

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Determinar el coeficiente de permeabilidad a través del método de cabeza constante para un flujo laminar en suelos granulares.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Establecer la permeabilidad de suelos granulares, siguiendo el procedimiento establecido en la norma INV E-130-13.
- Calcular el valor del coeficiente de permeabilidad para un suelo granular con bajo contenido de finos, con el fin de analizar su comportamiento hidráulico y su aplicación en terraplenes y capas de base de pavimentos.

INTRODUCCIÓN

La permeabilidad es una propiedad natural del suelo que mide la facilidad con la que el agua logra atravesarlo. Generalmente se cuantifica a través del coeficiente de permeabilidad (k), también conocido como conductividad hidráulica, el cual representa la velocidad con la que el agua fluye a través de un medio poroso bajo un gradiente hidráulico unitario. Este comportamiento está descrito por la ley de Darcy, según la cual el caudal de agua que atraviesa un suelo depende del gradiente hidráulico, es decir, de la diferencia de presión (o de carga) entre dos puntos del flujo (Zamara, 2024).

Esta propiedad del suelo está directamente relacionada con su porosidad, es decir, con los espacios que existen entre sus partículas. En el caso de los suelos naturales, la estratificación también tiene una gran influencia, ya que, a medida que se acumulan las capas mediante procesos geológicos, es común que este tipo de suelos presente una permeabilidad mucho mayor en la dirección horizontal que en la vertical. Además, existen otros factores importantes que afectan esta propiedad, como el grado de saturación del suelo, el tamaño de sus partículas (si se trata de un suelo fino o grueso), el índice de vacíos del material y el nivel de compactación, entre otros (ABG Geosynthetics, 2021).

Para medir este parámetro existen diversos ensayos, los cuales se eligen dependiendo de las condiciones del terreno y del tipo de muestra que se va a analizar. Entre ellos se encuentra el ensayo Lefranc, que se realiza in situ y permite determinar la permeabilidad del suelo en el interior del sondeo, ya sea durante su ejecución o una vez finalizada la perforación. Este ensayo está diseñado para determinar la conductividad hidráulica de suelos permeables o

semipermeables, como arenas, limos o rocas muy fracturadas, ubicados por debajo del nivel freático. Otro ensayo importante es el de carga constante, el cual consiste en medir el caudal que pasa a través de una capa de suelo durante un tiempo determinado, manteniendo un gradiente hidráulico constante. Este método puede realizarse tanto in situ como en laboratorio, y se usa principalmente en suelos granulares (arenas y gravas). Para suelos finos (limos y arcillas), en cambio, se utiliza el ensayo de carga variable, que, al igual que el anterior, puede realizarse in situ o en laboratorio. En este caso, a medida que el agua se filtra a través del suelo, la columna de agua va descendiendo, y esa disminución se registra en intervalos de tiempo determinados (P., 2018).

Figura 1. Ensayo de permeabilidad.



Fuente. Rivera (2026).

Realizar este tipo de ensayos ayuda a analizar el comportamiento de las aguas subterráneas y de los niveles freáticos presentes en el suelo, los cuales son fundamentales en proyectos de cimentación y construcción. Esta información se utiliza para el diseño apropiado de cimentaciones y taludes, ya que un nivel freático elevado aumenta las presiones internas del suelo y reduce drásticamente su resistencia. Conocer la permeabilidad permite, entonces, diseñar sistemas de drenaje que eviten el colapso o el deslizamiento de las estructuras. Asimismo, esta información puede utilizarse en el diseño de presas y embalses, el control de asentamientos, y proyectos de drenaje urbano y vial, entre otros proyectos propios de la construcción civil (Rosas, s.f.).

MATERIALES Y EQUIPOS

- (a) Permeámetro
- (b) Piedras porosas
- (c) Base metálica graduada
- (d) Embudo
- (e) Probeta graduada
- (f) Flexómetro
- (g) Grasa
- (h) Calibrador o pie de rey
- (i) Llave mecánica (No 13)

Figura 2. Materiales y equipos.



