

January 1991

## El ensayo de Lugeon y su interpretación

José Camilo Alarcón

*Universidad de La Salle, Bogotá, revista\_uls@lasalle.edu.co*

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls>

---

### Citación recomendada

Alarcón, J. C. (1991). El ensayo de Lugeon y su interpretación. *Revista de la Universidad de La Salle*, (18), 139-150.

This Artículo de Revista is brought to you for free and open access by the Revistas de divulgación at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in *Revista de la Universidad de La Salle* by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

## EL ENSAYO DE LUGEON Y SU INTERPRETACION

A.C. Houlby

Water Resources Commission  
North Sydney Australia

Traducción y Adaptación: José Camilo Alarcón \*

### RESUMEN

Se describe una rutina relativamente simple para calcular e interpretar el ensayo de Lugeon. Este método es usado regularmente para tratar las fundaciones de presas. El método consiste en calcular los valores del ensayo aumentando y disminuyendo las presiones, representando los resultados con los cuales se interpreta el problema hidráulico.

Adicionalmente se presentan los actuales estados de la interpretación del ensayo.

### DESARROLLO DEL METODO

El método y la interpretación aquí presentado representa el producto de la experiencia de varias dificultades y complicaciones anteriores. Esta evolución se cree viene como consecuencia de la aparición de variantes al método desarrollada por personas diferentes, expertas en el tema, más la literatura consignada hasta la fecha es escasa (con excepción de Lancaster Jones 1975) y la nota que se esboza aquí.

El método presentado aquí desautoriza el estado de conocimiento hasta 1970 y propone nuevas estrategias como consecuencia de numerosas investigaciones realizadas recientemente.

### EL METODO

1. Mediante la realización de cinco pruebas de agua a presión de 10 minutos cada una asumiéndola como presión de prueba "p" de la siguiente manera:
  - 1a. de 10 minutos como presión baja (Presión "a").
  - 2a. de 10 minutos como presión media (Presión "b").
  - 3a. de 10 minutos como presión alta (Presión "c").
  - 4a. de 10 minutos como presión media (Presión "b" otra vez).
  - 5a. de 10 minutos como presión baja (Presión "a" otra vez).

(\*) Ingeniero Civil, Gerente Alarcón & Cía. Ltda., Consultor en Geotecnia Profesor Asistente en Geología, Facultad de Ingeniería Civil UNISALLE.

TABLA No. 1

Gráficas Lugeon para varios casos durante la prueba: Su interpretación y porcentaje de ocurrencia

Presiones de prueba	Gráfica Lugeon Calculada para 10 minutos de prueba	Características de la gráfica Interpretación de ésta	Valor Lugeon a usarse en el reporte de permeabilidad	Porcentaje de casos de cada grupo	Desviación estándar
<b>GRUPO A - Flujo Laminar</b>					
1o. Diez minutos de prueba		Todos los valores son iguales	Use el promedio	78%	5%
2o. "					
3o. "					
4o. "					
5o. "					
<b>GRUPO B - Flujo Turbulento</b>					
1o. Diez minutos de prueba		El valor Lugeon más bajo ocurre para más alta de presión.	Usar el valor de Lugeon para la presión más alta.	13%	53%
2o. "					
3o. "					
4o. "					
5o. "					
<b>GRUPO C - Dilatación de Diaclasas</b>					
1o. Diez minutos de prueba		El valor Lugeon más alto ocurre, para la presión más alta.	Usar el valor Lugeon como el promedio para los valores más bajos.	1%	9%
2o. "					
3o. "					
4o. "					
5o. "					
<b>GRUPO D - Lavado de Diaclasas</b>					
1o. Diez minutos de prueba		Se incrementan los valores de Lugeon por cambios en el macizo.	Usar el valor Lugeon más alto.	2%	21%
2o. "					
3o. "					
4o. "					
5o. "					
<b>GRUPO E - Llenado de Vacios</b>					
1o. Diez minutos de prueba		Los valores de Lugeon decrecen en la realización del ensayo.	Usar el valor final de Lugeon.	6%	12%
2o. "					
3o. "					
4o. "					
5o. "					

