Peso del frasco + agua W _{fw} (gr)	689,402	689,810	690,116	690,524	690,830	
Peso del frasco + agua + suelo W _{fws} (gr)	732,520	732,970	733,310	733,750	734,110	
Peso específico	2,754	2,759	2,763	2,766	2,772	
Factor de corrección K	0,999	1,000	1,000	1,001	1,002	
Peso específico corregido	2,757	2,759	2,761	2,763	2,767	2,762

El peso específico relativo de la muestra es

2,76

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

HIDRÓMETRO ASTM D 422

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio El Portillo.

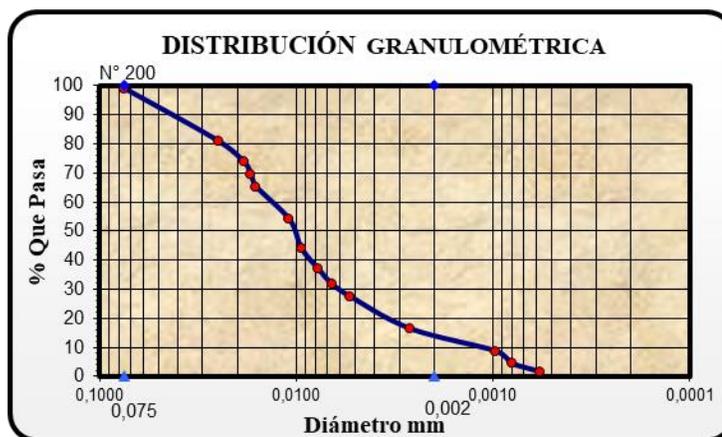
Identificación: Muestra N° 1.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Febrero de 2019.

Modelo Hidrómetro	152 H	Peso específico	2,71	gr/cm ³
Peso suelo seco	70 gr	Factor (a)	0,988	

Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °C.	Lectura Real R'.	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
9:00	0	21	60	61	6,5	0,0133	0	0,200	61,200	0,075	98,93
9:02	2	21	55	57	7	0,0133	3,500	0,200	57,200	0,0248	79,87
9:04	4	21	51	52	7,8	0,0133	1,950	0,200	52,200	0,0185	72,89
9:05	5	21	48	49	8,3	0,0133	1,660	0,200	49,200	0,0171	68,70
9:06	6	21	45	46	8,8	0,0133	1,467	0,200	46,200	0,0161	64,51
9:15	15	21	37	38	10,1	0,0133	0,673	0,200	38,200	0,0109	53,34
9:22	22	21	30	31	11,2	0,0133	0,509	0,200	31,200	0,0095	43,57
9:35	35	21	25	26	12	0,0133	0,343	0,200	26,200	0,0078	36,58
9:50	50	22	21	22	12,7	0,0131	0,254	0,400	22,400	0,0066	31,28
10:20	80	22	18	19	13,2	0,0131	0,165	0,400	19,400	0,0053	27,09
14:45	345	23	10	11	14,5	0,0130	0,042	0,700	11,700	0,0027	16,34
9:00	2880	21	5	6	15,3	0,0133	0,005	0,200	6,200	0,0010	8,66
9:00	4320	21	2	3	15,8	0,0133	0,004	0,200	3,200	0,0008	4,47
9:00	8640	21	0	1	16,1	0,0133	0,002	0,200	1,200	0,0006	1,68



% Pasa No 200	98,93
% Limo Parcial	84,75
% Arcilla Parcial	14,18

Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

HIDRÓMETRO ASTM D 422

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

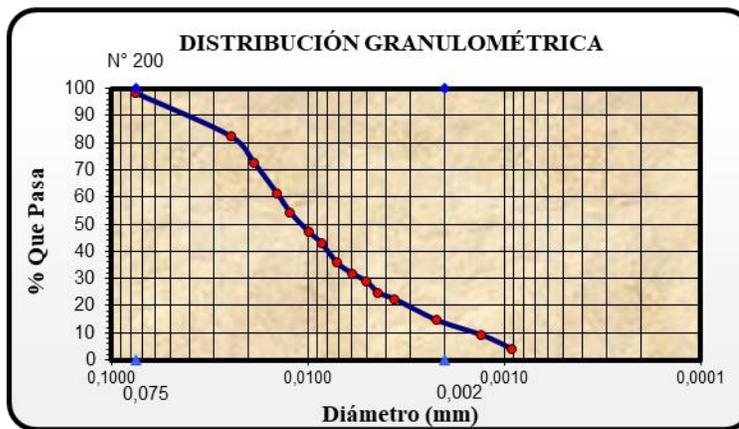
Identificación: Muestra N° 2.

Laboralista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Febrero de 2019.

Modelo Hidrómetro	152 H	Peso específico	2,70	gr/cm ³
Peso suelo seco	70 gr	Factor (a)	0,99	

Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °c.	Lectura Real R'	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
9:00	0	21	60	61	6,5	0,0133	0	0,200	61,200	0,075	98,35
9:02	2	21	57	58	6,8	0,0133	3,400	0,200	58,200	0,0245	80,95
9:04	4	21	50	51	7,9	0,0133	1,975	0,200	51,200	0,0187	71,22
9:08	8	21	42	43	9,2	0,0133	1,150	0,200	43,200	0,0143	60,09
9:12	12	21	37	38	10,1	0,0133	0,842	0,200	38,200	0,0122	53,13
9:20	20	21	32	33	10,9	0,0133	0,545	0,200	33,200	0,0098	46,18
9:28	28	21	29	30	11,4	0,0133	0,407	0,200	30,200	0,0085	42,01
9:43	43	21	24	25	12,2	0,0133	0,284	0,200	25,200	0,0071	35,05
10:02	62	22	21	22	12,7	0,0131	0,205	0,400	22,400	0,0059	31,16
10:28	88	22	19	20	13	0,0131	0,148	0,400	20,400	0,0050	28,38
11:01	121	22	16	17	13,5	0,0131	0,112	0,400	17,400	0,0044	24,20
12:00	180	23	14	15	13,8	0,0130	0,077	0,700	15,700	0,0036	21,84
18:00	540	21	9	10	14,7	0,0133	0,027	0,200	10,200	0,0022	14,19
10:30	1530	22	5	6	15,3	0,0131	0,010	0,400	6,400	0,0013	8,90
15:30	3270	23	1	2	16	0,0130	0,005	0,700	2,700	0,0009	3,76
15:30	4710	23	0	1	16,1	0,0130	0,003	0,700	1,700	0,0008	2,36



% Pasa No 200	98,35
% Limo Parcial	85,11
% Arcilla Parcial	13,24

Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboralista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

HIDRÓMETRO ASTM D 422

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

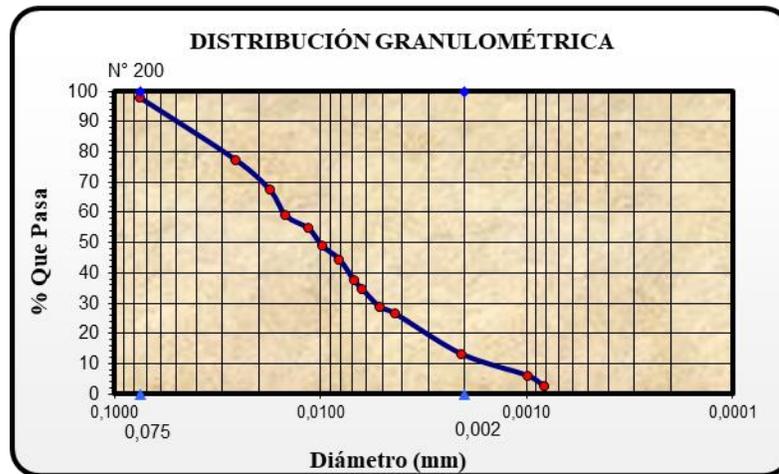
Identificación: Muestra N° 3.

Laboralista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Febrero de 2019.

Modelo Hidrómetro	152 H	Peso específico	2,68	gr/cm ³
Peso suelo seco	70 gr	Factor (a)	0,994	

Hora de Lectura	Tiempo Transc. Min.	Temp. °c.	Lectura Real R'	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
8:30	0	21	60	61	6,5	0,0134	0	0,400	61,400	0,075	97,78
8:02	2	21	53	54	7,4	0,0134	3,700	0,400	54,400	0,0257	75,53
8:05	5	21	46	47	8,6	0,0134	1,720	0,400	47,400	0,0175	65,81
8:38	8	21	40	41	9,6	0,0134	1,200	0,400	41,400	0,0147	57,48
8:44	14	21	37	38	10,1	0,0134	0,721	0,400	38,400	0,0114	53,32
8:50	20	21	33	34	10,7	0,0134	0,535	0,400	34,400	0,0098	47,76
9:00	30	22	30	31	11,2	0,0132	0,373	0,200	31,200	0,0081	43,32
9:15	45	22	25	26	12	0,0132	0,267	0,200	26,200	0,0068	36,38
9:25	55	22	23	24	12,4	0,0132	0,225	0,400	24,400	0,0063	33,88
9:55	85	22	19	20	13	0,0132	0,153	0,200	20,200	0,0052	28,05
10:30	120	23	17	18	13,3	0,0131	0,111	0,700	18,700	0,0044	25,96
18:30	600	23	8	9	14,8	0,0131	0,025	0,200	9,200	0,0021	12,77
8:30	2880	21	3	4	15,6	0,0134	0,005	0,200	4,200	0,0010	5,83
8:30	4320	21	0	1	16,1	0,0134	0,004	0,700	1,700	0,0008	2,36



% Pasa No 200	97,78
% Limo Parcial	85,26
% Arcilla Parcial	12,52

Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboralista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

HIDRÓMETRO ASTM D 422

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

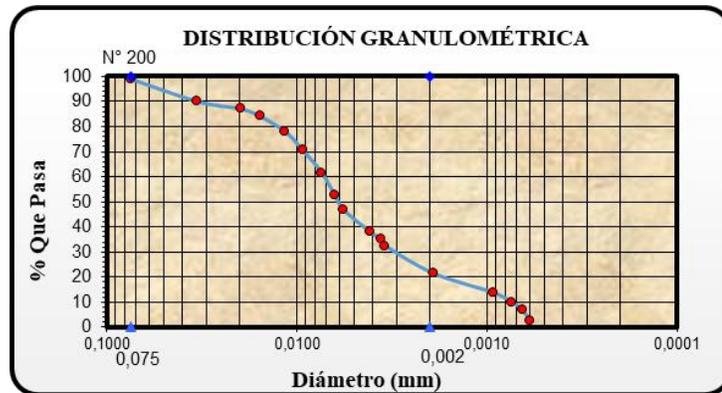
Identificación: Muestra N° 4.

Laboralista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Febrero de 2019.

