

Universidad de Chile  
Departamento de Ingeniería Civil  
Proyecto MECESUP UCH 0303  
Modernización e Integración Transversal de la  
Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra



Área Temática: Hidrogeología  
Módulo: Determinación de la conductividad Hidráulica  
en terreno con el Infiltrómetro de Anillo

## **TABLA DE CONTENIDOS**

### **1. ANTECEDENTES**

<b>1.1 INFILTRACIÓN EN ÁREAS AMPLIAS INUNDADAS POR AGUAS SOMERAS.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 EL CASO DEL INFILTRÓMETRO DE ANILLO SIMPLE.....</b>	<b>2</b>

### **2. EXPERIENCIA PRÁCTICA**

<b>2.1 OBJETIVOS DE LA EXPERIENCIA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 MATERIALES Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>4</b>
MATERIALES .....	4
METODOLOGÍA .....	4

### **3. GUÍA DE TRABAJO .....**

**6**

### **4. TRABAJO POST EXPERIENCIA .....**

**9**

### **5. REFERENCIAS Y ENLACES .....**

**9**

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Infiltración en áreas amplias inundadas por aguas someras

La infiltración del agua en el suelo desde inundaciones superficiales puede ser descrita por la teoría de Green-Ampt (Green-Ampt, 1911), que considera que el agua infiltrada avanza como flujo pistón (conductividad hidráulica uniforme en la zona húmeda y presión constante en el frente húmedo; Bouwer, 1978). Aplicando la ecuación de Darcy a este sistema de flujo:

$$V_i = K_w \frac{(H_w + L_f - h_f)}{L_f} \quad (1)$$

Donde:

$V_i$ : Tasa de infiltración (L/T).

$K_w$ : Conductividad hidráulica de la zona húmeda (L/T).

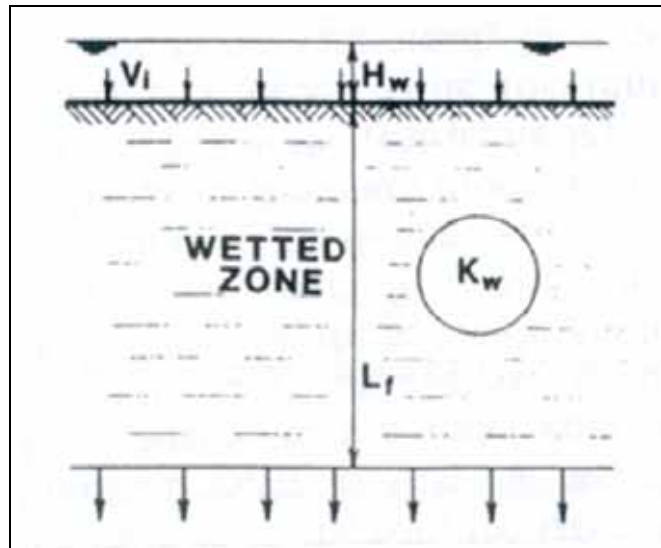
$H_w$ : Profundidad del agua por sobre la superficie (L).

$h_f$ : Presión en el frente húmedo (L).

$L_f$ : Profundidad del frente húmedo (L).

En la figura 1 se pueden ver más claramente las variables de la ecuación 1.

Figura 1: Geometría y símbolos para el sistema de flujo pistón.



Si la altura superficial de agua  $H_w$  es pequeña, después de un tiempo de infiltración  $L_f$  va a ser mucho más grande que  $H_w$ . Por lo tanto, la ecuación (1) puede ser escrita como:

$$V_i = K_w \frac{(L_f - h_f)}{L_f} \quad (2)$$

Como no se sabe con exactitud el valor de  $L_f$  y los valores de  $h_f$  (negativos) son pequeños, se hace un supuesto más cómodo que real que es que el gradiente de presión es unitario ( $L_f/L_f$ ). Por lo tanto:

$$V_i \sim K_w \quad (3)$$

Este supuesto se hace más razonable para suelos gruesos que tienen valores de  $h_f$  mayores (menos negativos) que los suelos finos.

Entonces, el valor de  $K_w$  puede ser usado como una estimación de la tasa de infiltración vertical en el largo plazo de áreas amplias y someras de agua. El supuesto de área amplia se justifica porque así el efecto de aumento de la infiltración por flujos divergentes se disminuye. Otros supuestos que hay que tener en cuenta para esta aproximación son: Suelo homogéneo, sin capas intermedias, no taponado con gases ni obstrucciones (efecto clogging) y sin actividad microbiana importante.