Esta tabla se debe tener como una guía general. Debe tenerse cuidado al adoptar los valores hallados en el campo

2. El valor de una unidad Lugeon es calculada para cada una de estas cinco presiones usando la siguiente expresión:

$$\text{UNIDAD LUGEON} = \text{Toma de agua (Litros/metro/min.)} \times \frac{10 \text{ (Bares)}}{\text{Presión de Prueba (Bares)}} \quad (1)$$

3. Habiendo calculado los valores de las unidades LUGEON, estos se revisarán, se compararán y se patronarán de acuerdo con los problemas de permeabilidad reportados.

La tabla 1 muestra la interpretación para las diferentes alternativas del método de los cinco valores y su interpretación en cuanto a la permeabilidad y la elaboración de cada esquema y su significado.

## EXPLICACION DEL CALCULO

Lugeon (1933) en su método estándar especificó una presión de 10 Bares (150 psi; 1.000 kpa).

La "modificación" del método implica la utilización de presiones más bajas debido a las siguientes causas:

- i) Un rango de presiones (En lugar de una sola) es deseable, como se discutirá en este artículo.
- ii) El uso de una presión tan alta como 10 Bares no siempre es recomendable, particularmente para rocas superficiales y rocas fracturadas.
- iii) Resultados ampliamente satisfactorios son obtenidos con presiones eminentemente bajas.

Cuando se usa el ensayo "modificado" es necesario convertir los resultados dentro de valores comparables a la presión "definida" (10 Bares) como la tradicionalmente usada para poderla comparar.

La fórmula (1) se utiliza para esta conversión. Sin embargo, esto implica establecer una proporción entre presiones relativas; esta suposición es válida solamente en el flujo a través de juntas abiertas y eminentemente laminar.

Consecutivamente cuando se detectan resultados diferentes de una secuencia de cómputo fuera de lo normal, siguiendo el método propuesto es evidente que el flujo no es laminar o probablemente existen otros factores externos que ejercen una influencia final.

## GRUPO A - Flujo Laminar

Se detecta flujo laminar cuando la secuencia de valores Lugeon calculado de los cinco ensayos previstos es aproximadamente igual.

El reporte de permeabilidad asumido es tomado del promedio de estos cinco valores.

## GRUPO B - Flujo Turbulento

Cuando el valor de Lugeon calculado para la presión "alta" ("C") es el más bajo de las restantes, dos abajo y dos arriba, y también cuando el valor de la presión baja es aproximadamente igual en valor, este flujo es considerado "turbulento". Los otros dos valores promedio son aproximadamente iguales unos de otro en comparación con el central que es mucho menor que los anteriores.

Guerra y otros (1968), Arhippainen (1970), Lancaster - Jones (1975) y otros, han discutido ampliamente detección del flujo turbulento. Ellos han demostrado que para flujos clasificados como turbulentos, las presiones de ensayo tienen o presentan entre sí una relación equivalente a la raíz cuadrada comparada con la relación para flujos laminares. Esto se da sólo en los casos en que las relaciones son más o menos constantes o por lo menos promedio.

Aceptando que los datos de flujo turbulento se dan como proporcionales a la raíz cuadrada respecto al flujo laminar es obvio que los valores de las unidades Lugeon calculados con el empleo de la fórmula (1), no son generalmente iguales, pero casi siempre detectan valores bajos para las presiones más altas que los valores medios, mientras que para presiones bajas es casi siempre igual, y por consiguiente el flujo es no laminar. Este por consiguiente ha sido designado como "turbulento", en una descripción aproximada del fenómeno.