Modelo Hidrómetro	152 H	Peso específico	2,74	gr/cm ³
Peso suelo seco	65 gr	Factor (a)	0,982	

Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °C.	Lectura Real R'.	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
8:30	0	21	60	60	6,5	0,0131	0	0,200	60,200	0,075	99,20
8:01	1	21	59	60	6,5	0,0131	6,500	0,200	60,200	0,0335	90,22
8:03	3	21	57	58	6,8	0,0131	2,267	0,200	58,200	0,0198	87,22
8:06	5	21	55	56	7,1	0,0131	1,420	0,200	56,200	0,0157	84,23
8:10	10	21	51	52	7,8	0,0131	0,780	0,200	52,200	0,0116	78,23
8:17	17	21	46	47	8,6	0,0131	0,506	0,200	47,200	0,0093	70,74
8:30	30	21	40	41	9,6	0,0131	0,320	0,200	41,200	0,0074	61,75
8:45	45	21	34	35	10,5	0,0131	0,233	0,200	35,200	0,0063	52,75
9:00	60	21	30	31	11,2	0,0131	0,187	0,200	31,200	0,0057	46,76
10:00	120	22	24	25	12,2	0,0129	0,102	0,400	25,400	0,0041	38,07
10:40	160	22	22	23	12,5	0,0129	0,078	0,400	23,400	0,0036	35,07
11:00	180	23	20	21	12,9	0,0128	0,072	0,700	21,700	0,0034	32,52
19:00	630	22	13	14	14	0,0129	0,022	0,400	14,400	0,0019	21,58
9:30	2970	21	8	9	14,8	0,0131	0,005	0,200	9,200	0,0009	13,79
12:00	4560	23	5	6	15,3	0,0128	0,003	0,700	6,700	0,0007	10,04
12:00	6000	23	3	4	15,6	0,0128	0,003	0,700	4,700	0,0007	7,04
12:00	7440	23	0	1	16,1	0,0128	0,002	0,700	1,700	0,0006	2,55



% Pasa No 200	99,20
% Limo Parcial	76,93
% Arcilla Parcial	22,27

Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboralista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

HIDRÓMETRO ASTM D 422

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

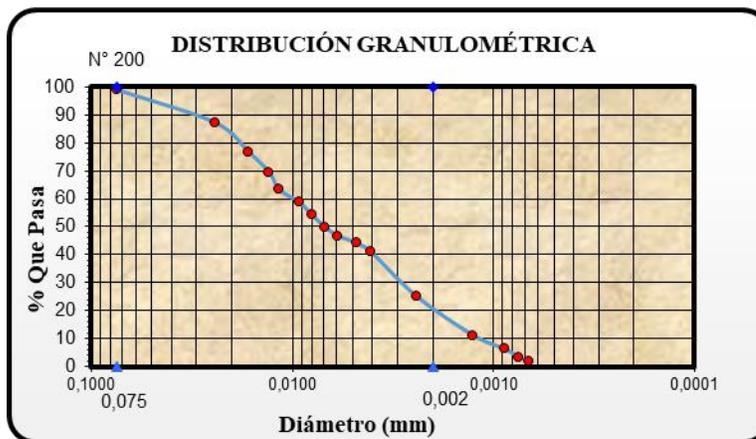
Identificación: Muestra N° 5.

Laboralista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Febrero de 2019.

Modelo Hidrómetro	152 H	Peso específico:	2,73	gr/cm ³
Peso suelo seco	65 gr	Factor (a)	0,984	

Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °C.	Lectura Real R'	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Re.	Diam. Partícula Mm	% Mas Fino
9:00	0	21	60	60	6,5	0,0132	0	0,200	60,200	0,075	99,01
9:02	2	21	57	58	6,8	0,0132	3,400	0,200	58,200	0,0243	87,23
9:05	5	21	50	51	7,9	0,0132	1,580	0,200	51,200	0,0166	76,74
9:09	9	21	45	46	8,8	0,0132	0,978	0,200	46,200	0,0130	69,25
9:12	12	21	41	42	9,4	0,0132	0,783	0,200	42,200	0,0117	63,25
9:20	20	21	38	39	9,9	0,0132	0,495	0,200	39,200	0,0093	58,76
9:28	28	21	35	36	10,4	0,0132	0,371	0,200	36,200	0,0080	54,26
9:40	40	21	32	33	10,9	0,0132	0,273	0,200	33,200	0,0069	49,76
9:55	55	21	30	31	11,2	0,0132	0,204	0,200	31,200	0,0059	46,76
10:25	85	22	28	29	11,5	0,0130	0,135	0,400	29,400	0,0048	44,07
11:00	120	22	26	27	11,9	0,0130	0,099	0,400	27,400	0,0041	41,07
15:30	390	23	15	16	13,7	0,0129	0,035	0,700	16,700	0,0024	25,03
12:00	1620	22	6	7	15,2	0,0130	0,009	0,400	7,400	0,0013	11,09
19:00	3480	21	3	4	15,5	0,0132	0,004	0,200	4,200	0,0009	6,30
19:00	4920	21	1	2	15,8	0,0132	0,003	0,200	2,200	0,0007	3,30
19:00	6360	21	0	1	16,3	0,0132	0,003	0,200	1,200	0,0007	1,80



% Pasa No 200	99,01
% Limo Parcial	78,00
% Arcilla Parcial	21,01

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboralista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

HIDRÓMETRO ASTM D 422

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

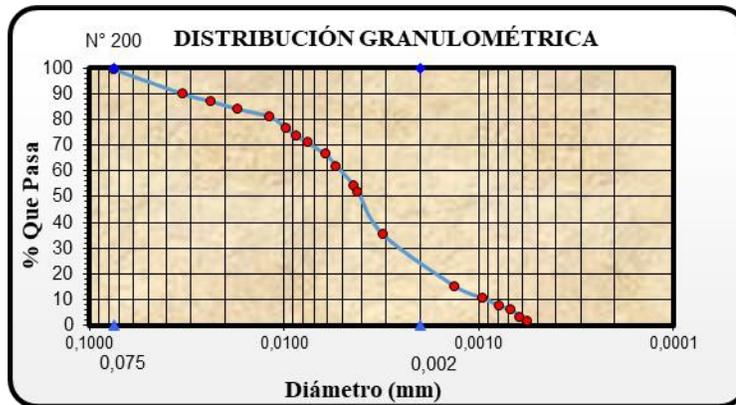
Identificación: Muestra N° 6.

Laboralista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Fecha: Febrero de 2019.

Modelo Hidrómetro	152 H	Peso específico	2,76	gr/cm ³
Peso suelo seco	65 gr	Factor (a)	0,978	

Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °c.	Lectura Real R'.	Lectura Correg R.	Prof, Efec, L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
8:30	0	21	60	60	6,5	0,0131	0	0,200	60,200	0,075	99,31
8:31	1	21	59	60	6,5	0,0131	6,500	0,200	60,200	0,0333	89,95
8:32	2	21	57	58	6,6	0,0131	3,300	0,200	58,200	0,0237	86,96
8:35	4	21	55	56	7	0,0131	1,750	0,200	56,200	0,0173	83,98
8:40	9	21	53	54	7,4	0,0131	0,822	0,200	54,200	0,0118	80,99
8:45	14	21	50	51	7,9	0,0131	0,564	0,200	51,200	0,0098	76,50
9:00	25	22	46	47	8,6	0,0129	0,344	0,400	47,400	0,0076	70,83
9:15	40	22	43	44	9,1	0,0129	0,228	0,400	44,400	0,0061	66,34
10:05	90	22	35	36	10,4	0,0129	0,116	0,400	36,400	0,0044	54,39
10:30	100	23	33	34	10,7	0,0128	0,107	0,700	34,700	0,0042	51,85
12:00	210	23	22	23	12,5	0,0128	0,060	0,700	23,700	0,0031	35,41
8:30	1440	21	9	10	14,7	0,0131	0,010	0,200	10,200	0,0013	15,24
8:30	2880	21	6	7	15,2	0,0131	0,005	0,200	7,200	0,0009	10,76
8:30	4320	21	4	5	15,5	0,0131	0,004	0,200	5,200	0,0008	7,77
8:30	5760	21	3	4	15,6	0,0131	0,003	0,200	4,200	0,0007	6,28
8:30	7200	21	1	2	16	0,0131	0,002	0,200	2,200	0,0006	3,29
8:30	8640	21	0	1	16,1	0,0131	0,002	0,200	1,200	0,0006	1,79



% Pasa No 200	99,31
% Limo Parcial	74,30
% Arcilla Parcial	25,01

Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboralista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**LÍMITES DE ATTERBERG
 ASTM D4318**

Proyecto: “Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos”.

Procedencia: Barrio El Portillo.

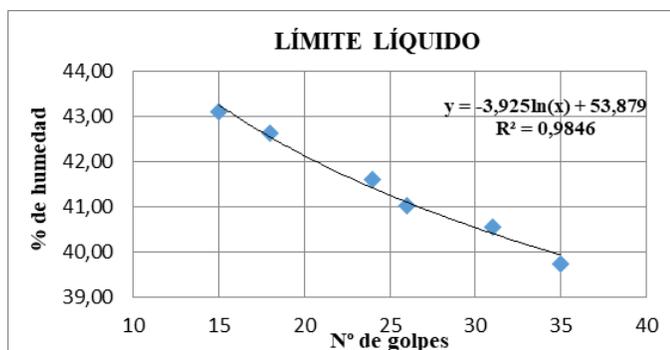
Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra N° 1.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Límite Líquido.

Capsula N°	1	2	3	4	5	6
N° de golpes	15	18	24	26	31	35
Suelo Húmedo + Cápsula (gr)	36,13	38,11	35,28	37,60	35,58	32,41
Suelo Seco + Cápsula (gr)	30,69	32,3	30,56	32,37	31,27	26,76
Peso del agua (gr)	5,44	5,81	4,72	5,23	4,31	5,65
Peso de la Cápsula (gr)	18,07	18,67	19,21	19,62	20,64	12,54
Peso Suelo seco (gr)	12,62	13,63	11,35	12,75	10,63	14,22
Porcentaje de Humedad (%)	43,11	42,63	41,59	41,02	40,55	39,73



Límite Plástico.

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	22,04	20,32	22,33
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	21,35	19,80	21,58
Peso de cápsula (gr)	18,53	17,72	18,52
Peso de suelo seco (gr)	2,82	2,08	3,06
Peso del agua (gr)	0,69	0,52	0,75
Contenido de humedad (%)	24,47	25,00	24,51

Límite Líquido (LL) 41 %
Límite Plástico (LP) 25 %
Índice de plasticidad (IP) 17 %

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**LÍMITES DE ATTERBERG
 ASTM D4318**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

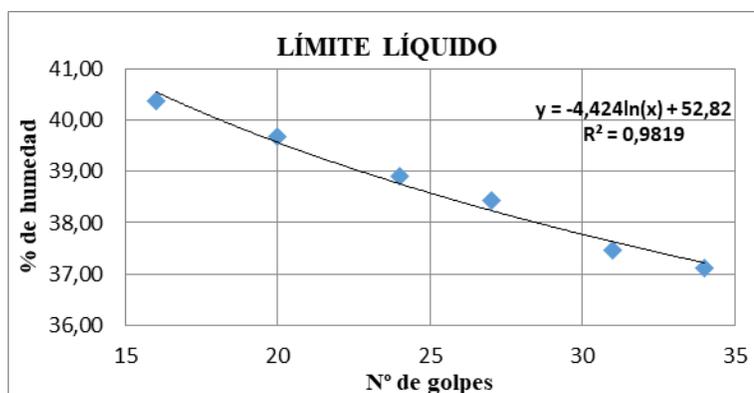
Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra N° 2.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Límite Líquido.

Capsula N°	1	2	3	4	5	6
N° de golpes	16	20	24	27	31	34
Suelo Húmedo + Cápsula (gr)	29,29	32,32	31,19	31,86	30,09	40,91
Suelo Seco + Cápsula (gr)	25,16	26,73	26,26	27,99	25,64	34,64
Peso del agua (gr)	4,13	5,59	4,93	3,87	4,45	6,27
Peso de la Cápsula (gr)	14,93	12,64	13,59	17,92	13,76	17,75
Peso Suelo seco (gr)	10,23	14,09	12,67	10,07	11,88	16,89
Porcentaje de Humedad (%)	40,37	39,67	38,91	38,43	37,46	37,12



Límite Plástico.

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	15,78	15,80	17,01
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	15,25	15,17	16,29
Peso de cápsula (gr)	12,93	12,52	13,15
Peso de suelo seco (gr)	2,32	2,65	3,14
Peso del agua (gr)	0,53	0,63	0,72
Contenido de humedad (%)	22,84	23,77	22,93

Límite Líquido (LL) 39 %
Límite Plástico (LP) 23 %
Índice de plasticidad (IP) 15 %

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**LÍMITES DE ATTERBERG
 ASTM D4318**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

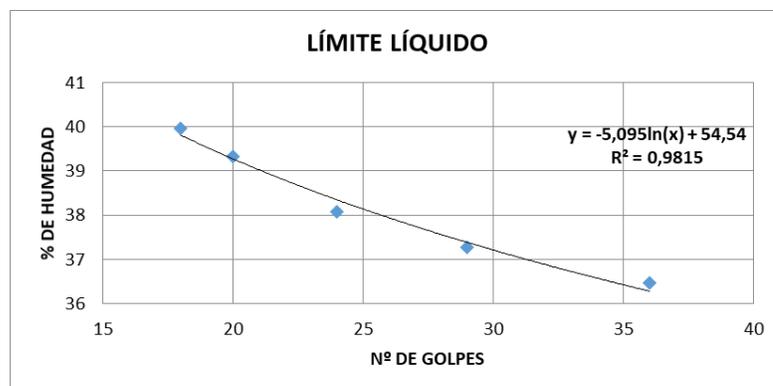
Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra N° 3.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Límite Líquido.

