

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

PUBLICACIONES CIENTIFICAS DE LA JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR

PROCEDIMIENTOS DE SONDEOS

Teoría, práctica y aplicaciones

JESUS PUY HUARTE

Doctor Ingeniero de Minas

DISTRIBUIDOR:

 EDITORIAL BLUME

Rosario, 17 - MADRID-5 - (ESPAÑA)



SERVICIO DE PUBLICACIONES DE LA J. E. N.

Madrid, 1977

27. En el Capítulo 25 —Pozos para agua— hemos visto cómo se determina la permeabilidad K del acuífero.

Por otra parte, cuando se ejecutan pequeños sondeos de reconocimiento del terreno, interesa a veces tener una idea sobre la permeabilidad del terreno. Dos son los tipos de ensayos más corrientes: Uno llamado de Lefranc para suelos poco coherentes, y otro para rocas tenaces, pero que presentan fisuras, llamado de Lugeon.

27.1. Ensayo Lefranc

El agujero de un sondeo, hecho a rotación, puede servir para medir la permeabilidad del terreno atravesado.

Si el sondeo ha sido hecho a percusión, el trépano puede tapar más o menos los poros y fisuras de la roca y los resultados serían erróneos.

En el Capítulo 25 hemos establecido la fórmula

$$Q = C K H$$

de donde podemos calcular la permeabilidad K con tal de que conozcamos Q , C y H .

El coeficiente C depende de las características geométricas de la cavidad que ha hecho el sondeo al atravesar el terreno. Como estamos en terrenos poco coherentes, la forma de la cavidad puede variar. Las diversas fórmulas establecidas por varios autores difieren entre sí por suponer

que la cavidad adopta una forma u otra. Creemos que es conveniente simplificar estas fórmulas pues no ganamos nada con fórmulas más o menos precisas, cuando en el procedimiento del ensayo no puede pasarse de una cierta precisión.

Si r es el radio del agujero del sondeo o del interior de la tubería, el valor del coeficiente C está próximo a $5 r$. En el Eart Manual-Bureau of Reclamations de U. S. A. toman para $C = 5,5 r$ y este valor adoptaremos, por lo que tendremos

$$Q = 5,5 r K H$$

de donde

$$K = \frac{Q}{5,5 r H}$$

y llamando

$$C_1 = \frac{1}{5,5 r}$$

se tiene finalmente

$$K = C_1 \frac{Q}{H}$$

Para calcular Q mediremos por medio de un contador de agua u otro procedimiento, la cantidad de agua que se introduce en el agujero, en un minuto, manteniendo la altura de agua constante en el rebosadero de la tubería introducida en el sondeo, tal como se ve en la figura.139-1. (Conviene hacer la prueba en 5 minutos y dividir por 5.)

El valor de H es la altura, en metros, de la superficie del agua añadida en la parte superior del tubo hasta el nivel hidrostático del agua (profundidad a la cual se encuentra el agua en el sondeo) en el caso de que este nivel esté por encima del tramo a ensayar. Cuando el nivel está por debajo del tramo a ensayar el valor de H es desde la superficie del agua añadida hasta el tramo a ensayar. En las figuras que se incluyen se indica claramente el valor de H .

Ejemplo: Supongamos que $Q = 45,8$ litros/minuto $H = 7,15$ m. y la tubería es de 74×67 mm.

$$(r = 67/2 = 33,5 \text{ mm.})$$

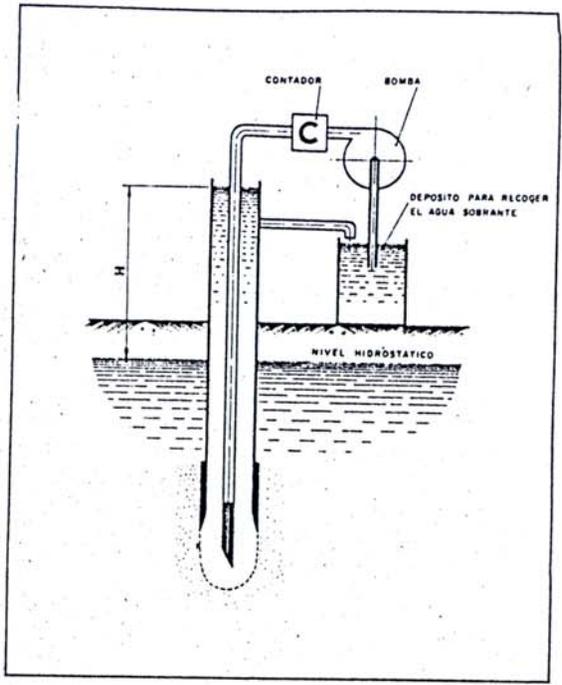


Figura 139-1 Esquema general de la prueba Lefranc.

