

CURSO 4
FLUJO DE AGUA EN SUELOS FUNDAMENTOS Y APLICACIONES

PRUEBA DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACION

Profesor C. Espinoza

1. INTRODUCCIÓN

Las pruebas de agotamiento y recuperación son un método de terreno que permite identificar la conductividad hidráulica de un suelo en forma directa, a través de experiencias que involucran la excavación de una zanja, pozo o noria de pequeña profundidad que compromete al menos una parte de la napa de aguas subterráneas.

Mediante el uso de una bomba de pequeño caudal es posible extraer el agua del pozo (agotamiento) y luego se mide la recuperación de la napa a lo largo del tiempo. A partir de la información de niveles y de la geometría del pozo es posible estimar el coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

Dependiendo de las características de la perforación realizada para esta experiencia de terreno la prueba se denomina perforación entubada o no entubada.

2. PRUEBA EN PERFORACION ENTUBADA

La **prueba en perforación entubada** requiere la perforación de un pozo aproximadamente cilíndrico, el cual se reviste con un tubo de mayor diámetro. La porción inferior de la perforación se deja sin entubar para permitir la entrada del agua subterránea hacia el pozo durante la etapa de recuperación. La Figura 2.1 muestra un esquema que ilustra este método.

El coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación:

$$K = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot \ln(h_1 / h_2)}{S \cdot (t_2 - t_1)} \quad (2.1)$$

en donde r es el radio interior del tubo y S es un factor de forma que depende del diámetro de la perforación no entubada y de la longitud del tramo entubado ubicado por debajo del nivel freático. Valores de S pueden estimarse a partir del gráfico incluido en la Figura 2.1.