Capsula N°	1	2	3	4	5
N° de golpes	18	20	24	29	36
Suelo Húmedo + Cápsula (gr)	27,64	26,26	26,36	26,12	27,72
Suelo Seco + Cápsula (gr)	25,03	23,92	24,11	24,13	25,86
Peso del agua (gr)	2,61	2,34	2,25	1,99	1,86
Peso de la Cápsula (gr)	18,5	17,97	18,2	18,79	20,76
Peso Suelo seco (gr)	6,53	5,95	5,91	5,34	5,10
Porcentaje de Humedad (%)	39,97	39,33	38,07	37,27	36,47



Límite Plástico.

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	21,80	21,25	23,15
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	21,24	20,59	22,53
Peso de cápsula (gr)	18,92	17,92	19,94
Peso de suelo seco (gr)	2,32	2,67	2,59
Peso del agua (gr)	0,56	0,66	0,62
Contenido de Humedad (%)	24,14	24,72	23,94

Límite Líquido (LL) 38 %
Límite Plástico (LP) 24 %
Índice de plasticidad (IP) 14 %

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**LÍMITES DE ATTERBERG
 ASTM D4318**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

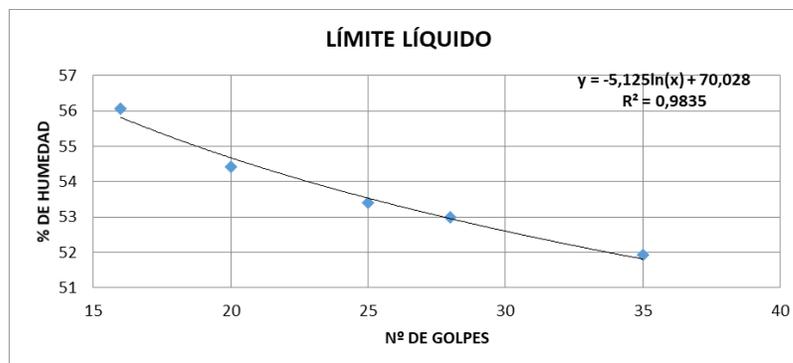
Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra N° 4.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Límite Líquido.

Capsula N°	1	2	3	4	5
N° de golpes	16	20	25	28	35
Suelo Húmedo + Cápsula (gr)	32,81	32,12	36,56	33,07	36,11
Suelo Seco + Cápsula (gr)	27,44	27,19	30,26	28,11	30,2
Peso del agua (gr)	5,37	4,93	6,3	4,96	5,91
Peso de la Cápsula (gr)	17,86	18,13	18,46	18,75	18,82
Peso Suelo seco (gr)	9,58	9,06	11,8	9,36	11,38
Porcentaje de Humedad (%)	56,05	54,42	53,39	52,99	51,93



Límite Plástico.

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	21,70	23,83	23,60
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	21,04	23,14	22,69
Peso de cápsula (gr)	18,82	20,75	19,61
Peso de suelo seco (gr)	2,22	2,39	3,08
Peso del agua (gr)	0,66	0,69	0,91
Contenido de Humedad (%)	29,73	28,87	29,55

Límite Líquido (LL) 54 %
Límite Plástico (LP) 29 %
Índice de plasticidad (IP) 24 %

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**LÍMITES DE ATTERBERG
 ASTM D4318**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

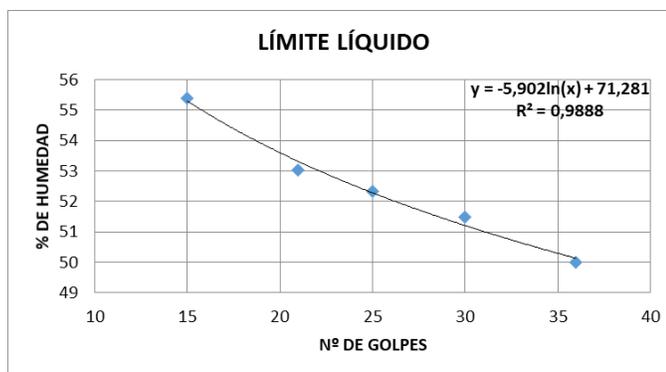
Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra N° 5.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Límite Líquido.

Capsula N°	1	2	3	4	5
N° de golpes	15	21	25	30	36
Suelo Húmedo + Cápsula (gr)	28,98	25,29	30,36	27,55	27,30
Suelo Seco + Cápsula (gr)	25,13	22,84	26,77	24,58	24,62
Peso del agua (gr)	3,85	2,45	3,59	2,97	2,68
Peso de la Cápsula (gr)	18,18	18,22	19,91	18,81	19,26
Peso Suelo seco (gr)	6,95	4,62	6,86	5,77	5,36
Porcentaje de Humedad (%)	55,40	53,03	52,33	51,47	50,00



Límite Plástico.

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	20,18	20,50	20,90
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	19,78	19,88	20,32
Peso de cápsula (gr)	18,39	17,63	18,27
Peso de suelo seco (gr)	1,39	2,25	2,05
Peso del agua (gr)	0,40	0,62	0,58
Contenido de Humedad (%)	28,78	27,56	28,29

Límite Líquido (LL) 52 %
Límite Plástico (LP) 28 %
Índice de plasticidad (IP) 24 %

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**LÍMITES DE ATTERBERG
 ASTM D4318**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

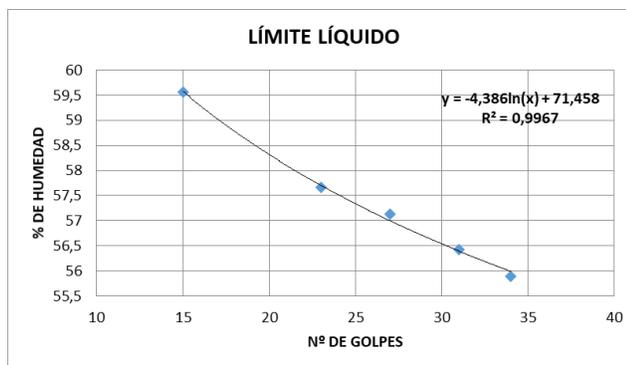
Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra N° 6.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Límite Líquido.

Capsula N°	1	2	3	4	5
N° de golpes	15	23	27	31	34
Suelo Húmedo + Cápsula (gr)	26,02	27,23	25,30	26,63	27,55
Suelo Seco + Cápsula (gr)	21,16	22,08	20,77	21,58	22,62
Peso del agua (gr)	4,86	5,15	4,53	5,05	4,93
Peso de la Cápsula (gr)	13	13,15	12,84	12,63	13,8
Peso Suelo seco (gr)	8,16	8,93	7,93	8,95	8,82
Porcentaje de Humedad (%)	59,56	57,67	57,12	56,42	55,90



Límite Plástico.

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	17,58	21,12	24,43
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	16,64	20,38	23,45
Peso de cápsula (gr)	13,60	18,00	20,34
Peso de suelo seco (gr)	3,04	2,38	3,11
Peso del agua (gr)	0,94	0,74	0,98
Contenido de Humedad (%)	30,92	31,09	31,51

Límite Líquido (LL) 57 %
Límite Plástico (LP) 31 %
Índice de plasticidad (IP) 26 %

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

HUMEDAD NATURAL Y CLASIFICACIÓN

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra 1.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	28,86	26,58	36,83
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	27,26	25,44	34,25
Peso de cápsula (gr)	13,66	14,98	13,87
Peso de suelo seco (gr)	13,6	10,46	20,38
Peso del agua (gr)	1,60	1,14	2,58
Contenido de humedad (%)	11,76	10,90	12,66
Promedio (%)	11,77		

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	SUCS: CL AASHTO: A-7-5 (11)
DESCRIPCIÓN	Arcilla inorgánica de mediana compresibilidad.

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

HUMEDAD NATURAL Y CLASIFICACIÓN

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra 2.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	24,67	30,03	25,69
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	23,35	28,25	24,49
Peso de cápsula (gr)	12,97	12,83	13,02
Peso de suelo seco (gr)	10,38	15,42	11,47
Peso del agua (gr)	1,32	1,78	1,20
Contenido de humedad (%)	12,72	11,54	10,46
Promedio (%)	11,57		

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	SUCS: CL AASHTO: A-6 (10)
DESCRIPCIÓN	Arcilla inorgánica de mediana compresibilidad.

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

HUMEDAD NATURAL Y CLASIFICACIÓN

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra 3.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	53,70	49,50	69,10
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	49,30	45,50	62,90
Peso de cápsula (gr)	12,90	12,70	13,10
Peso de suelo seco (gr)	36,40	32,8	49,80
Peso del agua (gr)	4,40	4,00	6,20
Contenido de humedad (%)	12,09	12,20	12,45
Promedio (%)	12,24		

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	SUCS: CL AASHTO: A-6 (10)
DESCRIPCIÓN	Arcilla Inorgánica de mediana compresibilidad.

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

HUMEDAD NATURAL Y CLASIFICACIÓN

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra 4.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	33,78	38,21	35,47
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	31,15	34,73	32,4
Peso de cápsula (gr)	15,20	12,6	13,50
Peso de suelo seco (gr)	15,95	22,13	18,90
Peso del agua (gr)	2,63	3,48	3,07
Contenido de humedad (%)	16,48	15,73	16,24
Promedio (%)	16,15		

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	SUCS: CH AASHTO: A-7-5 (16)
DESCRIPCIÓN	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad.

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

HUMEDAD NATURAL Y CLASIFICACIÓN

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra 5.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	33,25	37,45	34,10
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	30,50	34,25	31,65
Peso de cápsula (gr)	12,80	12,90	14,30
Peso de suelo seco (gr)	17,70	21,35	17,35
Peso del agua (gr)	2,75	3,20	2,45
Contenido de humedad (%)	15,54	14,99	14,12
Promedio (%)	14,88		

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	SUCS: CH AASHTO: A-7-5 (16)
DESCRIPCIÓN	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad.

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

HUMEDAD NATURAL Y CLASIFICACIÓN

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Febrero de 2019.

Identificación: Muestra 6.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	34,70	24,50	32,90
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	31,70	22,70	30,00
Peso de cápsula (gr)	15,20	12,60	13,50
Peso de suelo seco (gr)	16,50	10,10	16,50
Peso del agua (gr)	3,00	1,80	2,90
Contenido de humedad (%)	18,18	17,82	17,58
Promedio (%)	17,86		

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	SUCS: CH AASHTO: A-7-5 (18)
DESCRIPCIÓN	Arcilla orgánica de alta compresibilidad.

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
 AASHTO T 180**

Proyecto: “Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos”.

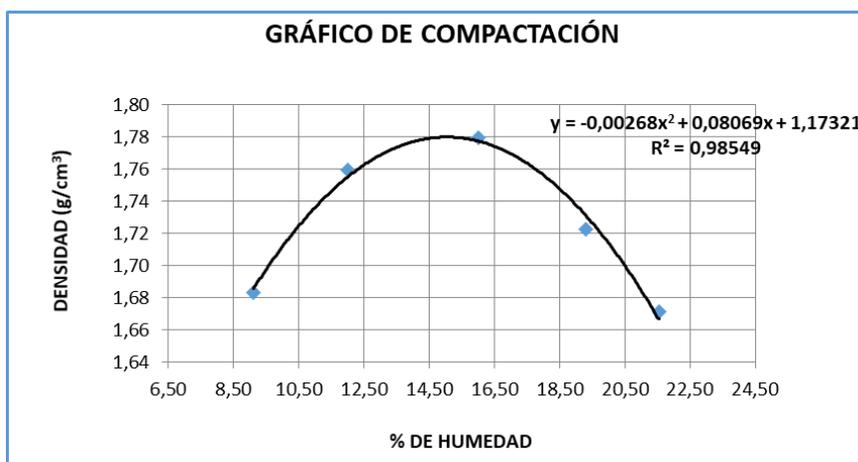
Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Marzo de 2019.