Poniendo todo en metros será

$$Q = 0,0458 \text{ m}^3 \text{ y en un año}$$
$$Q = 0,0458 \times 365 \times 24 \times 60 = 24072,48 \text{ m}^3/\text{año}$$
$$r = 0,0355 \text{ m.}$$

$$K = \frac{24072,48}{5,5 \times 0,0355 \times 7,15} = 17243 \text{ metros por año}$$

Al final se dan unas tablas en el sistema métrico para el valor de C_1 , para tubería normal métrica y D. C. M. A. Si las mediciones se hicieran en galones y pies, pasarlos al sistema métrico, antes de emplear la fórmula.

- 1 galón U. S. A. = 0,003785 m³
- 1 galón imperial = 0,0045 m³
- 1 pie = 0,3048 metros
- 1 libra/pulgada cuadrada = 2,31 pies = 0,7 metros

27.1.1. Esquema general de la prueba Lefranc

Generalmente hace falta introducir una tubería en el sondeo, pues por ser suelos poco coherentes se derrumban las paredes.

Cuando la tubería se introduzca hasta el fondo del agujero es necesario limpiar bien el interior del extremo inferior de ella, para que no se introduzcan lodos o hundimientos del terreno, que se ha comprobado, aunque a primera vista parezca que no, falsea bastante la medida de la permeabilidad.

Se limpia pues el fondo, generalmente con una inyección de agua clara a través del varillaje de la sonda y ya estamos en condiciones de comenzar la prueba.

Para inyectar agua hace falta una bomba si el caudal que va a absorber el terreno es grande, y si es pequeño con un bidón o recipiente similar tenemos bastante. En el caso de emplear bomba es necesario emplear un contador de agua y cuando empleemos el bidón, que esté tarado, para conocer el volumen evacuado.

Como lo que se pretende es añadir agua para mantener el nivel constante hasta la parte superior del tubo, resultaría muy difícil, sobre todo en el caso de emplear una bomba, dosificar la cantidad de agua a añadir a tal fin, por lo que se procura añadir en exceso y la que rebose va a parar a un depósito similar tarado, de modo que si al final de la prueba hemos añadido Q_1 y han rebosado Q_2 , la cantidad añadida real es

$$Q = Q_1 - Q_2$$

En el caso de pequeños caudales, en los cuales no empleemos bomba, es útil poner una llave reguladora de caudal, de manera que accionándola se pueda casi anular la cantidad de agua que rebose.

De todas formas es fácil que el nivel superior del agua en el tubo varíe por no dosificar bien la cantidad de agua añadida. Se considera que la prueba está bien hecha cuando esta variación no pasa de 30 cm. (1 pie).

El agua que se emplee en la prueba debe ser agua clara, exenta de materiales en suspensión como limos o arcillas, pues si no los resultados serían erróneos.

También es conveniente, siempre que se pueda, que la temperatura del agua añadida sea superior a la del agua contenida en el terreno, pues de esta forma se evita formación

de burbujas de aire en el terreno, que reducirían mucho los resultados.

A continuación se exponen los diversos casos que pueden presentarse en la realización de la prueba.

27.1.2. Prueba de permeabilidad a través del fondo de la tubería

27.1.2. Prueba de permeabilidad a través del fondo de la tubería

La tubería se introduce hasta el fondo del agujero, para determinar la permeabilidad del estrato que comprende el fondo.

La cavidad a través de la cual se va a efectuar la prueba de permeabilidad, comprende solamente la sección circular inferior de la tubería.

Es necesario que el fondo esté limpio y no quede nada de detritus en el interior de la tubería.