Figura 2.1
Prueba en Perforación Entubada

METODO DE LA PERFORACION ENTUBADA

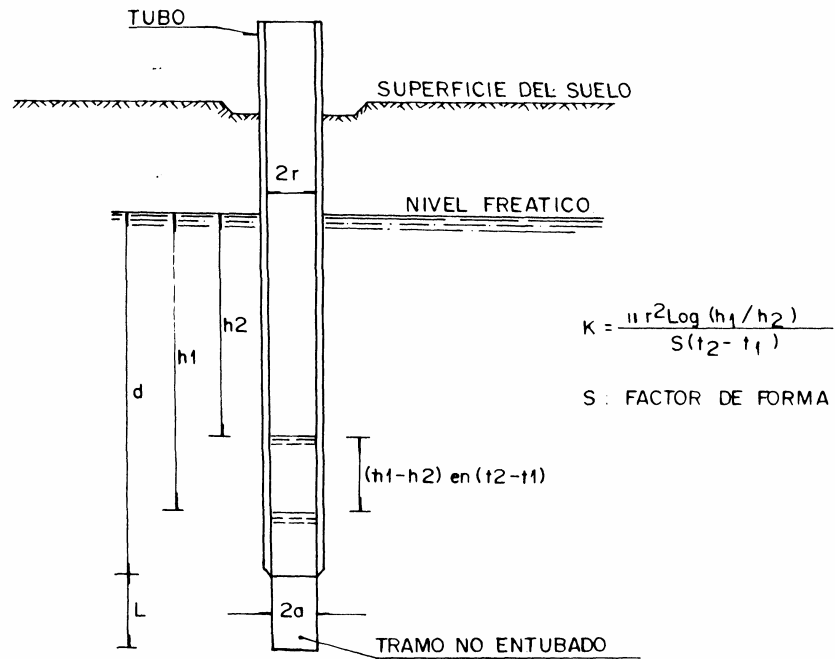
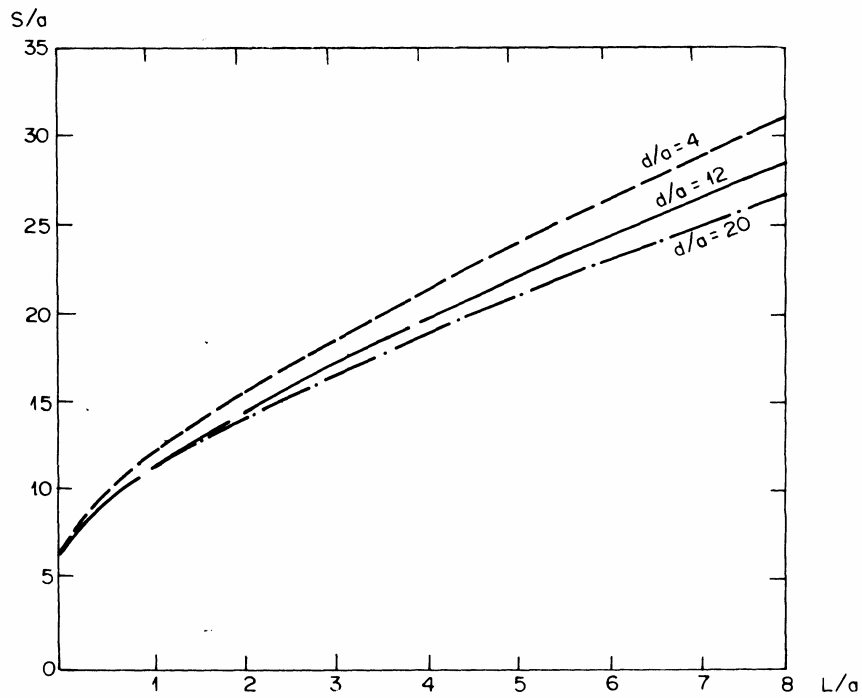
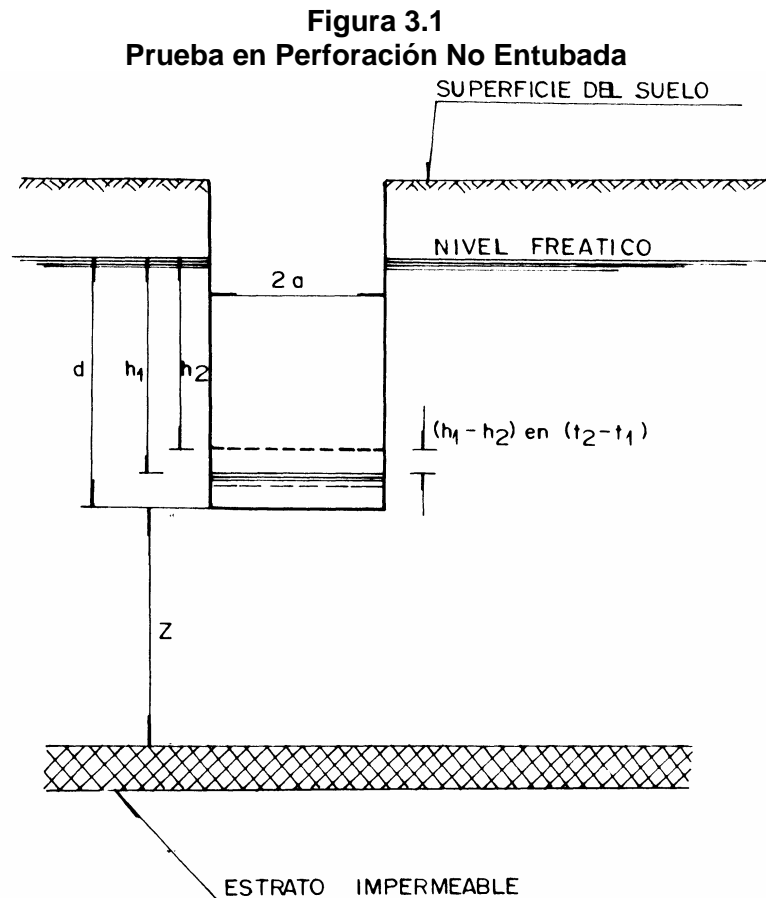


Figura 2.2
Factor de Forma S en Prueba en Perforación Entubada



3. PRUEBA EN PERFORACION NO ENTUBADA

En el caso de la **prueba en perforación no entubada** se excava un pozo de sección circular (o aproximada) hasta comprometer parcial o totalmente la napa de aguas subterráneas a lo menos en una longitud de 50 cm. En este caso la excavación no se reviste. Al igual que en la prueba anterior, el nivel de aguas se deprime mediante el uso de una bomba y se mide su recuperación a través del tiempo. La Figura 3.1 muestra un esquema que ilustra este método.



Donde a es el radio equivalente del pozo o calicata en que se realiza la prueba, d es la profundidad del pozo medida desde el nivel freático o de equilibrio, h corresponde a la profundidad medida desde el nivel freático a la que se encuentra la napa en la perforación cuando el sistema se está recuperando, t es el tiempo en que se mide la recuperación y S es un factor de forma que depende del diámetro de la perforación no entubada y de la profundidad de la perforación medida desde el nivel freático.