Identificación: Muestra N° 1.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

N° de muestra	1	2	3	4	5
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10345	10630	10830	10810	10760
Peso del molde (gr)	6445	6445	6445	6445	6445
Peso suelo húmedo (gr)	3900	4185	4385	4365	4315
Volumen de la muestra (cm ³)	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,84	1,97	2,06	2,06	2,03
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	94,99	84,35	89,52	76,43	93,40
Peso suelo seco + cápsula (gr)	88,60	77,50	79,65	67,00	79,15
Peso del agua (gr)	6,39	6,85	9,87	9,43	14,25
Peso de la cápsula (gr)	18,42	20,41	17,97	18,14	13,00
Peso suelo seco (gr)	70,18	57,09	61,68	48,86	66,15
Contenido de humedad (%)	9,11	12,00	16,00	19,30	21,54
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,68	1,76	1,78	1,72	1,67



Densidad Máxima	1,78	gr/cm ³
Humedad Óptima	15,05	%

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
 AASHTO T 180**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

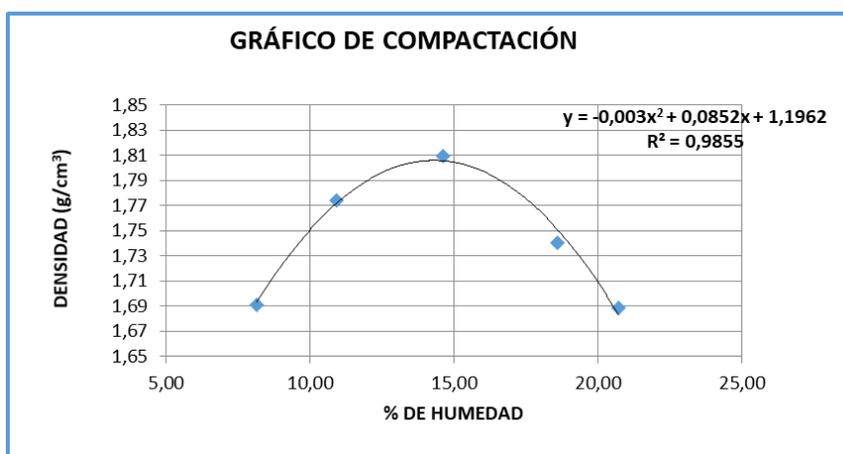
Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Marzo de 2019.

Identificación: Muestra N° 2.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

N° de muestral	1	2	3	4	5
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10330	10625	10850	10830	10775
Peso del molde (gr)	6445	6445	6445	6445	6445
Peso suelo húmedo (gr)	3885	4180	4405	4385	4330
Volumen de la muestra (cm ³)	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,83	1,97	2,07	2,06	2,04
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	80,30	58,50	80,60	73,30	68,50
Peso suelo seco + cápsula (gr)	75,20	54,10	72,50	63,90	58,90
Peso del agua (gr)	5,10	4,40	8,10	9,40	9,60
Peso de la cápsula (gr)	12,70	13,80	17,10	13,40	12,60
Peso suelo seco (gr)	62,50	40,30	55,40	50,50	46,30
Contenido de humedad (%)	8,16	10,92	14,62	18,61	20,73
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,69	1,77	1,81	1,74	1,69



Densidad Máxima	1,80	gr/cm ³
Humedad Óptima	14,20	%

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
 AASHTO T 180**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

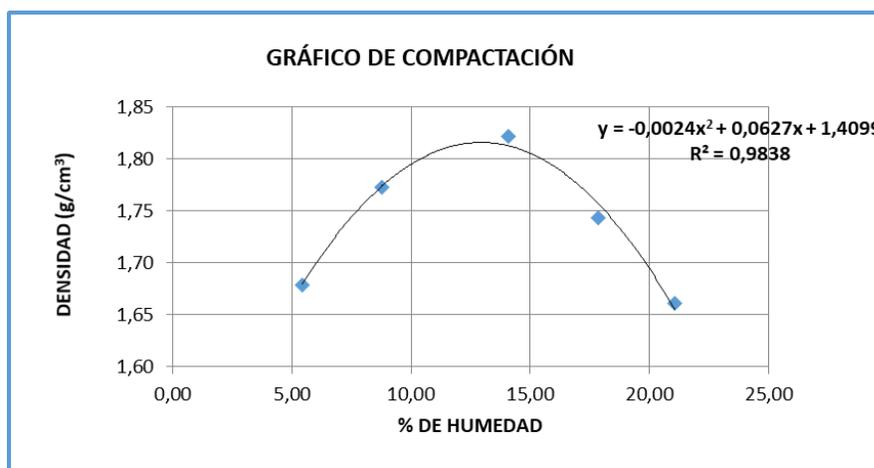
Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Marzo de 2019.

Identificación: Muestra N° 3.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

N° de muestra	1	2	3	4	5
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10225	10560	10880	10830	10735
Peso del molde (gr)	6465	6465	6465	6465	6465
Peso suelo húmedo (gr)	3760	4095	4415	4365	4270
Volumen de la muestra (cm ³)	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,77	1,93	2,08	2,06	2,01
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	80,00	89,40	66,30	73,20	75,40
Peso suelo seco + cápsula (gr)	76,80	83,70	60,65	64,89	65,34
Peso del agua (gr)	3,20	5,70	5,65	8,31	10,06
Peso de la cápsula (gr)	18,00	18,70	20,60	18,40	17,60
Peso suelo seco (gr)	58,80	65,00	40,05	46,49	47,74
Contenido de humedad (%)	5,44	8,77	14,11	17,87	21,07
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,68	1,77	1,82	1,74	1,66



Densidad Máxima	1,82	gr/cm ³
Humedad Óptima	13,06	%

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAE SARACHO”
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
 AASHTO T 180**

Proyecto: “Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos”.

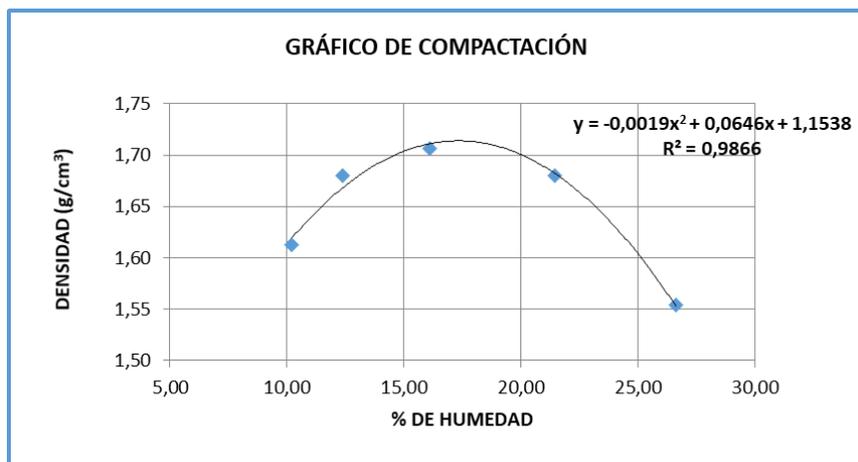
Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Marzo de 2019.

Identificación: Muestra N° 4.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

N° de muestra	1	2	3	4	5
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10255	10490	10690	10815	10660
Peso del molde (gr)	6480	6480	6480	6480	6480
Peso suelo húmedo (gr)	3775	4010	4210	4335	4180
Volumen de la muestra (cm ³)	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,78	1,89	1,98	2,04	1,97
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	71,80	87,00	86,10	83,50	83,20
Peso suelo seco + cápsula (gr)	67,10	79,53	76,70	72,30	69,60
Peso del agua (gr)	4,70	7,470	9,40	11,20	13,60
Peso de la cápsula (gr)	21,10	19,20	18,40	20,10	18,50
Peso suelo seco (gr)	46,00	60,33	58,30	52,20	51,10
Contenido de humedad (%)	10,22	12,38	16,12	21,46	26,61
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,61	1,68	1,71	1,68	1,55



Densidad Máxima	1,70	gr/cm ³
Humedad Óptima	17,00	%

Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAE SARACHO”
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
 AASHTO T 180**

Proyecto: “Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos”.

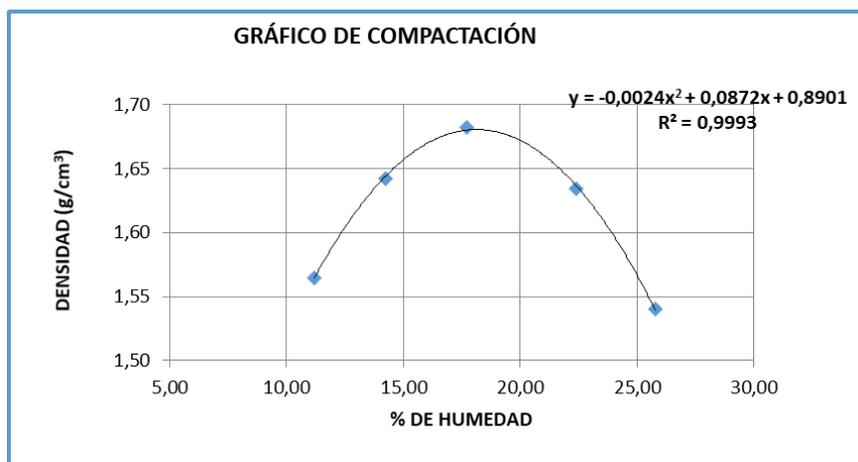
Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Marzo de 2019.

Identificación: Muestra N° 5.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

N° de muestra	1	2	3	4	5
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10140	10430	10650	10695	10560
Peso del molde (gr)	6445	6445	6445	6445	6445
Peso suelo húmedo (gr)	3695	3985	4205	4250	4115
Volumen de la muestra (cm ³)	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,74	1,88	1,98	2,00	1,94
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	64,30	68,50	75,20	64,00	58,60
Peso suelo seco + cápsula (gr)	59,00	61,55	65,80	54,70	49,40
Peso del agua (gr)	5,30	6,95	9,40	9,30	9,20
Peso de la cápsula (gr)	11,60	12,70	12,70	13,20	13,70
Peso suelo seco (gr)	47,40	48,85	53,10	41,50	35,70
Contenido de humedad (%)	11,18	14,23	17,70	22,41	25,77
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,56	1,64	1,68	1,63	1,54



Densidad Máxima	1,68	gr/cm ³
Humedad Óptima	18,17	%

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
 AASHTO T 180**

Proyecto: “Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos”.

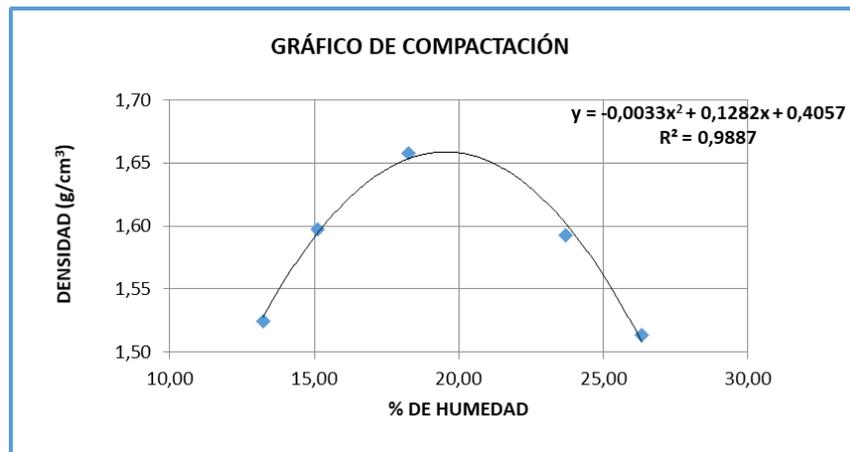
Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Marzo de 2019.

Identificación: Muestra N° 6.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

N° de muestra	1	2	3	4	5
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10110	10350	10610	10630	10505
Peso del molde (gr)	6445	6445	6445	6445	6445
Peso suelo húmedo (gr)	3665	3905	4165	4185	4060
Volumen de la muestra (cm ³)	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,73	1,84	1,96	1,97	1,91
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	65,10	68,70	74,20	64,80	57,40
Peso suelo seco + cápsula (gr)	58,85	61,35	64,70	54,91	48,29
Peso del agua (gr)	6,25	7,35	9,50	9,89	9,11
Peso de la cápsula (gr)	11,60	12,70	12,70	13,20	13,70
Peso suelo seco (gr)	47,25	48,65	52,00	41,71	34,59
Contenido de humedad (%)	13,23	15,11	18,27	23,71	26,34
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,52	1,60	1,66	1,59	1,51



Densidad Máxima	1,65	gr/cm ³
Humedad Óptima	19,42	%

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 1.