Nota. Registro fotográfico materiales y equipos de laboratorio.

Fuente. Rivera (2026).



PROCEDIMIENTO

- Lo primero que se va a realizar es el montaje del permeámetro, sobre la base del equipo se debe aplicar una capa delgada de grasa sobre la zona donde se coloca el cilindro plástico acrílico, esto con el fin de evitar fugas de agua durante el ensayo.
- Luego se coloca el cilindro por la parte interna de los tornillos que van a sujetar el permeámetro y se acomoda bien sobre la base del equipo. Se debe colocar una piedra porosa húmeda sobre la parte inferior del cilindro para comenzar a llenarlo con la muestra de suelo.
- Se llena el cilindro según las condiciones de compactación y densificación deseadas bien sea a una densidad mínima (relativa del 0%), máxima (relativa del 100%) o intermedia (relativa entre el 0 a 100%). Para el caso del laboratorio se procede a realizar con una densidad mínima, para lo cual se toma un embudo con la abertura adecuada según la granulometría del material y se comienza a llenar el cilindro por capas uniformes hasta cuando el aparato este lleno al nivel apropiado.

Nota: Para una muestra con densidad máxima o intermedia se deben revisar los numerales 5.5.2 y 5.5.3 respectivamente para definir el proceso de compactación del espécimen.

- Con el molde lleno se debe nivelar la capa superficial colocando una piedra porosa húmeda y rotándola suavemente hacia adelante y hacia atrás, luego se ajusta la parte superior del permeámetro, la cual se encarga de comprimir la muestra aplicando una fuerza vertical sobre la piedra porosa con ayuda de un resorte, y además se encarga de generar un sello hermético sobre el cilindro.
- Después de montar el equipo, se procede a saturar el material, para esto se ajusta el embudo con la base metálica a una altura definida y se ajustan las mangueras a la entrada y salida del permeámetro. Con cada una de las mangueras colocadas, se comienza a llenar el equipo con agua, colocándola en la parte superior del embudo y esperando hasta que comience a salir por la parte superior del permeámetro.
- Cuando el agua comience a salir por la manguera, se debe cerrar la válvula de salida y dejar un nivel de agua en el embudo, con el fin de mantener la muestra con el agua suficiente para alcanzar una saturación del material, durante un periodo de 24 horas.

Nota: Se debe eliminar aire de los vacíos y adherido a las partículas de la muestra, se puede realizar con ayuda de una bomba de vacío y aplicar el procedimiento descrito en el numeral 5.6.4 de la norma del ensayo.



- Luego de saturar el material, se deben tomar las mediciones de las alturas correspondientes al ensayo. Teniendo en cuenta el mismo nivel de referencia se mide la altura hasta el nivel del agua en el embudo, la altura hasta el nivel de salida del agua y la altura del suelo dentro del permeámetro luego de la saturación, esto con el fin de calcular posteriormente el coeficiente de permeabilidad del suelo.
- Con todo listo se abre nuevamente la válvula de salida, teniendo en cuenta que se debe mantener constante el nivel de agua en el embudo esto con el fin de tener un flujo laminar durante el ensayo.
- Se procede a realizar la medición de la permeabilidad del suelo, con ayuda de una probeta y un cronometro se van a registrar los valores para obtener el caudal. Para determinar esto se pone la probeta en la salida del agua y se toma un volumen inicial como referencia, luego se toma la lectura del tiempo en el cual el agua alcanza un volumen definido previamente en la probeta, y se realiza esta medición tres veces para obtener un promedio del caudal.

Nota: Se tiene que mantener el nivel de cabeza constante en el embudo todo el tiempo durante el ensayo y evitar la entrada de partículas de aire, esto con el fin de que el flujo sea laminar y que no exista mucha variación en la lectura del caudal.