En el caso que la perforación atravesase sólo parcialmente la napa, el coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación:

$$K = \frac{a \cdot S \cdot \ln(h_1 / h_2)}{(2d + a) \cdot (t_2 - t_1)} \quad (3.1)$$

donde $S=a/d/0.19$ en el sistema MKS.

En el caso que la perforación comprometa totalmente el espesor de la napa, el coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación:

$$K = \frac{a \cdot S \cdot \ln(h_1/h_2)}{2 \cdot d \cdot (t_2 - t_1)} \quad (3.2)$$

4. EJEMPLO DE UNA PRUEBA DE AGOTAMIENTO

Para llevar a cabo esta prueba de agotamiento y recuperación, se excavó varios pozos de sección circular (o aproximada) hasta comprometer parcial o totalmente la napa de aguas subterráneas a lo menos en una longitud de 50 cm. En este caso la excavación no se reviste. El proceso de la prueba propiamente tal consistió en deprimir el pozo mediante el uso de una bomba y medir posteriormente su recuperación a través del tiempo.

En el caso que la perforación atravesase sólo parcialmente la napa, el coeficiente de permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación (Luthin, 1966):

$$K = \frac{a \cdot S}{2d + a} \cdot \frac{\ln(h_1/h_2)}{(t_2 - t_1)} \quad (4.1)$$

El caso analizado en este documento corresponde a la perforación que atraviesa sólo parcialmente la napa, por lo que la expresión del coeficiente de permeabilidad puede separarse en dos términos claramente diferenciables:

$$K = \frac{a \cdot S}{2d + a} \cdot \frac{\ln(h_1/h_2)}{(t_2 - t_1)} = f \cdot m \quad (4.2)$$

Un primer término, f , está asociado a parámetros geométricos de la perforación:

$$f = \frac{a \cdot S}{2d + a} \quad (4.3)$$

El segundo parámetro, m , está asociado al comportamiento hidráulico del acuífero, más exactamente corresponde a la tasa de recuperación del nivel de agua en el tiempo:

$$m = \frac{\ln(h_1/h_2)}{t_2 - t_1} \quad (4.4)$$

Para los propósitos de este estudio se construyó tres calicatas para la realización de pruebas de agotamiento y recuperación. Información relevante de estas tres calicatas se presenta en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1
Ubicación de Calicatas Utilizadas en Pruebas de Terreno

NORTE	ESTE	DESCRIPCION	SIGNIFICADO
6211207.05	343495.10	C1	CALICATA 1
6211161.59	343397.17	C2	CALICATA 2
6211087.18	343509.20	C3	CALICATA 3

La Tabla 4.2 muestra la información geométrica equivalente de las perforaciones realizadas. En este caso A corresponde al área promedio de la calicata vista desde la superficie. Debido a la que las calicatas son realizadas con la ayuda de una retroexcavadora, resulta casi imposible obtener una geometría cilíndrica. Para solucionar este problema se aproximó la geometría de la perforación a la de un rectángulo y posteriormente se transforma mediante equivalencia de áreas a una circunferencia, obteniéndose el radio equivalente de la calicata.

Tabla 4.2
Valores Geométricos de las Perforaciones

Parámetro	Unidad	Calicata C1	Calicata C2	Calicata C3
A	[m ²]	2.90	2.22	2.34
a	[m]	0.96	0.84	0.86
d	[m]	1.08	1.77	0.61
S	[m]	5.46	7.83	2.77
f	[m]	1.68	1.50	1.15

El área del rectángulo es obtenida mediante medidas promedio de una sección inicial efectuada al inicio de la recuperación y otra medida se realiza cuando la prueba de recuperación ha concluido. A continuación se muestran los resultados obtenidos en esta prueba para las tres calicatas realizadas.

La Figura 4.2 muestra la recuperación de los niveles de agua en la calicata 1 a través del tiempo luego del agotamiento por bombeo. Se observa el adecuado ajuste de una recta a los datos medidos, lo que nos indica que el parámetro m se puede evaluar como la pendiente de dicha recta. Un comportamiento similar se observa en las Figuras 3 y 4 para las calicatas 2 y 3, respectivamente.