Debido a que el ensayo involucra en este caso discontinuidades, rocas fracturadas de varios tamaños, y debido a que en tamaños pequeños tiende a generarse un flujo laminar y en los grandes o por lo menos heterogéneos turbulentos, el efecto que se obtiene es representativo de una zona intermedia para este tipo de flujo. Por consiguiente no es extraño que la relación aproximada de la raíz cuadrada es la experiencia empírica comparada con el flujo laminar. Así pues "turbulento" es un término conveniente para describir el tipo de flujo obtenido.

El reporte de permeabilidad o el estado del sitio ensayado que demuestra un flujo "turbulento" es el momento más representativo para manejar las presiones altas. Se puede argumentar como justificación que si el flujo obtenido está en las fronteras del turbulento, el valor de las Unidades Lugeon deben ser recalculados mediante el empleo de valores asociados con la raíz cuadrada. Esto produce por consiguiente mayor significación con valores pequeños, sin embargo, la proporción obtenida para sectores con flujo turbulento no puede ser asumido para zonas mixtas donde también pueda detectarse flujo laminar y turbulento a la vez. El emplear la proporción no sería representativa para calcular los diferentes valores y obviamente no se daría ninguna garantía del método.

## GRUPO C - Apertura Elástica

Cuando se calculan las unidades Lugeon para la presión más alta "c", resulta más alta que para las otras presiones y cuando éstas producen resultados con valores aproximadamente iguales, la ocurrencia de una apertura elástica temporal del macizo rocoso es el fenómeno que se ocasiona o detecta. Este conjunto de valores puede asumirse como el inverso del grupo B o flujo turbulento.

El alto valor obtenido para la presión más alta (algunas veces puede ocurrir con las presiones intermedias) es causado por las fisuras que se abren temporalmente o por materiales que se comprimen durante la prueba de agua. Esta condición temporal se diferencia de los movimientos permanentes ocasionados por el reflujo de los valores Lugeon en la presión baja final referido al valor obtenido en la presión baja inicial.

El efecto de dilatación, debido a su naturaleza temporal, es usualmente observado y de acuerdo con el tipo de permeabilidad reportada para el rango de las presiones más bajas, o alternativamente para las presiones medias si estas son menores para presiones bajas (indicando que el flujo "turbulento" fue ocasionado antes de la dilatación).

#### **GRUPO D - Lavado del material que llena las diaclasas.**

Un incremento progresivo en los cinco valores Lugeon, consecutivamente sin influir la disminución de las presiones en el rango de reflujos es demostrativo del fenómeno conocido como lavado permanente del material que llena las diaclasas en el macizo rocoso ocasionadas por la ejecución del ensayo. Todo esto constituye un llamado de alerta porque la presión de ensayo es demasiado alta!. El reporte para medir la permeabilidad se mide usualmente como el que se detecta con la presión más baja final (valor más alto), se asume adicionalmente que la presión alta puede ocasionar serios problemas en el efecto del lavado del material que llena las diaclasas.

#### **GRUPO E - Llenado de finos.**

Un progresivo decremento de los valores de los cinco ensayos Lugeon se detectan y es índice de que gradualmente todos los vacíos, antes abiertos se van llenando con partículas sólidas (el agua no puede escapar libremente ahora). Un ensayo de penetración de agua indicaría que la fundación se va saturando consecutivamente se realiza el ensayo, mas no siempre es posible obtener este resultado.

Guerra y otros (1968) discutiendo este tipo de flujos, han sugerido que se crea cierta resistencia capilar para la penetración del flujo en fisuras muy delgadas.

La interpretación de la permeabilidad se hace mediante el valor reportado al final del ensayo. Sin embargo, es preferible continuar el ensayo nuevamente para comprobar si el llenado de vacíos es permanente y estable.

### **APLICACIONES DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO**

El objetivo de usar esta tecnología y la información obtenida de la fundación o del sitio es asegurar si ejecutar INYECCIONES puede garantizar una solución al problema detectado.