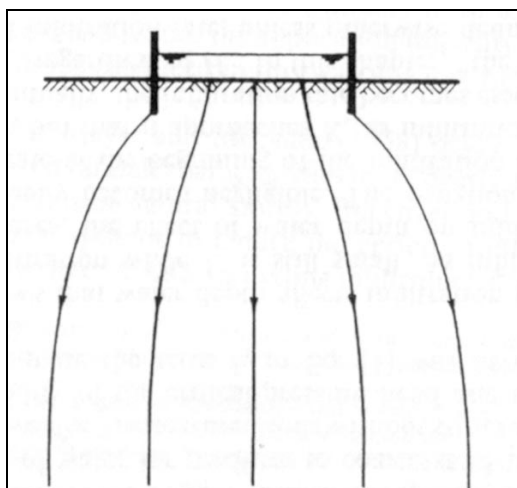
Como raramente la zona húmeda se encuentra completamente saturada,  $K_w$  de la zona húmeda es menor que  $K_{fs}$  de la zona saturada. Algunas experiencias dicen que  $K_w = 0,5 \cdot K_{fs}$  para suelos arenosos y  $K_w = 0,25 \cdot K_{fs}$  para suelos más finos (Bouwer, 1978).

## 1.2 El caso del infiltrómetro de anillo simple

Los anillos de infiltración sirven para hacer pruebas que determinan la permeabilidad en suelos. Su diámetro puede variar regularmente entre 30 y 60 cms y su altura entre 20 y 30 cms. Las pruebas se realizan enterrando verticalmente el anillo en el suelo unos centímetros, llenándolo con agua de calidad similar a la lluvia típica del terreno y midiendo la tasa de descenso de esta agua. Así se simula un área de inundación.

Un esquema de la prueba se puede ver en la siguiente figura. Más adelante se detalla el procedimiento para realizarla.

Figura 2: Esquema de la prueba de infiltración de anillo simple.



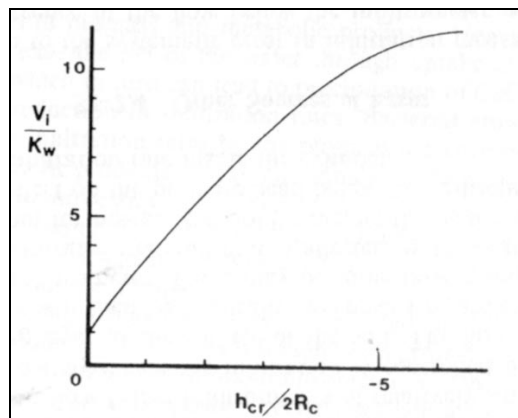
En la figura anterior se puede observar que los flujos subterráneos se van abriendo, lo que hace menos razonable el supuesto de flujos verticales. De hecho, este es uno de los errores más grandes que produce esta experiencia. Error que se magnifica si se piensa que el agua tiende a infiltrarse a lo largo de la superficie de contacto entre el anillo y el suelo.

Una forma con la cual se cree que se pueden evitar este tipo de flujos es hacer la prueba con dos anillos concéntricos, manteniendo la carga constante en el anillo de afuera y midiendo la tasa de infiltración en el de adentro. Esta es la conocida prueba de infiltración de doble anillo. Sin embargo, Bouwer (1960) asegura que los gradientes laterales no solo afectan al anillo de afuera sino también al de adentro. Esto haría inútil esforzarse en hacer la prueba con dos anillos.

Por lo tanto, hay solo dos maneras de obtener mediciones de infiltración más exactas (Bouwer, 1999): (1) Usar infiltrómetros más grandes y (2) usar anillos más pequeños con correcciones teóricas del flujo divergente.

En el gráfico siguiente se muestra el error que se va cometiendo al disminuir el radio del anillo.  $h_{cr}$  corresponde a la presión en el frente húmedo  $h_f$ .

**Figura 3: Errores debido al tipo de suelo y radio del anillo.**



## **2. EXPERIENCIA PRÁCTICA**

### **2.1 Objetivos de la experiencia**

- Aprender la metodología experimental de la prueba de anillo simple. La cual es simple y bastante utilizada.
- Determinar la variación en el tiempo de la tasa de infiltración en suelos saturados.
- Con la tasa de infiltración estabilizada, calcular la conductividad hidráulica.

### **2.2 Materiales y metodología**

#### **Materiales**

- Anillo de metal de 55 cms de diámetro y 33 cms de altura aproximadamente
- Combo
- Regla de metal de al menos 30 cms
- Cinta adhesiva
- 2 bidones o baldes de agua de 20 lts
- Plato
- Cronómetro

**Figura 4: Algunos materiales a utilizar.**



#### **Metodología**

El método que se utilizará en esta prueba será el de anillo simple a nivel variable. Aun cuando es uno de los experimentos más simples que se pueden realizar para medir tasa de infiltración, su precisión no deja de ser buena.

Esta prueba es utilizada ampliamente y desde hace mucho tiempo en la ingeniería, sobre todo para: (i) Calcular sistemas de riego, (ii) determinar aportes al agua subterránea, (iii) regular infiltraciones en canales, lagunas artificiales y reservorios, (iv) medir la percolación en rellenos sanitarios, (v) probar la efectividad de capas impermeables en obras de retención de líquidos, entre otras aplicaciones.

Básicamente, para el desarrollo de esta experiencia hay que enterrar el cilindro metálico unos pocos centímetros en el suelo. Luego, hay que rellenarlo de agua hasta una altura no mayor a 10 cms. Finalmente con la regla y el cronómetro se medirá la variación de la altura del agua en el tiempo. Al principio esta variación será mayor y luego tenderá a estabilizarse. El tiempo de estabilización dependerá del tipo de suelo en el cual se este haciendo la prueba.