Ensayo: N° 1.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	A	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	97,30	85,70	6,383E-07
2	60	97,10	85,40	6,456E-07
3	60	96,80	85,00	6,536E-07
4	60	97,50	85,70	6,486E-07
5	60	97,00	85,30	6,463E-07
\bar{k}				6,465E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,465E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: ‘‘Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos’’.

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 2.

Ensayo: N° 2.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	95,00	83,90	6,247E-07
2	60	95,50	84,50	6,153E-07
3	60	95,20	84,10	6,234E-07
4	60	95,70	84,50	6,258E-07
5	60	95,30	84,00	6,346E-07
\bar{k}				6,248E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,248E-07 cm/s**

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: ‘‘Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos’’.

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 3.

Ensayo: N° 3.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	96,00	85,00	6,119E-07
2	60	96,70	85,40	6,248E-07
3	60	96,30	85,20	6,158E-07
4	60	96,50	85,30	6,203E-07
5	60	96,40	85,40	6,092E-07
\bar{k}				6,164E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,164E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 4.

Ensayo: N° 4.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	94,70	82,70	6,813E-07
2	60	94,30	82,60	6,661E-07
3	60	94,50	82,70	6,707E-07
4	60	94,10	82,30	6,737E-07
5	60	94,90	83,40	6,495E-07
\bar{k}				6,682E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,682E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 5.

Ensayo: N° 5.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra,	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga,	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra,	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	98,40	87,40	5,961E-07
2	60	97,50	86,30	6,135E-07
3	60	97,70	86,60	6,064E-07
4	60	97,80	86,90	5,942E-07
5	60	98,00	86,90	6,044E-07
\bar{k}				6,029E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,029E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 6.

Ensayo: N° 6.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	100,00	86,90	7,060E-07
2	60	99,80	86,60	7,133E-07
3	60	99,50	86,00	7,332E-07
4	60	99,50	86,30	7,156E-07
5	60	99,70	86,40	7,199E-07
\bar{k}				7,176E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,176E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 7.

Ensayo: N° 7.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	97,10	84,00	7,287E-07
2	60	97,50	84,50	7,195E-07
3	60	97,60	84,30	7,366E-07
4	60	97,00	83,00	7,837E-07
5	60	97,30	84,20	7,271E-07
\bar{k}				7,391E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,391E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 8.

Ensayo: N° 8.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	95,50	83,20	6,933E-07
2	60	95,30	83,20	6,827E-07
3	60	95,00	82,80	6,911E-07
4	60	95,40	83,00	7,001E-07
5	60	94,70	82,50	6,935E-07
\bar{k}				6,921E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,921E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: ‘‘Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos’’.

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 9.

Ensayo: N° 9.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	98,50	85,00	7,412E-07
2	60	98,30	84,70	7,487E-07
3	60	98,10	84,50	7,504E-07
4	60	97,50	83,80	7,614E-07
5	60	97,70	84,30	7,417E-07
\bar{k}				7,487E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,487E-07 cm/s**

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: ‘‘Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos’’

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 10.

Ensayo: N° 10.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra.	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga.	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra.	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	97,40	85,30	6,670E-07
2	60	97,60	85,40	6,714E-07
3	60	97,10	84,80	6,810E-07
4	60	96,50	84,20	6,856E-07
5	60	96,80	84,40	6,893E-07
\bar{k}				6,789E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,789E-07 cm/s**

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: ‘‘Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos’’.

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 11.

Ensayo: N° 11.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	94,00	79,90	8,172E-07
2	60	94,50	80,30	8,187E-07
3	60	94,30	80,40	8,018E-07
4	60	94,70	80,30	8,294E-07
5	60	94,60	80,40	8,178E-07
\bar{k}				8,170E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 8,170E-07 cm/s**

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 12.

Ensayo: N° 12.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	97,00	83,00	7,837E-07
2	60	97,50	83,60	7,734E-07
3	60	97,60	83,30	7,966E-07
4	60	97,00	82,50	8,141E-07
5	60	97,10	83,00	7,889E-07
\bar{k}				7,913E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,913E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 13.

Ensayo: N° 13.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	95,50	81,60	7,909E-07
2	60	95,00	81,30	7,830E-07
3	60	95,30	81,70	7,742E-07
4	60	95,70	81,80	7,891E-07
5	60	95,40	82,00	7,611E-07
\bar{k}				7,797E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,797E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 14.

Ensayo: N° 14.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	98,10	83,30	8,223E-07
2	60	98,40	83,50	8,256E-07
3	60	97,60	82,60	8,390E-07
4	60	97,30	82,30	8,418E-07
5	60	97,90	82,80	8,423E-07
\bar{k}				8,342E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 8,342E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: ‘‘Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos’’.

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 15.

Ensayo: N° 15.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	98,70	84,50	7,810E-07
2	60	98,40	84,80	7,479E-07
3	60	98,00	84,50	7,452E-07
4	60	97,50	83,90	7,554E-07
5	60	97,80	84,40	7,409E-07
\bar{k}				7,541E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,541E-07 cm/s**

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: ‘Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos’.

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 16.

Ensayo: N° 16.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	94,00	88,70	2,918E-07
2	60	94,50	88,50	3,298E-07
3	60	93,70	87,70	3,327E-07
4	60	93,50	87,40	3,392E-07
5	60	94,20	88,30	3,252E-07
\bar{k}				3,2376E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 3,237E-07 cm/s**

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 17.

Ensayo: N° 17.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	96,30	89,90	3,458E-07
2	60	96,20	89,60	3,574E-07
3	60	95,40	88,70	3,661E-07
4	60	95,20	88,80	3,499E-07
5	60	94,00	87,30	3,718E-07
\bar{k}				3,582E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 3,582E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 18.

Ensayo: N° 18.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	96,10	90,60	2,963E-07
2	60	97,50	91,90	2,974E-07
3	60	97,30	91,60	3,035E-07
4	60	96,70	90,90	3,110E-07
5	60	96,40	90,80	3,009E-07
\bar{k}				3,018E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 3,018E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 19.

Ensayo: N° 19.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	98,50	91,30	3,817E-07
2	60	97,00	90,00	3,766E-07
3	60	97,50	90,60	3,691E-07
4	60	98,00	91,20	3,616E-07
5	60	97,30	90,70	3,532E-07
\bar{k}				3,684E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 3,684E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 20.

Ensayo: N° 20.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	94,00	88,70	2,918E-07
2	60	93,10	87,90	2,890E-07
3	60	93,50	88,40	2,820E-07
4	60	92,50	87,60	2,737E-07
5	60	92,70	87,70	2,788E-07
\bar{k}				2,831E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,831E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 21.

Ensayo: N° 21.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	98,00	93,40	2,417E-07
2	60	97,60	93,10	2,373E-07
3	60	96,70	92,00	2,505E-07
4	60	95,50	90,90	2,482E-07
5	60	96,50	91,70	2,565E-07
\bar{k}				2,468E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,468E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 22.

Ensayo: N° 22.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	A	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	96,00	91,80	2,249E-07
2	60	96,50	92,50	2,129E-07
3	60	95,80	91,40	2,364E-07
4	60	95,30	91,10	2,266E-07
5	60	96,30	91,70	2,461E-07
\bar{k}				2,294E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,294E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos"

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 23.

Ensayo: N° 23.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	96,30	91,30	2,681E-07
2	60	96,20	90,90	2,849E-07
3	60	95,80	90,60	2,806E-07
4	60	96,00	90,60	2,911E-07
5	60	95,50	90,50	2,704E-07
\bar{k}				2,790E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,790E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 24.

Ensayo: N° 24.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	94,30	88,70	3,078E-07
2	60	93,00	87,60	3,008E-07
3	60	92,50	87,20	2,967E-07
4	60	92,10	86,90	2,922E-07
5	60	92,70	87,70	2,788E-07
\bar{k}				2,953E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,953E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 25.

Ensayo: N° 25.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	98,70	94,30	2,293E-07
2	60	97,70	93,50	2,209E-07
3	60	98,10	94,00	2,147E-07
4	60	98,50	94,60	2,031E-07
5	60	97,50	93,70	1,999E-07
\bar{k}				2,136E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,136E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 26.

Ensayo: N° 26.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy,

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	96,00	91,90	2,195E-07
2	60	95,30	91,10	2,266E-07
3	60	95,80	91,80	2,145E-07
4	60	94,70	90,90	2,059E-07
5	60	96,50	92,70	2,020E-07
\bar{k}				2,137E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,137E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 27.

Ensayo: N° 27.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	97,00	92,90	2,172E-07
2	60	96,30	92,30	2,133E-07
3	60	94,70	90,80	2,115E-07
4	60	95,00	91,20	2,053E-07
5	60	95,60	91,70	2,094E-07
\bar{k}				2,113E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,113E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 28.

Ensayo: N° 28.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	94,30	89,70	2,515E-07
2	60	94,00	89,50	2,467E-07
3	60	95,50	90,90	2,482E-07
4	60	96,10	91,60	2,411E-07
5	60	97,00	92,30	2,497E-07
\bar{k}				2,474E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,474E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 29.

Ensayo: N° 29.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	95,40	90,80	2,485E-07
2	60	95,80	91,10	2,529E-07
3	60	95,20	90,40	2,601E-07
4	60	96,00	91,10	2,634E-07
5	60	96,30	91,30	2,681E-07
\bar{k}				2,586E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,586E-07 cm/s**

.....
Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

.....
Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

.....
Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED RÍGIDA DE COMPACTACIÓN H – 4146
CARGA VARIABLE
ASTM D 5856

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Julio de 2019.

Identificación: Muestra N° 30.

Ensayo: N° 30.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	181,46	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	60	97,90	94,50	1,777E-07
2	60	97,50	94,00	1,838E-07
3	60	96,60	92,90	1,964E-07
4	60	96,80	93,00	2,014E-07
5	60	97,30	93,30	2,111E-07
\bar{k}				1,941E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 1,941E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 1.

Ensayo: N° 31.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	96,00	90,20	6,234E-07
2	120	95,80	90,10	6,136E-07
3	120	96,10	90,40	6,117E-07
4	120	96,50	90,70	6,201E-07
5	120	95,50	89,80	6,156E-07
\bar{k}				6,169E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,169E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 2.

Ensayo: N° 32.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial hi (cm)	Carga final hf (cm)	Permeabilidad k (cm/s)
N°	(min)			
1	120	97,50	92,40	5,374E-07
2	120	97,10	91,90	5,506E-07
3	120	97,30	91,90	5,712E-07
4	120	96,80	91,50	5,633E-07
5	120	96,50	91,10	5,761E-07
\bar{k}				5,597E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 5,597E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio El Portillo.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 3.

Ensayo: N° 33.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	95,30	90,00	5,724E-07
2	120	95,10	89,90	5,625E-07
3	120	94,90	89,50	5,861E-07
4	120	95,00	89,50	5,966E-07
5	120	95,50	89,90	6,045E-07
\bar{k}				5,844E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 5,844E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 6.

Ensayo: N° 34.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	98,00	91,50	6,865E-07
2	120	98,30	92,00	6,626E-07
3	120	98,50	92,10	6,721E-07
4	120	97,90	91,80	6,436E-07
5	120	98,20	91,80	6,742E-07
\bar{k}				6,678E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,678E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 7.

Ensayo: N° 35.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	95,00	88,70	6,864E-07
2	120	94,40	87,90	7,137E-07
3	120	94,80	88,20	7,219E-07
4	120	95,20	88,90	6,849E-07
5	120	95,50	89,00	7,051E-07
\bar{k}				7,024E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,024E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Pedro Antonio Flores.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 8.

Ensayo: N° 36.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	96,30	90,40	6,325E-07
2	120	97,00	91,30	6,058E-07
3	120	96,50	90,60	6,311E-07
4	120	96,00	90,00	6,456E-07
5	120	96,80	90,70	6,511E-07
\bar{k}				6,332E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 6,332E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 11.

Ensayo: N° 37.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial hi (cm)	Carga final hf (cm)	Permeabilidad k (cm/s)
N°	(min)			
1	120	95,00	88,10	7,543E-07
2	120	94,80	87,60	7,902E-07
3	120	95,10	88,00	7,762E-07
4	120	95,50	88,20	7,955E-07
5	120	95,00	87,80	7,884E-07
\bar{k}				7,809E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,809E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 12.

Ensayo: N° 38.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial hi (cm)	Carga final hf (cm)	Permeabilidad k (cm/s)
N°	(min)			
1	120	96,00	89,30	7,237E-07
2	120	96,50	89,40	7,645E-07
3	120	97,00	90,00	7,493E-07
4	120	96,30	89,20	7,661E-07
5	120	97,40	90,50	7,350E-07
\bar{k}				7,477E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,477E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
 PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
 CARGA VARIABLE**

Proyecto: ‘‘Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos’’.

Procedencia: Barrio San Salvador.

Fecha: Abril de 2019.

Identificación: Muestra N° 13.

Ensayo: N° 39.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	94,00	87,20	7,512E-07
2	120	94,80	87,80	7,673E-07
3	120	95,30	88,20	7,745E-07
4	120	94,50	87,60	7,585E-07
5	120	96,00	88,90	7,686E-07
\bar{k}				7,640E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 7,640E-07 cm/s**

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 16.

Ensayo: N° 40.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	97,10	94,20	3,033E-07
2	120	96,50	93,80	2,839E-07
3	120	96,80	93,90	3,043E-07
4	120	97,50	94,50	3,126E-07
5	120	96,40	93,40	3,163E-07
\bar{k}				3,040E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 3,040E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 17.

Ensayo: N° 41.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	95,50	92,50	3,193E-07
2	120	95,60	92,50	3,298E-07
3	120	96,00	92,80	3,391E-07
4	120	95,10	91,80	3,533E-07
5	120	95,30	92,10	3,417E-07
\bar{k}				3,366E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 3,366E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio Los Chapacos.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 18.

Ensayo: N° 42.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada,

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	96,50	93,80	2,839E-07
2	120	96,30	93,50	2,952E-07
3	120	97,00	94,20	2,930E-07
4	120	97,50	94,50	3,126E-07
5	120	97,30	94,50	2,921E-07
\bar{k}				2,954E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,954E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 21.

Ensayo: N° 43.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy,

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	99,00	96,90	2,145E-07
2	120	98,50	96,50	2,052E-07
3	120	98,70	96,50	2,255E-07
4	120	98,00	95,90	2,167E-07
5	120	98,40	96,20	2,262E-07
\bar{k}				2,176E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,176E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 22.

Ensayo: N° 44.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial hi (cm)	Carga final hf (cm)	Permeabilidad k (cm/s)
N°	(min)			
1	120	97,30	95,50	1,868E-07
2	120	97,80	95,80	2,067E-07
3	120	97,50	95,40	2,178E-07
4	120	96,50	94,60	1,989E-07
5	120	96,90	94,90	2,086E-07
\bar{k}				2,038E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,038E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
 PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
 PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
 CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio 20 de Enero.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 23.

Ensayo: N° 45.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	95,10	93,10	2,126E-07
2	120	95,50	93,30	2,331E-07
3	120	95,80	93,50	2,431E-07
4	120	96,00	93,90	2,213E-07
5	120	96,10	93,80	2,423E-07
\bar{k}				2,305E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 2,305E-07 cm/s**

.....
 Univ. Daniel A. Romero Estrada
 Laboratorista

.....
 Téc. Carlos Subia
 Técnico de Lab. de Suelos

.....
 Ing. José R. Arce Avendaño
 Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 26.

Ensayo: N° 46.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy.

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	95,00	93,40	1,699E-07
2	120	95,60	93,90	1,795E-07
3	120	94,00	92,30	1,826E-07
4	120	97,10	95,40	1,767E-07
5	120	96,30	94,80	1,570E-07
\bar{k}				1,731E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 1,731E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos".

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 27.

Ensayo: N° 47.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	94,70	93,30	1,490E-07
2	120	96,00	94,40	1,681E-07
3	120	96,50	95,00	1,567E-07
4	120	97,10	95,70	1,453E-07
5	120	95,80	94,30	1,579E-07
\bar{k}				1,554E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 1,554E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD
PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
CARGA VARIABLE**

Proyecto: "Análisis de confiabilidad del medidor de permeabilidad en laboratorio, permeámetro de compactación H – 4146, en suelos arcillosos"

Procedencia: Barrio La Florida.

Fecha: Mayo de 2019.

Identificación: Muestra N° 28.

Ensayo: N° 48.

Laboratorista: Daniel Alberto Romero Estrada.

Método utilizado: Ecuación de Darcy

$$k = 2.3 * \frac{L * a}{A * t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Área de la muestra	A	45,60	cm ²
Área del conducto de carga	a	0,28	cm ²
Longitud de la muestra	L	11,63	cm

Medición	Tiempo t	Carga inicial	Carga final	Permeabilidad
N°	(min)	hi (cm)	hf (cm)	k (cm/s)
1	120	97,30	95,60	1,763E-07
2	120	95,50	93,70	1,903E-07
3	120	96,40	94,50	1,991E-07
4	120	96,00	94,00	2,106E-07
5	120	97,00	95,40	1,664E-07
\bar{k}				1,886E-07

El coeficiente de permeabilidad de la muestra es **k = 1,886E-07 cm/s**

Univ. Daniel A. Romero Estrada
Laboratorista

Téc. Carlos Subia
Técnico de Lab. de Suelos

Ing. José R. Arce Avendaño
Resp. de Lab. de Suelos

ANEXO IV
CÁLCULOS ADICIONALES.

CÁLCULOS

Barrio: El Portillo.

DENSIDAD.

N° de muestra	1	2	3	4	5
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10490	10530	10515	10460	10500
Peso del molde (gr)	5875	5875	5875	5875	5875
Peso suelo húmedo (gr)	4615	4655	4640	4585	4625
Volumen de la muestra (cm ³)	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	2,04	2,06	2,05	2,03	2,04
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	967,80	74,20	77,30	70,30	81,50
Peso suelo seco + cápsula (gr)	61,25	66,90	69,20	63,80	72,60
Peso del agua (gr)	6,55	7,30	8,10	6,50	8,90
Peso de la cápsula (gr)	17,20	18,60	16,40	18,60	16,40
Peso suelo seco (gr)	44,05	48,30	52,80	45,20	56,20
Contenido de humedad (%)	14,869	15,114	15,341	14,381	15,836
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,776	1,788	1,778	1,772	1,765

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL.

N° de muestra	1	2	3	4	5
Peso de muestra (gr)	4615	4655	4640	4585	4625
Peso del sólido seco (gr)	4017,60	4043,82	4022,86	4008,55	3992,70
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71
Peso del líquido (gr)	597,40	611,18	617,14	576,45	632,30
Volumen del líquido (cm ³)	597,40	611,18	617,14	576,45	632,30
Volumen de los sólidos (cm ³)	1482,51	1492,19	1484,45	1479,17	1473,32
Relación de vacíos inicial	0,403	0,410	0,416	0,390	0,429
Porosidad inicial	0,287	0,291	0,294	0,280	0,300

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS FINAL.

N° de muestra	1	2	3	4	5
Peso de sólido seco (gr)	4017,60	4043,82	4022,86	4008,55	3992,70
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71
Peso adicional de agua (gr)	184,362	198,189	212,016	179,75	216,63
Peso de muestra (gr)	4799,36	4853,19	4852,02	4764,75	4841,63
Peso de líquido (gr)	781,76	809,37	829,16	756,20	848,92
Volumen de líquido (cm ³)	781,76	809,37	829,16	756,20	848,92
Volumen de los sólidos (cm ³)	1482,51	1492,19	1484,45	1479,17	1473,32
Relación de vacíos final	0,527	0,542	0,559	0,511	0,576
Porosidad final	0,345	0,352	0,358	0,338	0,366

Barrio: Pedro Antonio Flores.

DENSIDAD.

N° de muestra	6	7	8	9	10
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10615	10575	10605	10530	10595
Peso del molde (gr)	5955	5955	5955	5955	5955
Peso suelo húmedo (gr)	4660	4620	4650	4575	4640
Volumen de la muestra (cm ³)	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	2,06	2,04	2,06	2,02	2,05
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	80,30	79,50	71,80	84,60	69,50
Peso suelo seco + cápsula (gr)	72,69	72,05	64,90	76,80	62,70
Peso del agua (gr)	7,61	7,45	6,90	7,80	6,80
Peso de la cápsula (gr)	19,20	18,60	17,50	18,60	17,50
Peso suelo seco (gr)	53,49	53,45	47,40	58,20	45,20
Contenido de humedad (%)	14,227	13,938	14,557	13,402	15,044
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,804	1,793	1,795	1,784	1,783

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL.

N° de muestra	6	7	8	9	10
Peso de muestral (gr)	4660	4620	4650	4575	4640
Peso del sólido seco (gr)	4079,60	4054,83	4059,12	4034,32	4033,23
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,7	2,7	2,7	2,70	2,70
Peso del líquido (gr)	580,40	565,17	590,88	540,68	606,77
Volumen del líquido (cm ³)	580,40	565,17	590,88	540,68	606,77
Volumen de los sólidos (cm ³)	1510,96	1501,79	1503,38	1494,19	1493,79
Relación de vacíos inicial	0,384	0,376	0,393	0,362	0,406
Porosidad inicial	0,278	0,273	0,282	0,266	0,289

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS FINAL.

N° de muestra	6	7	8	9	10
Peso de sólido seco (gr)	4079,60	4054,83	4059,12	4034,32	4033,23
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Peso Adicional de agua (gr)	188,971	175,144	198,189	170,53	202,80
Peso de muestra (gr)	4848,97	4795,14	4848,19	4745,53	4842,80
Peso de líquido (gr)	769,37	740,32	789,07	711,22	809,57
Volumen de líquido (cm ³)	769,37	740,32	789,07	711,22	809,57
Volumen de los sólidos (cm ³)	1510,96	1501,79	1503,38	1494,19	1493,79
Relación de vacíos final	0,509	0,493	0,525	0,476	0,542
Porosidad final	0,337	0,330	0,344	0,322	0,351

Barrio: San Salvador.

DENSIDAD.

N° de muestra	11	12	13	14	15
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10595	10620	10630	10550	10605
Peso del molde (gr)	5960	5960	5960	5960	5960
Peso suelo húmedo (gr)	4635	4660	4670	4590	4645
Volumen de la muestra (cm ³)	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	2,05	2,06	2,06	2,03	2,05
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	84,60	78,10	91,10	81,60	74,20
Peso suelo seco + cápsula (gr)	76,85	70,95	82,70	74,50	67,50
Peso del agua (gr)	7,75	7,15	8,40	7,10	6,70
Peso de la cápsula (gr)	16,80	17,60	18,80	17,60	18,80
Peso suelo seco (gr)	60,05	53,35	63,90	56,90	48,70
Contenido de humedad (%)	12,906	13,402	13,146	12,478	13,758
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,815	1,817	1,825	1,804	1,805

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL.

N° de muestra	11	12	13	14	15
Peso de muestra (gr)	4635	4660	4670	4590	4645
Peso del sólido seco (gr)	4105,19	4109,27	4127,43	4080,80	4083,24
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Peso del líquido (gr)	529,81	550,73	542,57	509,20	561,76
Volumen del líquido (cm ³)	529,81	550,73	542,57	509,20	561,76
Volumen de los sólidos (cm ³)	1531,79	1533,31	1540,08	1522,69	1523,60
Relación de vacíos inicial	0,346	0,359	0,352	0,334	0,369
Porosidad inicial	0,257	0,264	0,261	0,251	0,269

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS FINAL.

N° de muestra	11	12	13	14	15
Peso de sólido seco (gr)	4105,19	4109,27	4127,43	4080,80	4083,24
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Peso Adicional de agua (gr)	129,053	152,098	138,271	119,84	156,71
Peso de muestra (gr)	4764,05	4812,10	4808,27	4709,84	4801,71
Peso de líquido (gr)	658,87	702,83	680,84	629,04	718,47
Volumen de líquido (cm ³)	658,87	702,83	680,84	629,04	718,47
Volumen de los sólidos (cm ³)	1531,79	1533,31	1540,08	1522,69	1523,60
Relación de vacíos final	0,430	0,458	0,442	0,413	0,472
Porosidad final	0,301	0,314	0,307	0,292	0,320

Barrio: Los Chapacos.

DENSIDAD.

N° de muestra	16	17	18	19	20
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10395	10360	10380	10330	10365
Peso del molde (gr)	5890	5890	5890	5890	5890
Peso suelo húmedo (gr)	4505	4470	4490	4440	4475
Volumen de la muestra (cm ³)	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,99	1,98	1,99	1,96	1,98
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	97,90	89,50	75,10	80,20	84,50
Peso suelo seco + cápsula (gr)	86,40	79,25	66,60	71,50	74,50
Peso del agua (gr)	11,50	10,25	8,50	8,70	10,00
Peso de la cápsula (gr)	18,60	18,20	17,40	18,20	17,40
Peso suelo seco (gr)	67,80	61,05	49,20	53,30	57,10
Contenido de humedad (%)	16,962	16,790	17,276	16,323	17,513
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,703	1,692	1,693	1,687	1,684

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL.

N° de muestra	16	17	18	19	20
Peso de muestra (gr)	4505	4470	4490	4440	4475
Peso del sólido seco (gr)	3851,69	3827,40	3828,56	3816,97	3808,08
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74
Peso del líquido (gr)	653,31	642,60	661,44	623,03	666,92
Volumen del líquido (cm ³)	653,31	642,60	661,44	623,03	666,92
Volumen de los sólidos (cm ³)	1405,73	1396,86	1397,29	1393,05	1389,81
Relación de vacíos inicial	0,465	0,460	0,473	0,447	0,480
Porosidad inicial	0,317	0,315	0,321	0,309	0,324

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS FINAL.

N° de muestra	16	17	18	19	20
Peso de sólido seco (gr)	3851,69	3827,40	3828,56	3816,97	3808,08
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74
Peso Adicional de agua (gr)	313,415	299,588	322,633	290,37	331,85
Peso de muestra (gr)	4818,41	4769,59	4812,63	4730,37	4806,85
Peso de líquido (gr)	966,73	942,19	984,07	913,40	998,77
Volumen de líquido (cm ³)	966,73	942,19	984,07	913,40	998,77
Volumen de los sólidos (cm ³)	1405,73	1396,86	1397,29	1393,05	1389,81
Relación de vacíos final	0,688	0,675	0,704	0,656	0,719
Porosidad final	0,407	0,403	0,413	0,396	0,418

Barrio: 20 de Enero.

DENSIDAD.

N° de muestra	21	22	23	24	25
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10660	10650	10630	10605	10635
Peso del molde (gr)	6435	6435	6435	6435	6435
Peso suelo húmedo (gr)	4225	4215	4195	4170	4200
Volumen de la muestra (cm ³)	2124,00	2124,00	2124,00	2124,00	2124,00
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,99	1,98	1,98	1,96	1,98
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	126,60	98,40	80,00	71,50	85,30
Peso suelo seco + cápsula (gr)	110,05	85,85	70,85	63,40	75,10
Peso del agua (gr)	16,55	12,55	9,15	8,10	10,20
Peso de la cápsula (gr)	18,60	17,30	20,00	17,30	20,00
Peso suelo seco (gr)	91,45	68,55	50,85	46,10	55,10
Contenido de humedad (%)	18,097	18,308	17,994	17,570	18,512
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,684	1,677	1,674	1,670	1,669

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL.

N° de muestra	21	22	23	24	25
Peso de muestra (gr)	4225	4215	4195	4170	4200
Peso del sólido seco (gr)	3577,56	3562,74	3555,26	3546,81	3543,95
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Peso del líquido (gr)	647,44	652,26	639,74	623,19	656,05
Volumen del líquido (cm ³)	647,44	652,26	639,74	623,19	656,05
Volumen de los sólidos (cm ³)	1310,46	1305,03	1302,29	1299,20	1298,15
Relación de vacíos inicial	0,494	0,500	0,491	0,480	0,505
Porosidad inicial	0,331	0,333	0,329	0,324	0,336

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS FINAL.

N° de muestra	21	22	23	24	25
Peso de sólido seco (gr)	3577,56	3562,74	3555,26	3546,81	3543,95
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Peso adicional de agua (gr)	336,460	345,678	322,633	313,41	350,29
Peso de muestra (gr)	4561,46	4560,68	4517,63	4483,41	4550,29
Peso de líquido (gr)	983,90	997,94	962,37	936,61	1006,34
Volumen de líquido (cm ³)	983,90	997,94	962,37	936,61	1006,34
Volumen de los sólidos (cm ³)	1310,46	1305,03	1302,29	1299,20	1298,15
Relación de vacíos final	0,751	0,765	0,739	0,721	0,775
Porosidad final	0,429	0,433	0,425	0,419	0,437

Barrio: La Florida.

DENSIDAD.

N° de muestra	26	27	28	29	30
N° de capas	5	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10380	10365	10345	10320	10350
Peso del molde (gr)	5920	5920	5920	5920	5920
Peso suelo húmedo (gr)	4460	4445	4425	4400	4430
Volumen de la muestra (cm ³)	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95	2261,95
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,97	1,97	1,96	1,95	1,96
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula (gr)	70,10	80,40	74,20	85,10	77,20
Peso suelo seco + cápsula (gr)	61,50	70,25	65,00	74,50	67,20
Peso del agua (gr)	8,60	10,15	9,20	10,60	10,00
Peso de la cápsula (gr)	17,00	18,20	16,90	18,20	16,90
Peso suelo seco (gr)	44,50	52,05	48,10	56,30	50,30
Contenido de humedad (%)	19,326	19,500	19,127	18,828	19,881
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,652	1,644	1,642	1,637	1,634

POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL.

N° de muestra	26	27	28	29	30
Peso de muestra (gr)	4460	4445	4425	4400	4430
Peso del sólido seco (gr)	3737,66	3719,65	3714,53	3702,84	3695,34
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los sólidos	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76
Peso del líquido (gr)	722,34	725,35	710,47	697,16	734,66
Volumen del líquido (cm ³)	722,34	725,35	710,47	697,16	734,66
Volumen de los sólidos (cm ³)	1354,23	1347,70	1345,84	1341,61	1338,89
Relación de vacíos inicial	0,533	0,538	0,528	0,520	0,549
Porosidad inicial	0,348	0,350	0,346	0,342	0,354

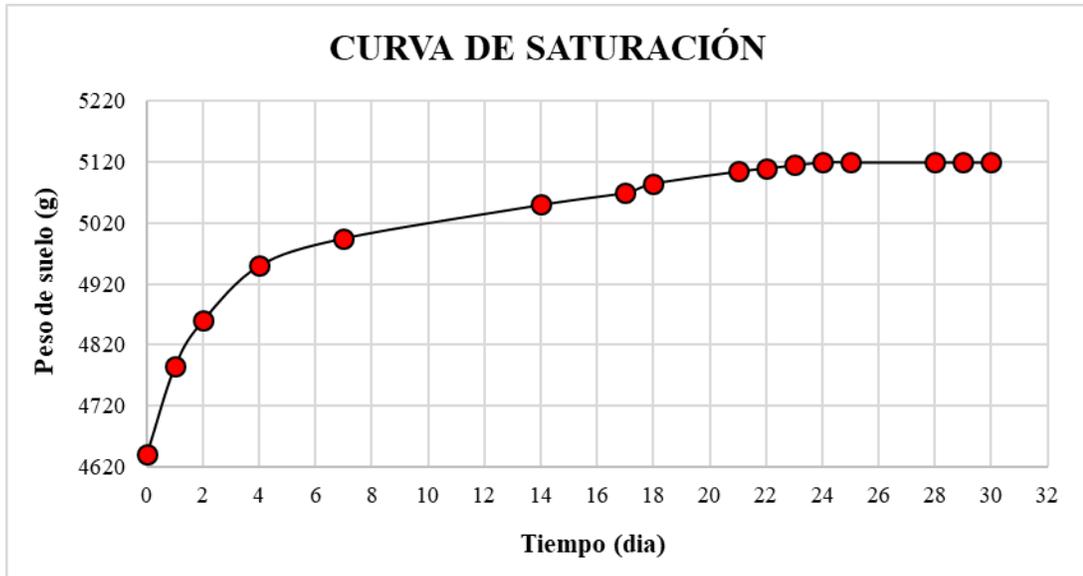
POROSIDAD Y RELACIÓN DE VACÍOS FINAL.

N° de muestral	26	27	28	29	30
Peso de sólido seco (gr)	3737,66	3719,65	3714,53	3702,84	3695,34
Peso específico del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso específico de los solidos	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76
Peso adicional de agua (gr)	391,769	405,596	382,551	373,33	414,81
Peso de muestral (gr)	4851,77	4850,60	4807,55	4773,33	4844,81
Peso de líquido (gr)	1114,10	1130,95	1093,02	1070,49	1149,47
Volumen de líquido (cm ³)	1114,10	1130,95	1093,02	1070,49	1149,47
Volumen de los sólidos (cm ³)	1354,23	1347,70	1345,84	1341,61	1338,89
Relación de vacíos final	0,823	0,839	0,812	0,798	0,859
Porosidad final	0,451	0,456	0,448	0,444	0,462

GRÁFICAS

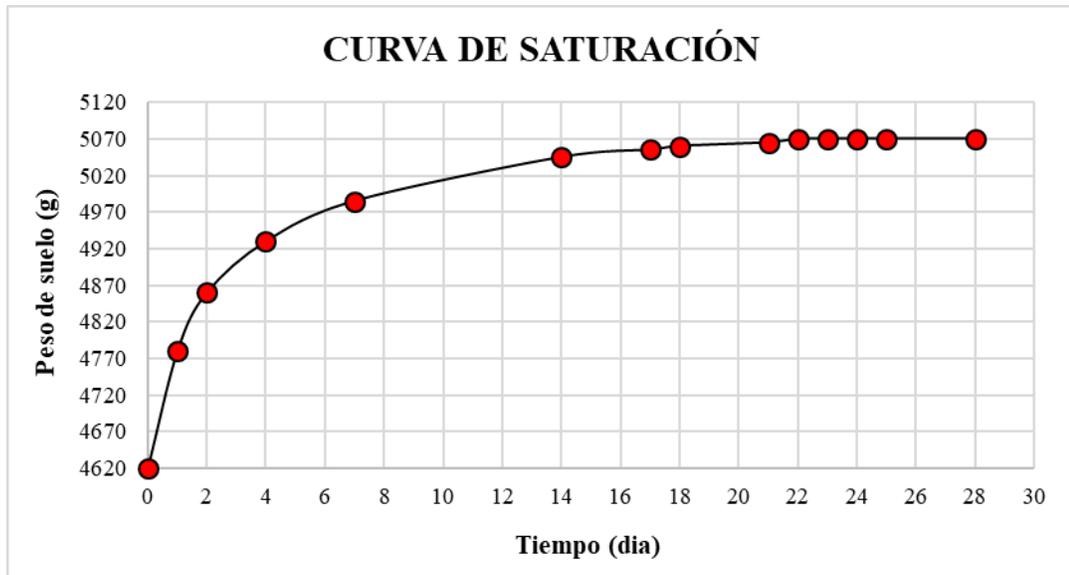
Barrio: El Portillo.

CURVA DE SATURACIÓN.