En la figura 139-II se indican cuatro casos diferentes:

1. El nivel hidrostático —N. H.— está por encima del fondo del agujero.
2. El N. H. está por debajo del agujero.

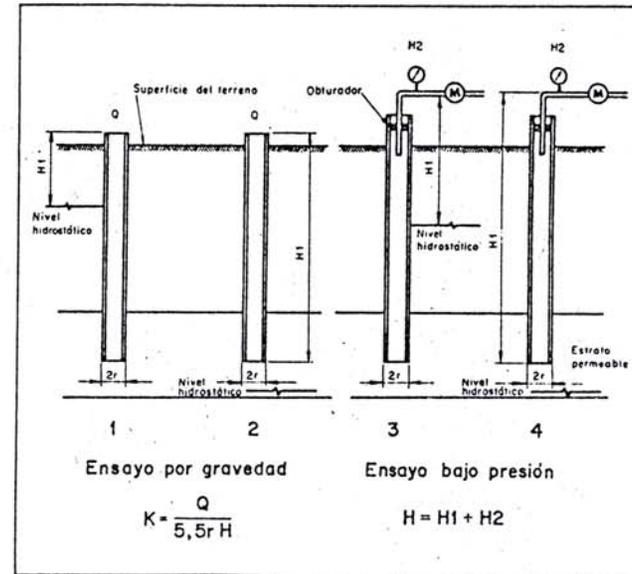


Figura 139-2

1. Pruebas de permeabilidad

3. Es el equivalente a -1- inyectando a presión. Se pone un obturador en la boca de la tubería y se añade agua a presión. No habrá rebose de agua y a la altura H_1 que teníamos en -1- habrá que sumar la dada por la presión de inyección. Como 1 kg/cm^2 equivale a una altura de 10 metros, si P es la presión de inyección en kg/cm^2 la altura será $H_2 = 10 P$.

4. Es el equivalente a -2- inyectando a presión. La altura total será:

$$H = H_1 + H_2$$

en la que H_1 es la altura debida a la gravedad y H_2 la debida a la presión de inyección.

Si Q es el caudal inyectado en litros/minuto, H la altura en metros y r el diámetro interior de la tubería en mm., la fórmula que da la permeabilidad expresada en metros/años es

$$K = \frac{Q/1000}{5.5 H r/1000} \times 365 \times 24 \times 60 = \frac{Q}{5.5 r H} \times 365 \times 24 \times 60$$

es decir

$$K = 95564 \frac{Q}{r H} \text{ metros años}$$

Llamando $C_1 = \frac{95564}{r}$ con lo que se tendrá

$$K = C_1 \frac{Q}{H}$$

podemos construir las siguientes tablas para las tuberías más usuales:

Tubería métrica	C_1
143 × 134	1.426
128 × 119	1.606
113 × 104	1.838
98 × 89	2.147
84 × 77	2.482
74 × 67	2.853
64 × 57	3.353
44 × 37	5.166

Tubería Tipo	Valores de C_1	
	sin manguito	con manguito
HX	1.889	1.824
NX	2.504	2.457
BX	3.162	3.048
AX	3.937	3.762
EX	5.007	4.628
XRT	6.291	

27.1.3. Prueba de permeabilidad por debajo de la tubería con obturación

Ejemplo 1.º:

Con tubería de 84×77 se han medido en el caso -4-

$Q = 37.4$ litros minuto

$H_1 = 4.75$ metros

$H_2 = \text{Presión de inyección} = 2.35 \text{ kg/cm}^2 = 23.5$ metros

$$K = 2482 \frac{37.4}{4.75 + 23.5} = 2482 \frac{37.4}{28.25} = 3286 \text{ metros/año}$$

Ejemplo 2.º:

Con tubería NX con manguito (Flush coupled) se han medido 15 galones U. S. A. minuto, en el caso -1- siendo $H = 8.40$ pies.

15 galones = $15 \times 3.785 = 56.775$ litros/minuto.