La figura No. 1 muestra una forma general cómo se interpretan éstos y su relación de acuerdo con las unidades Lugeon detectadas. Esta figura muestra también en forma incidental el criterio adoptado para una buena evaluación elemental para el proceso de inyección y sobre todo, cuando es suficiente la inyección ejecutada. La prueba de agua usada para ésta evaluación no es necesariamente igual a una típica teórica como la elaborada en estas notas, esta puede variar de acuerdo con las condiciones particulares del sitio, más en líneas generales puede tomarse como punto de comparación.

La necesidad de efectuar inyecciones no solamente se decide a partir de las condiciones de permeabilidad mostradas en la figura No. 1, la geología y otros factores locales deben ser considerados pero esos tópicos escapan al alcance de estas notas. Estos fueron expuestos con detalle por Houlsby (1976).

Raramente en algunos sitios de presa australianos otros materiales diferentes a arcilla o químicos son usados para inyectar rocas. Cemento Portland se usa en oca-

siones. Es popularmente establecido que si las grietas son muy finas para colmar las grietas con penetraciones efectivas con cemento, la inyección es innecesaria.

Las diferencias aparentes mencionadas por varios autores para usar la información obtenida de la condición de permeabilidad detectada y los criterios generales usados por Guerra y otros (1968) se sintetiza en los siguientes puntos:

La magnitud de los valores Lugeon reportados son esencialmente usados por Guerra y otros para decidir si se necesita inyección pero, EL TIPO DE INYECCIÓN es decidida por éstos si la consideración entre el flujo es laminar o turbulento (o la combinación de los dos) se puede remediar usando exclusivamente cemento. Por otro lado, ellos usan las mismas consideraciones en cualquier flujo, laminar, turbulento, etc. para establecer las condiciones del sitio y evaluar qué clase y tipo de los valores obtenidos se aplicará al sitio.

El hecho de detectar un flujo laminar por Guerra y otros para indicar la presencia de materiales granulares en las grietas y discontinuidades de la roca y aquí se ve la necesidad de utilizar alguna clase de inyección preferiblemente química. El autor, sin embargo, para varios sitios australianos ha experimentado frecuentemente flujo laminar en grietas y diaclasas finas al igual que en lechos granulares. Esas grietas tienen, en ocasiones de ser observadas con equipos de televisión especiales y a veces pueden ser inyectadas efectivamente a presiones que no vayan a ocasionar dilataciones, con cemento Portland como un recurso para inyectar.

También es sabido que impera un flujo "laminar" cuando el rango es 1, 2 o 3 Lugeones, y que para 4 o más el flujo es comúnmente "turbulento". Estos valores son compatibles para grietas finas comúnmente halladas en donde la permeabilidad es 1, 2 o 3 Lugeones y para zonas mixtas (generalmente extensas) donde experimentalmente la permeabilidad siempre excede 4 o más Lugeones.

En concordancia con el criterio expuesto en la figura No. 1 la inyección de fundaciones con permeabilidades entre 1 y 3 Lugeones es comúnmente innecesaria, esto sucede donde el rango es laminar. Hacer inyección en zonas fracturadas en donde la permeabilidad es mayor de 3 Lugeones presentan siempre flujo "turbulento".

## **FRACTURA Y POROSIDAD**

Snow (1968) presentó un método para estimar la "fractura y porosidad". Como anota Houlby (1969) el método es ambiguo para aplicar una predicción del inyectado de cemento en áreas pequeñas. Snow (1969) hace énfasis que el método está directamente dirigido al sistema de inyección química.

Las razones que expone Snow en su método no precisa ninguna condición de permeabilidad en procesos de inyección de cemento.

## **EFFECTOS GEOLOGICOS**

Los factores geológicos que intervienen como las rugosidades de las paredes de las grietas y diaclasas, la frecuencia y orientación de las mismas, dirección preferente, y obviamente los efectos hidráulicos sobre el flujo durante las pruebas de agua han de tomarse en cuenta. De la misma manera estos criterios son aplicables para la observación de los terrenos después del tratamiento mediante inyección en forma de comprobación.