La Tabla 4.3 resume la información de las pruebas de agotamiento y recuperación para las tres calicatas.

Tabla 4.3
Parámetros Hidráulicos Obtenidos en Pruebas de Agotamiento y Recuperación

Parámetro	Unidad	Calicata C1	Calicata C2	Calicata C3
f	m	1.68	1.50	1.15
m	1/s	0.00013	0.00010	0.00027
K	m/s	0.00022	0.00014	0.00031
K	m/día	19.31	12.35	26.58

Figura 4.2
Prueba de Agotamiento y Recuperación en Calicata C1

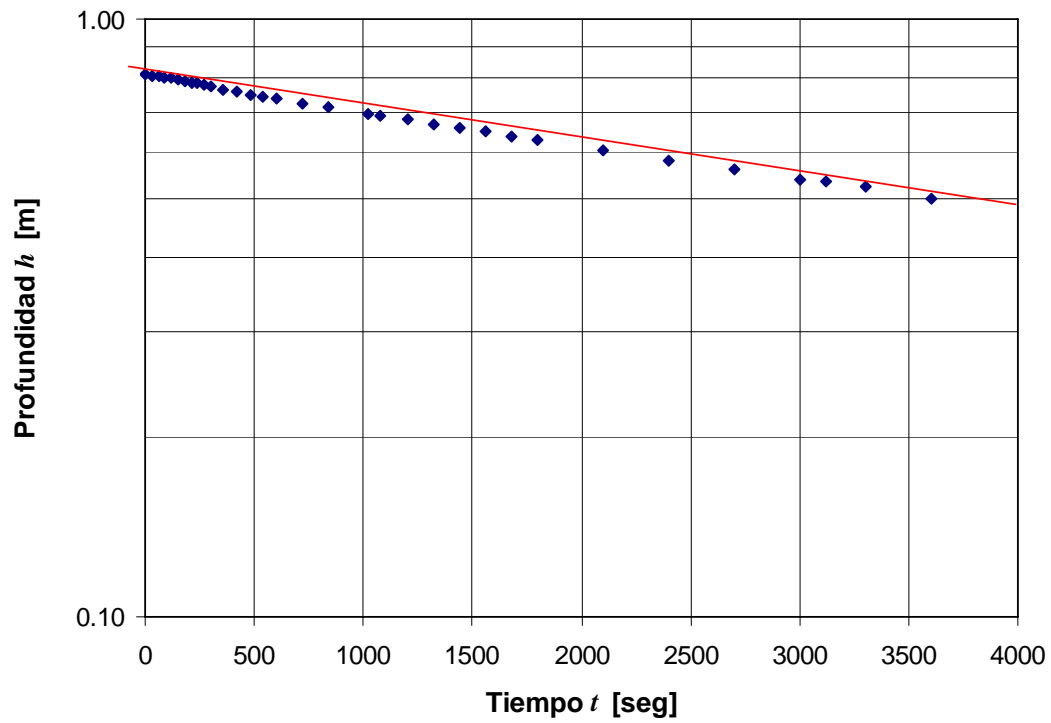


Figura 4.3
Prueba de Agotamiento y Recuperación en Calicata C2

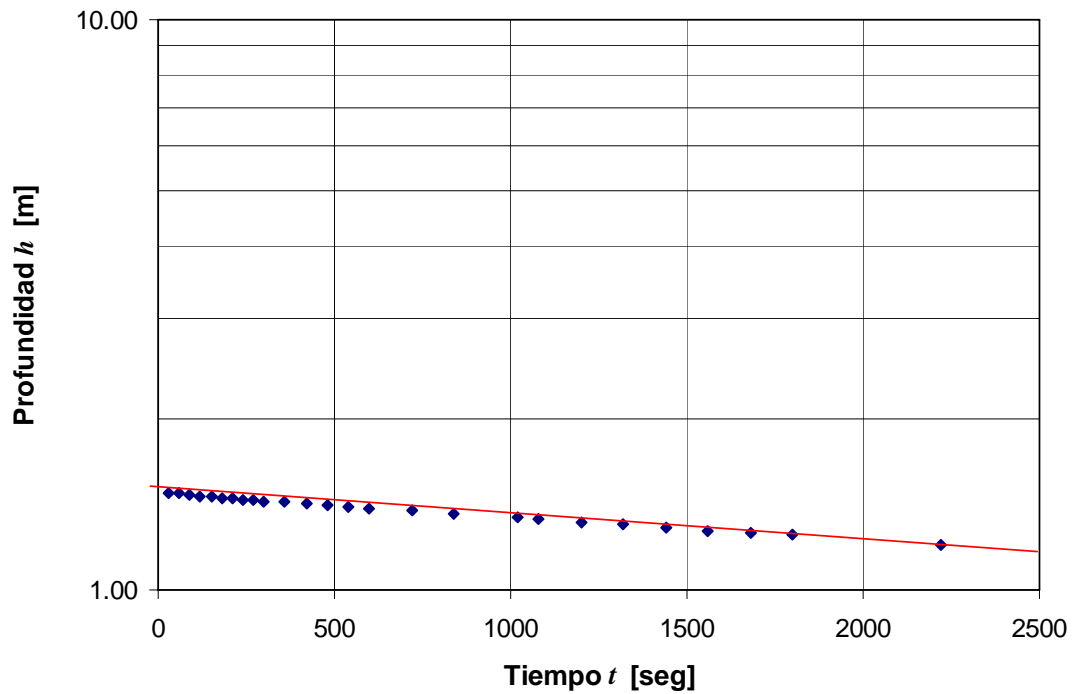
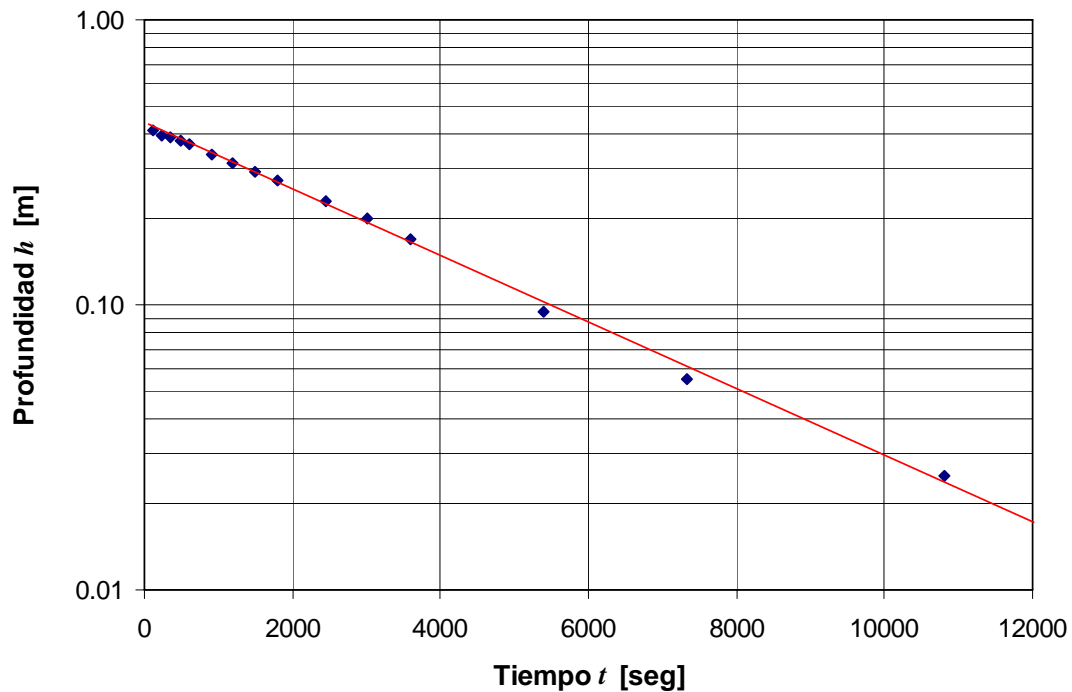


Figura 4.4
Prueba de Agotamiento y Recuperación en Calicata C3



En función de los resultados obtenidos se adoptará un valor de 20 m/día como conductividad hidráulica de los materiales ubicados en las cercanías de la zona a intervenir.

De acuerdo a la literatura especializada (Freeze and Cherry, 1979) gravas areno arcillosas tienen valores de conductividad hidráulica comprendida entre 10^{-4} y 10^{-3} m/s (9 y 90 m/día), lo que ratifica el valor adoptado para esta zona.

5. REFERENCIAS

Luthin, J. Drainage Engineering. Wiley. 1966.

Freeze A. and J. Cherry. Groundwater. Prentice Hall. 1979.