8.40 pies = $8.40 \times 0.3048 = 2.56032$ metros.

$$K = 2457 \frac{56.775}{2.56032} = 54484 \text{ metros/años}$$

27.1.3. Prueba de permeabilidad por debajo de la tubería, con obturadores

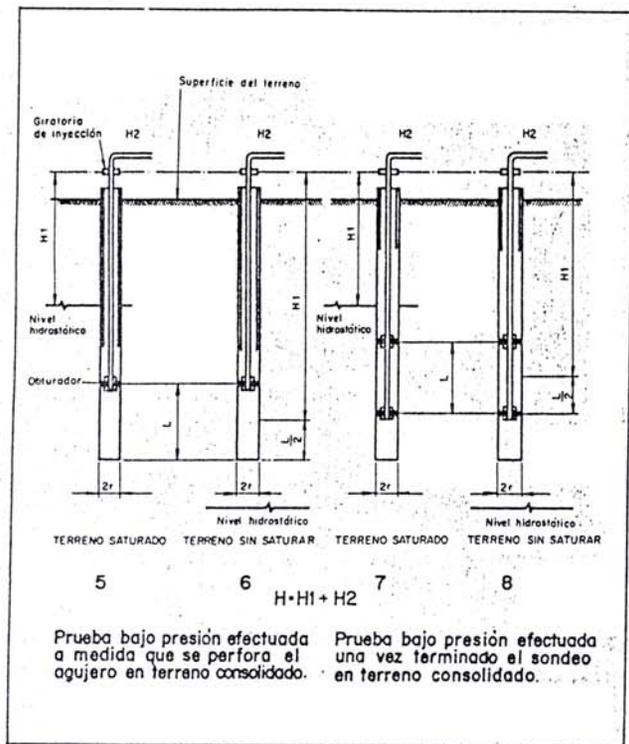
Todas las pruebas realizadas en el párrafo anterior consistían en bajar la tubería hasta el fondo del agujero y medir la permeabilidad a través de la sección circular inferior de la tubería.

Ahora vamos a suponer que la tubería llega a una cierta profundidad, que el terreno está lo suficiente consolidado para que sus paredes no se hundan, y que vamos a medir la permeabilidad de un tramo situado por debajo de la tubería.

Pueden seguirse dos procedimientos. El primero consiste en ir midiendo la permeabilidad por tramos según se va per-

forando el sondeo, casos 1 y 2 de la figura 139-III, o bien medir la permeabilidad de un estrato una vez que se ha terminado el sondeo, casos 3 y 4. Para esto último hacen falta dos obturadores.

En el caso de que el terreno no estuviera muy consolidado sería necesario, en el primer procedimiento, colocar el obturador dentro del extremo inferior de la tubería.



En el caso de dos obturadores, el trozo de varilla comprendido entre ambos está perforado para que deje salir fácilmente el agua. El extremo del obturador inferior está cerrado para impedir salga agua que falsaría los resultados:

Las fórmulas dadas en el Earst Manual son:

$$(1) K = \frac{Q}{2\pi L H} \ln \frac{L}{r} \text{ para } L > 10 r$$

o bien

$$(2) K = \frac{Q}{2\pi L H} \text{ arco seno hiperbólico } \frac{L}{2r}$$

para $10 r > L > r$

en las que

L = Longitud tramo ensayado

H = según cada caso de las fig. 139-III

y las otras variables como anteriormente se explicó.

Conviene realizar el ensayo por tramos ascendentes desde el fondo del agujero.

Estas fórmulas son válidas para un espesor del estrato o mayor que 5 L.

La longitud del obturador, cuando está expandido, debe ser unas cinco veces el diámetro.

Si medimos Q en litros/minuto, L en metros, H en metros, r en milímetros, la permeabilidad en metros/años será, llamando

$$C_1 = \frac{356 \times 24 \times 60}{1000 \times 2\pi \times L} A$$

en la que A es $\ln \frac{L}{r}$ o bien arc. seno heperbólico $\frac{L}{2r}$

según que $L > 10 r$ o bien $10 r > L > r$

$$K = C_1 \frac{Q}{H} \text{ metros/año}$$

Podemos construir una tabla en la que veamos los valores de C_1 en la cual ya se ha tenido en cuenta para su cálculo si empleábamos la función logarítmica o la hiperbólica de acuerdo con la longitud L:

Ejemplo:

L = 2,50 m.

Q = 8,25 litros minuto.

$H_1 = 4$ metros, $H_2 = 1,75 \text{ kg/cm}^2 = 17,5$ m.