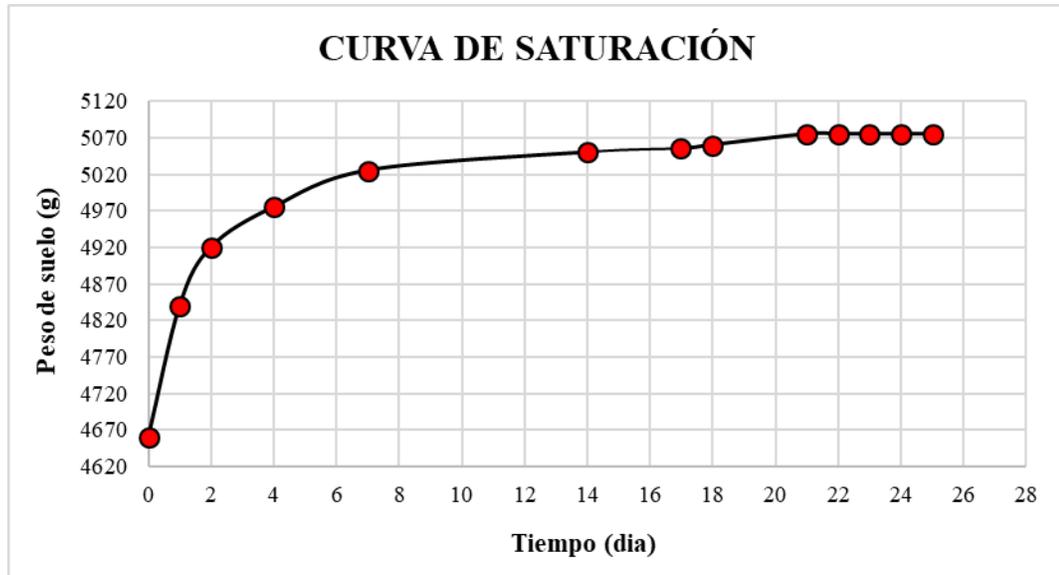
Barrio: Pedro Antonio Flores.

CURVA DE SATURACIÓN.



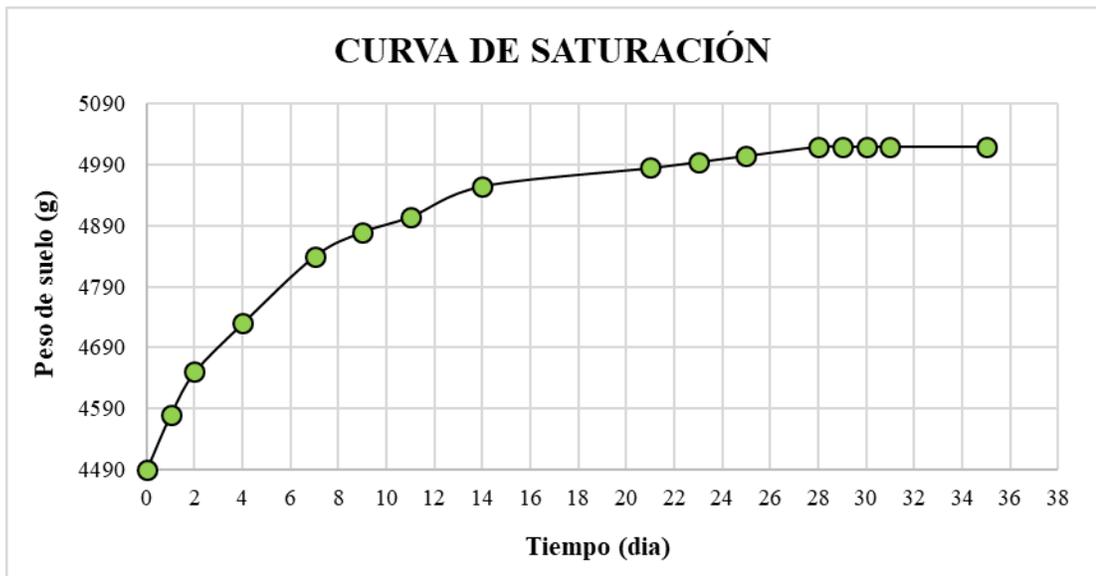
Barrio: San Salvador.

CURVA DE SATURACIÓN.



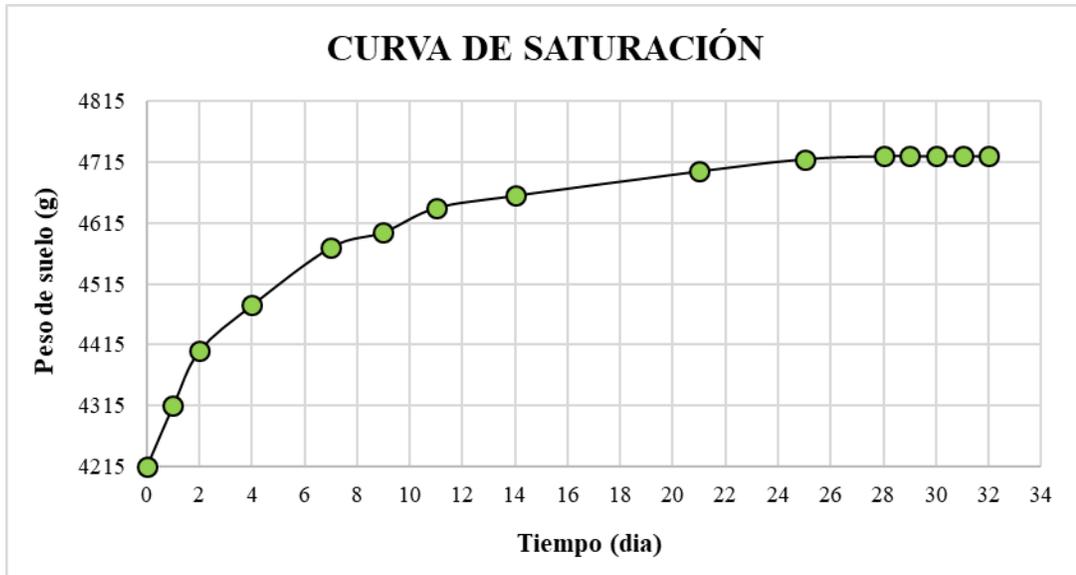
Barrio: Los Chapacos.

CURVA DE SATURACIÓN.



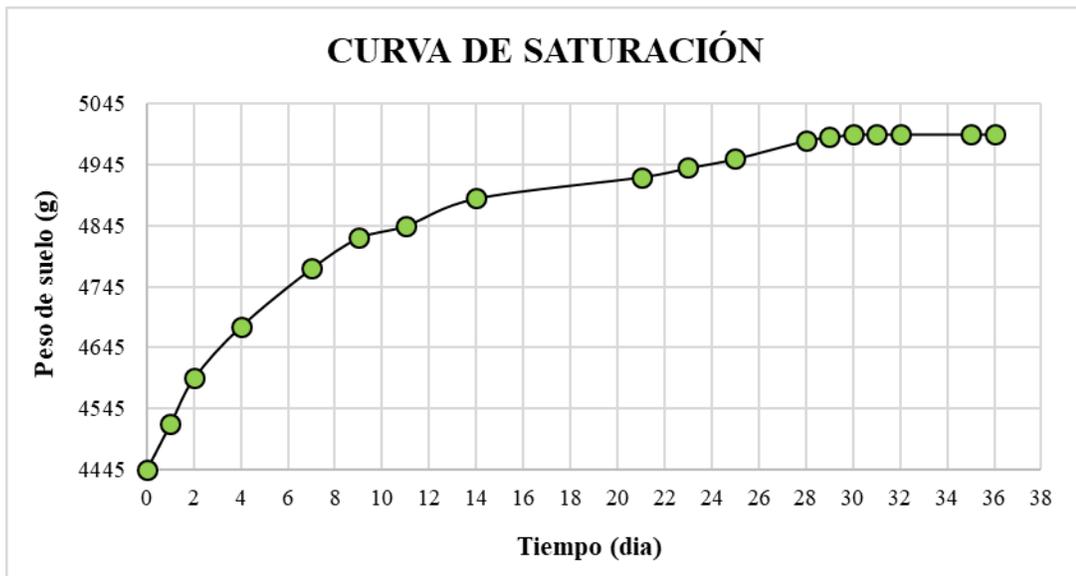
Barrio: 20 de Enero.

CURVA DE SATURACIÓN.



Barrio: La Florida.

CURVA DE SATURACIÓN.



ANEXO V

**GUÍA PARA EL ENSAYO DE
LABORATORIO, PERMEÁMETRO DE
COMPACTACIÓN H – 4146**

INTRODUCCIÓN.

El permeámetro de compactación H – 4146, es un equipo de laboratorio de pared rígida y molde de compactación, el cual está diseñado para realizar pruebas de permeabilidad de carga variable, en suelos compactados.

COMPONENTES DEL EQUIPO.

La unidad cuenta con las siguientes piezas y accesorios:

- Base de montaje de aluminio.
- Molde de compactación.
- Collarín.
- Base de compresión de aluminio.
- 2 piedras porosas.
- 3 orien de juntas de goma.
- 2 accesorios de tubería de bronce.
- 1 válvula de escape de aire.
- 6 tuercas mariposas.

USO DEL EQUIPO.

1. Armar la base de montaje de aluminio, asegurando el accesorio de la tubería de bronce con cinta teflón en su rosca.



2. Impregnar grasa en el canal de la base de montaje de aluminio y montar la primera junta de goma.



3. Monte la piedra porosa inferior saturada en la base de montaje de aluminio.



4. Montar el molde de compactación con la muestra completamente saturada a ensayar, ajustando las 2 primeras tuercas mariposas.

Nota 1: Se deben ajustar las tuercas mariposas al mismo tiempo y con la misma fuerza en ambos ejes.



5. Monte la piedra porosa superior saturada encima de la muestra a ensayar.



6. Impregnar grasa en el canal del molde de compactación y montar la segunda junta de goma.



7. Montar el collarín sobre el molde de compactación, ajustando las dos segundas tuercas mariposas.

Nota 2: Se deben ajustar las tuercas mariposas al mismo tiempo y con la misma fuerza en ambos ejes.



8. Colocar el resorte sobre la piedra porosa, para evitar la expansión de la muestra al momento de realizar el ensayo.

Nota 3: El resorte debe estar bien centrado, para lograr una distribución de presión uniforme.



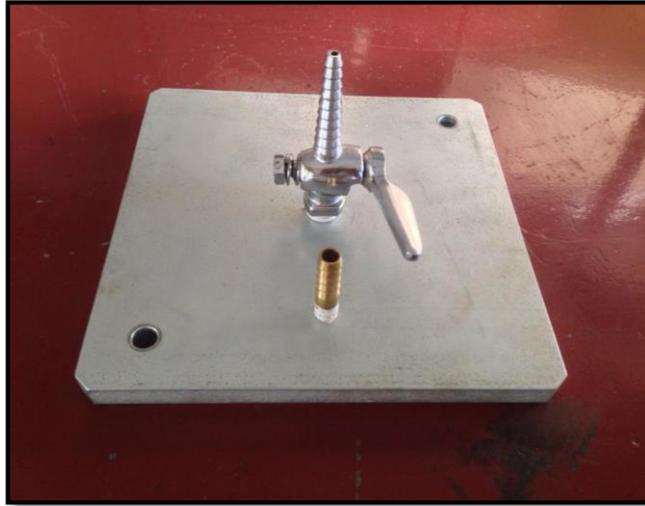
9. Realizar una prueba para verificar que no existan fugas de agua a través de la primera y segunda junta.



10. Impregnar grasa en el canal de la base de compresión de aluminio y montar la tercera junta de goma.



- 11.** Armar la base de compresión de aluminio, asegurando el accesorio de la tubería de bronce y válvula de escape de aire con cinta teflón en sus roscas.



- 12.** Montar la base de compresión de aluminio sobre el collarín, ajustando las 2 terceras tuercas mariposas.

Nota 4: Se deben ajustar las tuercas mariposas al mismo tiempo y con la misma fuerza en ambos ejes.



13. Conecte la manguera de alimentación de agua del sistema a la tubería de bronce de la base de compresión.



14. Vista del permeámetro de pared rígida de compactación H – 4146 completamente armado.



- 15.** Se procede a cargar agua mediante un recipiente de capacidad de 1000 mm a través del embudo de alimentación de carga al sistema.



- 16.** Purgar las burbujas de aire aflojando la válvula de escape de aire en posición vertical



17. Cerrar la llave de paso que se encuentra en el soporte metálico del sistema girando a posición horizontal para proceder a registrar la altura de carga de agua inicial del sistema.



18. Registre la altura de carga de agua inicial del sistema en la planilla de datos.



19. Abrir la llave de paso que se encuentra en el soporte metálico del sistema girando a posición vertical para proceder a realizar la medición de la altura de carga de agua final del sistema.



20. Registre la altura de carga de agua final del sistema después de un determinado intervalo de tiempo en la planilla de datos.