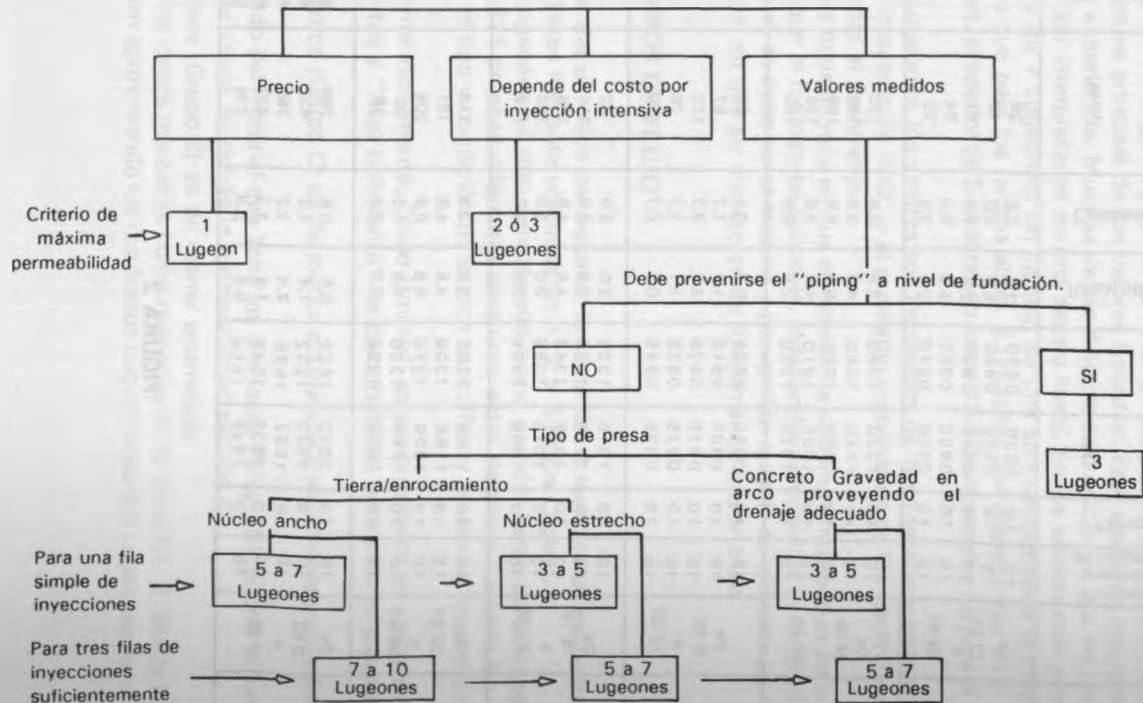
Estos factores geológicos pueden usualmente observarse durante las operaciones

# CUANDO SE GARANTIZA INYECCION para controlar permeabilidad baja la presa? CUANDO DEBE INYECTARSE

Quando las permeabilidades son menores o mayores.

En el sitio en consideración

Cómo valorar si el agua se pierde en el ensayo?



NOTA:

- Este gráfico es sólo una guía, para cada sitio específico deberán hacerse las adaptaciones.
- Válido sólo para inyectar rocas.
- Para usarse a poca profundidad. A grandes profundidades deben usarse altas presiones