Esta última tasa en régimen permanente será aproximadamente la conductividad hidráulica del suelo húmedo  $K_w$ .

### 3. GUÍA DE TRABAJO

El lugar donde se realizará la experiencia será en una pequeña área verde, entre el Edificio de Ingeniería Civil y el de Geología, ya que consta de un suelo lo suficientemente profundo como para que no se interfiera el flujo.

#### PASO 1

Se buscará un lugar plano y característico del área en estudio para instalar el infiltrómetro. Antes de instalarlo se procederá a limpiar el pasto o suelo, sacando hojas, basuras e impurezas que puedan intervenir el flujo normal del agua.

#### PASO 2

Se enterrará el infiltrómetro aproximadamente 10 cms de la forma más vertical posible. Para esto se debe posicionar el anillo en el lugar seleccionado, martillándolo firmemente en los bordes con el combo. Para que no se suelten los bordes opuestos a los que están siendo golpeados, se debe apoyar un pie en éstos (figura 5).

Lo anterior se debe hacer paulatinamente en todos los bordes, así el cilindro entrará de manera uniforme. Para medir cuanto se ha enterrado se debe usar la regla. Como el anillo mide 33 cms de altura, si la superficie que queda afuera mide aproximadamente 23 cms en todos lados, el anillo ha entrado lo suficiente.

**Figura 5: Modo de instalación.**



#### PASO 3

Poner la regla verticalmente en el interior del anillo para así poder medir el nivel del agua (ver figura 4). Enterrarla unos cuantos cms para que quede firme (es útil tener esta medida para saber a que altura queda el agua con respecto al suelo). Un lugar recomendable para ubicar la regla es en la línea de la soldadura ya que ésta es aproximadamente vertical. Con la cinta adhesiva se puede fijar la parte de arriba de la regla para que no mueva.



#### PASO 4

Vaciar los bidones o baldes suavemente al interior del anillo hasta que el nivel del agua quede entre 8 y 10 cms. Poner el plato en el suelo al interior del infiltrómetro, utilizándolo para que el chorro no golpee directamente el suelo, ya que se pueden alterar las propiedades de éste.

**Figura 6: Rellenando el infiltrómetro con agua.**



#### PASO 5

De inmediato empezar a registrar el tiempo y el nivel del agua. Al principio se deben hacer mediciones todos los minutos, y luego, dependiendo de la tasa de descenso, el intervalo de tiempo se puede alargar. Para que las mediciones sean más precisas lo mejor es que entre niveles sucesivos haya al menos 2 mm de diferencia.

Se realizarán mediciones a lo menos por 20 minutos. Luego se parará de medir cuando las últimas tres tasas sucesivas sean iguales o parecidas. Un promedio de éstas será la tasa  $V_i$ , útil para calcular  $K_w$ . Las tasas se calcularán con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{N_1 - N_2}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde  $N_1$  y  $N_2$  son dos niveles sucesivos separados por un tiempo  $\Delta t$ .

**Figura 6: Registro de la información.**



#### 4. TRABAJO POST EXPERIENCIA

Una vez efectuadas las medidas se debe determinar la tasa de infiltración promedio en régimen permanente. Con la aproximación (3) se calculará la conductividad hidráulica  $K_w$ .

Se debe realizar un informe explicativo de la experiencia que incluya una pequeña introducción, los materiales y metodología utilizada para la medición de la tasa de infiltración en terreno, los cálculos y resultados obtenidos, la conductividad hidráulica teórica asociada al tipo de suelo (fino y orgánico) donde se realizó la experiencia y las conclusiones que se desprenden.

Además, en las conclusiones se deben contestar las siguientes preguntas basándose en la bibliografía recomendada:

- a) ¿Cómo mejoraría esta prueba experimental? (Consultar apuntes curso aguas subterráneas?)
- b) Calcular  $K_{fs}$  a partir  $K_w$ . Comparar con valores teóricos.
- c) Utilizando un  $h_{cr}$  o  $h_f$  de -30 cms, calcular mediante el gráfico de la figura 3 el coeficiente  $i/K$ . Con éste cálculo obtener un nuevo  $K_w$ . ¿Es buena la aproximación (3)?

**Realizar un solo informe con la experiencia del Permeámetro de Guelph. En las conclusiones comparar ambas metodologías. NO COPIAR INFORMACIÓN DE ESTA GUÍA.**

#### 5. REFERENCIAS Y ENLACES

**Espinoza C., Carlos.** Apuntes Curso CI51J Hidraulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

**Bouwer, Herman (1986).** Intake Rate: Cylinder Infiltrometer. U.S. Water Conservation Laboratory, ARS, USDA. Phoenix Arizona.

**Bouwer, H., Back, J., Oliver, J. (1999).** Predicting Infiltration and Ground-Water Mounds for Artificial Recharge. Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 2, No. 4, Octubre, 1999.