$H = H_1 + H_2 = 21,5$ m.

Agujero de 76 mm. de \varnothing

En la tabla se tiene

XXVII Pruebas de permeabilidad

$$C_1 = 140$$

$$\text{luego } K = 140 \frac{8.25}{21.5} = 54 \text{ metros/año}$$

Valores de C_1 para diámetros de agujero en norma métrica

Diámetro en milímetros									
L	146,0	131,0	116,0	101,0	86,0	76,0	66,0	56,0	46,0
0,25	437	469	506	548	598	638	683	737	798
0,50	325	343	363	385	410	431	455	482	515
0,75	260	272	285	301	319	333	348	367	389
1,00	219	228	238	250	263	274	285	299	316
1,25	190	197	205	215	226	234	243	254	267
1,50	169	175	181	189	198	205	213	222	233
1,75	152	157	163	169	177	183	190	198	207
2,00	138	143	148	154	161	166	172	179	187
2,25	127	131	136	141	147	152	157	163	170
2,50	118	122	126	131	136	140	145	150	157
2,75	110	114	117	122	126	130	135	140	146
3,00	104	107	110	114	118	122	126	130	136
3,25	98	100	104	107	111	115	118	122	127
3,50	92	95	98	101	105	108	111	115	120
3,75	88	90	93	96	100	102	106	109	114
4,00	84	86	89	91	95	97	100	104	108
4,25	80	82	85	87	90	93	96	99	103
4,50	77	79	81	83	86	89	91	94	98
4,75	74	75	78	80	83	85	88	90	94
5,00	71	73	75	77	80	82	84	87	90
5,25	68	70	72	74	77	79	81	83	87
5,50	66	67	69	71	74	76	78	80	83
5,75	64	65	67	69	71	73	75	77	80
6,00	61	63	65	67	69	71	73	75	78

Valores de C_1 para diámetros de agujero en norma D. C. D. M. A.

Diámetro en milímetros										
L	ZF 199,3	VF 173,9	SF 145,3	PF 119,9	HX 98,8	NX 75,3	RX 59,6	AX 47,6	EX 37,3	XRT 29,5
0,25	351	388	439	496	555	641	716	787	868	947
0,50	276	297	326	357	387	433	472	509	550	589
0,75	227	242	260	282	303	334	360	385	412	438
1,00	193	204	219	235	252	274	294	313	333	353
1,25	169	178	190	203	216	234	250	265	281	297
1,50	151	159	169	180	190	205	219	231	245	258
1,75	137	143	152	161	171	184	195	205	217	228
2,00	125	131	139	147	155	166	176	185	196	205
2,25	116	121	128	135	142	152	161	169	178	187
2,50	108	112	118	125	131	140	148	156	164	172
2,75	101	105	111	116	122	131	138	144	152	159
3,00	95	99	104	109	115	122	129	135	142	148
3,25	90	93	98	103	108	115	121	127	133	139
3,50	85	88	93	97	102	108	114	119	125	131
3,75	81	84	88	92	97	103	108	113	118	124
4,00	77	80	84	88	92	98	102	107	112	117
4,25	74	77	80	84	88	93	98	102	107	111
4,50	71	73	77	80	84	89	93	97	102	106
4,75	68	70	74	77	80	85	89	93	98	102
5,00	66	68	71	74	77	82	86	89	94	97
5,25	63	65	68	71	74	79	82	86	90	94
5,50	61	63	66	69	72	76	79	83	86	90
5,75	59	61	64	66	69	73	77	80	83	87
6,00	57	59	62	64	67	71	74	77	80	84

27.2. Ensayo Lugeon

Este ensayo se realiza en rocas fisuradas pero duras, por ejemplo en los estribos de una presa.

Consiste en inyectar agua a diferentes presiones por medio de un obturador, regulando el caudal para que la presión se conserve constante. Esto se consigue derivando agua de la bomba por medio de una llave e intercalando un contador de agua para medir el caudal.

Los ensayos se suelen hacer en tramos de 5 metros, durando 10 minutos la prueba a presión constante.

Se comienza inyectando a 0 kg/cm² para pasar después a 5 y finalmente a 10 kg/cm², que es la que va a servir para la fórmula. Después se desciende la presión a 5 kg/cm² y