FIGURA 1



## REPORTE DE CALCULOS

Fecha	Longitud	TIEMPOS DE ENSAYO				Presión manométrica en Bars		Agua inyectada en el hueco  litros	Valores Lugeón		GRUPO
		Tiempo requerido en minutos	Tiempo	Reloj		Requerida	Colocada		Del ensayo	Adaptada	
				De	A						
De 27 67 a 39 67		10	10	0820	0830	2.8	2.8	29	2	2	A LAMINAR
		10	10	0830	0840	5.0	5.0	46	1		
		10	10	0840	0850	7.8	7.8	81	2		
		10	10	0850	0900	5.0	5.0	54	2		
		10	10	0900	0910	2.8	2.8	25	1		
De 24 08 a 30 26		10	10	1230	1240	2.8	2.8	120	7	5	B TURBULENTO
		10	10	1240	1250	4.5	4.5	180	6		
		10	10	1250	1300	6.8	6.8	198	5		
		10	10	1300	1310	4.5	4.5	178	6		
		10	10	1310	1320	2.8	2.8	150	9		
De 6 20 a 12 20		10	10	0955	0905	0.7	0.7	20	5	5	C DILATACION
		10	10	0905	0915	1.7	1.7	57	6		
		10	10	0915	0925	2.7	2.7	122	8		
		10	10	0925	0935	1.7	1.7	76	7		
		10	10	0935	0945	0.7	0.7	20	5		
De 15 16 a 21 29		10	10	1315	1325	2.0	2.0	62	5	10	D LAVADO DE DIACLASAS
		10	10	1325	1335	3.0	3.0	114	6		
		10	10	1335	1345	4.8	4.8	198	7		
		10	10	1345	1355	3.0	3.0	163	8		
		10	10	1355	1405	2.0	2.0	119	10		
De 22 57 a 30 42		10	10	1140	1150	2.8	2.8	118	5	3 OR 1	E LLENADO DE VACIOS
		10	10	1150	1200	4.5	4.5	151	4		
		10	10	1200	1210	6.8	6.8	208	4		
		10	10	1210	1220	4.5	4.5	94	3		
		10	10	1220	1230	2.8	2.8	28	1		
De 3 60 a 9 60		10	10	1512	1522	0.8	0.8	269	56	60	X
		10	10	1522	1532	1.4	1.2	432	60		
		10	6	1532	1538	2.4	1.2	259	60		
		10	10	1538	1548	1.4	1.2	432	60		
		10	10	1548	1558	0.8	0.8	279	58		

FIGURA 2

de investigación de los sitios y si se desea hacen parte de la misma realización de los trabajos de reparación. Estas situaciones no condicionan un estado mental o un criterio procedimental, pero con seguridad se van a encontrar situaciones contempladas por el método y la interpretación de tales resultados. Esta situación se contempla dentro de un amplio rango de causas incluyendo los criterios geológicos que pueden ser comparados contra un patrón de valores Lugeon determinados dentro del espacio geométrico limitado para áreas uniformes. Para hacer uso de los resultados conforme la tabla No. 1, antes que todo, debe utilizarse un valor representativo (totalmente diferente al simple promedio de la secuencia de resultados de la serie de presiones prevista en el ensayo tradicional debido a la importancia individual de los valores numéricos), aplicando antes que todo el sistema a un área geológicamente establecida, pre-concebida o determinada que pueda ser la causa principal de los valores hallados. Este esquema requiere, para ser implementado, experiencia. Muchas de las dificultades radican en que las unidades Lugeon no pueden ser interpretadas en una escala lineal. En los valores más pequeños del rango (Menores de 7 Lugeones) un cambio de una sola unidad tiene la mayor importancia, mientras que para los rangos altos, 2 unidades son importantes en el rango entre 7-15 Lugeones, alrededor de 5 en el rango entre 15-50 Lugeones y 10 para el rango de 50 a 100.

Cerca de 100 Lugeones, los valores son imposibles de interpretarse y comunmente se reportan como "mayores de 100" y el promedio matemático de los resultados sería una forma de reportar el fenómeno.

Para los muchos tipos de roca en que el método ha sido implementado se ha llegado a la conclusión de que el método es aplicable, independientemente de la condición del macizo. Sin embargo, se debe tener mesura y prevención cuando se enfrenta un factor geológico poco usual en que su manejo es de fundamental importancia.

## **EJEMPLO DE GRUPOS DE FLUJO**

Con el propósito de dar una idea del sistema, la tabla No. 1 muestra un esquema porcentual de casos. Estos han sido ubicados en 1, 2 o 3 casos Lugeon.

El caso de 4 Lugeones ha sido considerado como grande. Estos porcentajes han sido evaluados de 811 pruebas diferentes en cuatro sitios de presa. La tabla No. 2 da más detalles sobre el tipo y condición de la roca específica y en ella se relacionan más sitios de presa.

Como se comenta inicialmente, "flujo laminar" es predominante en casos de 1, 2 o 3 Lugeones medidos y "flujo turbulento" es característico para valores superiores a 4 Lugeones.

La apertura elástica (Grupo C) es de menor ocurrencia (ciertamente según Sabarly (1968) y otros).

El caso del lavado del material que llena las diaclasas (Grupo D), ocurre en un significativo número de casos en donde la permeabilidad excede 4.

El llenado de finos (Grupo E) es de menor ocurrencia.

En las figuras, los casos marcados como redondos en la tabla No. 2, donde los resultados se presentan aproximando los resultados Lugeon cada 0,5 Lugeones de valores completos.

TABLA 2

Número de casos y Porcentajes con sus respectivos grupos

		SITIO A		SITIO B			SITIO C			SITIO D			Total de los cuatro grupos			
		Brechas, limolitas, muy duras con fracturas moderadas		Granito masivo sin juntas ni fracturas			Shales, areniscas, muy fracturadas y húmedas de estratos gruesos			Jasper, limolitas macizas fracturadas y falladas.						
<u>VALORES</u>		No. Casos	% Casos	No. Casos	% Casos	No. Casos	% Casos	No. Casos	% Casos	No. Casos	% Casos	No. Casos	% Casos	No. Casos	% Casos	
<u>1, 2 o 3 Lugeones</u>		133	30	37	17	8	8	8	22	186	23					
Grupo	A- Flujo Laminar	150	78	33	111	85	52	12	46	11	6	60	16	279	78	34
"	B-Flujo Turbulento	31	16	7	9	7	5	5	19	5	0	0	0	45	13	5
"	C-Dilatación	1	1	0	3	2	1	0	0	0	1	10	3	5	1	1
"	D-Lavado	3	2	1	1	1	0	3	12	3	1	10	3	8	2	1
"	E-Llenado de Vacío	7	3	2	6	5	3	6	23	6	2	20	5	21	6	3
Totales		192	100		130	100		26	100		10	100		358	100	
<u>4 o más Lugeones</u>																
Grupo	A-Flujo Laminar	2	2	0	7	15	3	2	3	2	3	16	8	14	5	2
"	B-Flujo Turbulento	65	50	14	23	49	11	49	68	46	4	21	11	141	53	17
"	C-Dilatación	12	9	2	5	10	2	5	7	5	3	16	8	25	9	3
"	D-Lavado	35	27	8	6	13	3	8	11	7	6	31	16	55	21	7
"	E-Llenado de Vacío	15	12	3	6	13	3	8	11	7	3	16	8	32	12	4
Total		129	100		47	100		72	100		19	100		267	100	
Resumen Total		454		100	214		100	106		100	37		100	811		100

## PRESIONES DE PRUEBA, Método de Reporte

Las presiones de prueba usadas varían respecto a la profundidad y son tomadas aplicando las siguientes recomendaciones:

PRESION BAJA "a" (a la superficie) en p.s.i. = 0,4 x Profundidad en pies  
(Máxima = 50 p.s.i).

PRESION MEDIA "b" (a la superficie) en p.s.i. = 0,7 x Profundidad en pies  
(Máxima = 100 p.s.i).

PRESION ALTA "c" (a la superficie) en p.s.i = 1.0 x Profundidad en pies  
(Máxima = 150 p.s.i) (10k/cm<sup>2</sup>).

$$\frac{1 \text{ p.i.s}}{\text{pie}} = 0.25 \frac{\text{Kgr./cm}^2}{\text{mt}}$$

o sus equivalentes métricas.

La figura No. 2 es un ejemplo típico de un reporte en el sistema métrico; en él se muestran varios casos de varias profundidades de exploración ilustrando diferentes GRUPOS detectados, se muestran los valores Lugeon calculados y escogidos en cada caso. Dibujar los resultados en este caso específico no se necesita.

## OMISION DE LAS CORRECCIONES DE PRESION

No es costumbre de éste autor, para las presiones calculadas mediante la fórmula (1) hacer correcciones para cabezas pequeñas en el equipo de prueba o establecer la influencia del nivel freático. Lugeon (1933) y otros tradicionalmente han aplicado varias correcciones. Este autor, como Arhippainen (1970), han encontrado que para el flujo de canales de tamaño razonable, las pérdidas de cabeza, no necesitan ser corregidas con extrema precisión y en la mayoría de los casos, la posición del nivel freático puede ser presumido en los alrededores de la superficie.

Una serie de ensayos de presión de agua, ejecutados conforme se va perforando, con rangos bajos dan buenos resultados en fundaciones aun cuando el nivel freático esté en la superficie antes de comenzar el ensayo.

## CONCLUSIONES

La rutina de interpretación definida "Modificaciones" al método de Lugeon comprende:

- Probar una secuencia de cinco diferentes presiones, en aumento y descenso.
- Calcular los cinco valores por proporción directa e independiente.
- Revisar y comparar los valores para establecer la naturaleza y tipo de flujo durante el ensayo.
- Seleccionar adecuadamente un valor Lugeon para reportarlo como representativo del tipo de permeabilidad obtenido.

La información lograda de los ensayos decide cuándo y dónde se necesita inyectar pero no sirve para establecer los tipos de inyección específicos.

Los resultados obtenidos de aplicar esta metodología en 811 casos de diferentes sitios de presa implican definir un estado de flujo laminar cuando la permeabilidad es de 1, 2, o 3 Lugeones; cuando la permeabilidad excede el valor previsto se establece el flujo "turbulento". Adicionalmente, dentro del rango turbulento se establecen otras situaciones concretas.

Se presenta un apreciable número de casos de dilatación temporal de los espacios en la roca durante el ensayo, como consecuencia directa de las presiones de prueba o casos en que el mismo ensayo remueve los sólidos entre las discontinuidades.

## REFERENCIAS

1. Arhippainen, E. 1970. Some Notes on the Design of Grouted Curtains on the Basis of Water Pressure Tests. Intern. Congr. Large Dams, 10th Montreal II, 137-145
2. Guerra, J.R., Weyermann, W. & Mota, O.S. 1968. Le caractere de la percolation d'une roche d'après les observations prealables faites pour le projet de l'écran d'étancheite. Intern. Congr. Large Dams, 9th Istanbul. 1, 109-22.
3. Houlsby, A.C. 1969. Discussion on Rock Fracture Spacings, Openings and Porosities. JI. Soil Mech. Founds Div., Am. Soc. civ. Engrs. Paper 6324, SMI, 416-7.
4. ----- 1976. Foundation Grouting for Dams (Investigation, Design and Construction). Bulletin of the Australian National Committee on Large Dams (In press.)
5. Lancaster - Jones, P.F.F. 1975. The Interpretation of the Lugeon Water-Test. Q.JI. Engng. Geol. 8, 151-4.
6. Lugeon, M. 1933. Barrages et Geologie Dunod, Paris.
7. Sabarly, F. 1968. Les Injections et les drainages de foundations de barrages, Geotechnique, 18 229-49.
8. Snow, D.T. 1968. Rock fracture spacings, openings, and porosities. JI. Soil Mech. Founds Div., Am. Soc. civ. Engrs. Paper 5736, SMI 73-91
9. ----- 1969. Closure to discussion on Rock Fracture spacings, openings and porosities. JI. Soil Mech. Founds Div. Am. Soc. civ. Engrs. Paper 6525, SM3, 880-883.