- Luego se drena y se desmonta el equipo para examinar la muestra y establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico, además de observar si se evidencia segregación de material fino.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de los datos registrados, calcular la constante de permeabilidad del suelo:

$$k = \frac{Q \times L}{A \times \Delta H} \quad [1]$$

Donde:

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} \quad [2]$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad [3]$$

$$\Delta H = H1 - H2 \quad [4]$$

Q = Caudal descargado (cm^3/s)

L = Altura de la capa de suelo (cm)

A = Area trasnversal de la capa de suelo (cm^2)

ΔH = Diferencia de la cabeza hidráulica (cm)

Dado que el coeficiente de permeabilidad k depende de la viscosidad del agua, y esta varía con la temperatura, el valor obtenido debe corregirse a una temperatura de referencia de 20 °C, según la siguiente expresión:

$$k_{20} = k \times \frac{\mu_T}{\mu_{20}}$$

Donde:

k_{20} = Coeficiente de permeabilidad corregido a 20°C (cm/s)

μ_T = Viscocidad dinámica del agua a la temperatura del ensayo ($mPa \cdot s$)

μ_T = Viscocidad dinámica del agua a 20 ° C ($mPa \cdot s$)

A partir de los resultados obtenidos se deben responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál fue el valor del coeficiente de permeabilidad k obtenido antes y después de la corrección por temperatura?

- Según el valor de k_{20} obtenido, ¿en qué rango de permeabilidad se clasifica el suelo ensayado? ¿Qué tipo de suelo corresponde a ese rango (grava, arena gruesa, arena fina, limo, arcilla)?
- ¿Los tres caudales medidos (Q_1 , Q_2 , ¿ Q_3) presentaron valores similares entre sí? De no ser así, ¿a qué pudo deberse la variación?
- ¿El flujo observado durante el ensayo fue laminar o turbulento? ¿Cómo influye esto en la validez del resultado?

BIBLIOGRAFÍA

- Zamara, K. (2024, 29 agosto). *Soil Permeability: Definition, Tests, and Formulae*. Tensar. <https://www.tensar.co.uk/resources/articles/the-permeability-of-soils-explained>
- ABG Geosynthetics. (2021, December 7). *Permeabilidad del suelo | Notas técnicas sobre las propiedades del suelo*. ABG Geosynthetics. <https://abg-geosynthetics.com/es/technical/soil-properties/permeability/>
- P., J. (2018, 13 de agosto). *Ensayos de permeabilidad Lefranc en suelos. Tipos y aplicaciones*. Geotecnia Fácil. <https://geotecniafacil.com/ensayo-de-permeabilidad-lefranc-suelos/>
- Rosas, J. C. (s.f.). *Las pruebas de permeabilidad en campo son una herramienta muy útil para poder evaluar y conocer cómo el agua se desplaza a través de las capas del terreno*. Integra Cimentaciones. <https://www.integracimentaciones.com/blog/las-pruebas-de-permeabilidad-en-campo-son-una-herramienta-muy-util-para-poder-evaluar-y-conocer-como-el-agua-se-desplaza-a-traves-de-las-capas-del-terreno>
- Instituto Nacional de Vías. (2013). *Permeabilidad de suelos granulares (cabeza constante)* (INV E-130-13). INVIAS.



FORMATO TOMA DE DATOS

Tabla 1. Lecturas iniciales del ensayo.

ID		
D	Diámetro interior del permeámetro (cm)	
L	Altura de la muestra (cm)	
H1	Altura nivel de agua en el embudo (cm)	
H2	Altura salida de agua en el permeámetro (cm)	
T	Temperatura del agua del ensayo (°C)	

Tabla 2. Registro de caudales.

Lectura No.	Volumen recolectado, V (cm ³)	Tiempo, t (s)	Caudal, Q (cm ³ /s)
1			
2			
3			

OBSERVACIONES: