

05.70.12

EN-15/32

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE ENERGIA

DETERMINACION DE FILTRACIONES Y PERMEABILIDAD
EN UN EMBALSE DE TIERRA
EMBALSE SUMAMPA - PROVINCIA DE CATAMARCA

Héctor R. Gómez - Gregorio B. Baró - Ricardo Gillen
Departamento de Radioisótopos - División Aplicaciones

Buenos Aires - Junio 1970

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE ENERGIA

DETERMINACION DE FILTRACIONES Y PERMEABILIDAD
EN UN EMBALSE DE TIERRA
EMBALSE SUMAMPA - PROVINCIA DE CATAMARCA

Héctor R. Gómez - Gregorio B. Baró - Ricardo Gillen
Departamento de Radioisótopos - División Aplicaciones

Buenos Aires - Junio 1970

CONTENIDO

<u>SECCION</u>		<u>PAG</u>
1.0.0	PLANTEO DEL PROBLEMA, PROPOSITOS Y POSIBILIDADES	1
2.0.0	SELECCION DEL TRAZADOR	3
2.1.0	COLORANTES	4
2.2.0	TRAZADORES QUIMICOS	4
2.3.0	TRAZADORES RADIACTIVOS	5
3.0.0	MEDICION DE LA VELOCIDAD DE LAS AGUAS DE FILTRACION Y DE LA PERMEABILIDAD DEL EMBALSE	6
3.1.0	BASES TEORICAS Y EXPERIMENTALES	6
3.2.0	INYECCION DEL TRAZADOR	8
3.3.0	DETECCION Y MEDICION DEL TRAZADOR	8
3.4.0	RESULTADOS	9

Nota: Ilustraciones y tablas al final del texto.

1.0.0 PLANTEO DEL PROBLEMA, PROPOSITOS Y POSIBILIDADES

El objetivo de esta experiencia es medir con trazadores radiactivos la velocidad de las aguas de filtración del embalse Sumampa, en operación, y en base a este valor determinar si la permeabilidad real del dique se ajusta a los valores previstos en el proyecto.

El dique o embalse de tierra Sumampa que cumple funciones de nivelación, irrigación y producción de energía eléctrica está ubicado en las inmediaciones del límite de las Provincias de Catamarca y Tucumán. Fig. 1.

Está construido sobre los acarreos aluvionales del río Sumampa y tiene en el centro de su perfil transversal, un núcleo central de materiales impermeables seleccionados en la zona; la permeabilidad se reduce gradualmente hacia los espaldones o taludes, debido al agregado de materiales de mayor granulometría -arena, grava, piedra suelta- con gran rozamiento interno y por lo tanto mayor estabilidad, en contraposición con los constituyentes del núcleo -arena, limos, arcilla- dotados de mayor cohesión y semipermeables o impermeables, pero con poco rozamiento interno y por consiguiente mayor inestabilidad. Fig. 2.

Los acarreos aluvionales sobre los que se fundó el embalse, están compuestos por tres capas de permeabilidad comprendida entre 10^{-4} cm/seg. y 10^{-1} cm/seg. (3l m/año y 3l Km/año), en orden descendente y fueron impermeabilizados por inyección, desde la superficie, de una mezcla ternaria de cemento, bentonita y limos calcáreos. No considerándose satisfactoria esta operación se reinyectaron productos químicos -silicatos y aluminatos- para lograr una mayor estanquedad.

En un medio heterogéneo y aún anisótropo, en el que la circulación del agua -con régimen laminar- se realiza por los intersticios y poros de los estratos coherentes o por las fisuras, acanaladuras y vías preferenciales de escurrimiento de rocas, gravas o discontinuidades de la cementación, es preciso conocer la permeabilidad, en toda la extensión considerada de los estratos atravesados, en las condiciones reales de operación del embalse.

La permeabilidad de un medio poroso, con régimen laminar, puede ser evaluada o calculada en base a:

- a) Fórmulas empíricas que vinculan la permeabilidad con la porosidad, diámetro, porcentaje de partículas, viscosidad del fluido, etc. (Fórmulas de D'Allen Hazen, Zunker, etc.).

- b) Experiencias de laboratorio con permeámetros de carga constante o variable.
- c) Experiencias de campo o ensayos de bombeo que permiten calcular la permeabilidad en función del caudal extraído, sección de la perforación y abatimiento o caída de alturas piezométricas producidas durante el bombeo y medidas en perforaciones testigos que están ubicadas en torno a la perforación central.
- d) Trazadores: radiactivos, colorantes, fluorescentes, químicos, etc. mediante los cuales se determina la velocidad de los filetes líquidos marcados. La ubicación del punto de inyección del trazador y el o los pozos de observación y control del paso del mismo están ubicados sobre la dirección principal de escurrimiento.
- e) Otros métodos inaplicables en este caso.

La permeabilidad de un embalse de tierra, medida o calculada por dos técnicas o métodos distintos suele diferir considerablemente y aún esta diferencia puede alcanzar uno o dos órdenes de magnitud cuando, como ocurre en nuestro caso, el medio por donde escurren las aguas es una sucesión de estratificaciones, naturales y artificiales, de distinta compactación, naturaleza, granulometría, porosidad, etc. Surge precisamente de la heterogeneidad, anisotropía y extensión del medio la complejidad del problema y la necesidad de adoptar una técnica o un método que aporte un resultado confiable. (1).

Las fórmulas empíricas a) determinadas en base al análisis granulométrico y ensayos de compactación y las experiencias de laboratorio b) sólo son aplicables en acuíferos o napas homogéneas. Cuando se trata de sucesiones de estratos o mantos es preciso analizar un gran número de muestras, labor que, en las distintas etapas de la construcción de un embalse, normalmente se realiza. Sin embargo el medio permeable, al entrar en operación el embalse y, antes aún, suele ser alterado sustancialmente por asentamientos, socavaciones, grietas producidas por el drenaje de las aguas de filtración o como ocurrió en el Embalse Sumampa, por la inyección, desde la superficie, de agentes impermeabilizantes. (1).

Surgen dudas además respecto a la representatividad de las probetas analizadas y la validez de la información obtenida depende del cuidado y esmero que se ejerza en el muestreo de los fragmentos o probetas.

Los conocidos métodos y técnicas usadas en la determinación de la permeabilidad mediante el bombeo, desde la superficie, de caudales constantes o variables (métodos de equilibrio y no-equilibrio)(3) (6) resultan aptos y por ello son frecuentemente empleados para determinar la permeabilidad de acuíferos libres e indefinidos

(3) cuando es fácil determinar la superficie de abatimiento, más, cuando razones morfológicas imponen condiciones de contorno (como muy probablemente ocurriría en el embalse Sumampa) sólo es posible hallar la permeabilidad aplicando el método de las imágenes, introducido por Kelvin, o bien abordando el problema de resolver la ecuación de Laplace por analogías eléctricas de membrana elástica. En el embalse Sumampa, construyendo el pozo principal en el centro del coronamiento nos encontraríamos con una pantalla positiva en el espaldón de aguas arriba y dos pantallas negativas laterales. Estas circunstancias pueden hacer no aconsejable la aplicación de estos métodos en virtud, entre otras cosas, de las complejas condiciones de contorno. (4).

Una variante que consiste en inyectar en la perforación, desde la superficie, un volumen conocido de agua y medir el tiempo de evacuación del mismo, es en cambio practicable y se utiliza con frecuencia en obras de ingeniería como la que mencionamos aquí. "Este ensayo de campo es especialmente apropiado para suelos muy permeables, pero estos son pocos coherentes y se derrumban fácilmente al levantar la tubería de entibación, rellenando el agujero". (1).

Respecto a esta medición o estas técnicas de medición en el campo, existen además objeciones, cuando se trata de hallar la permeabilidad de estratificaciones de variable porosidad y compactación.

Resta, por último, considerar los trazadores que permitan hallar la permeabilidad en base a la medición de la velocidad o tiempo de tránsito entre dos puntos o secciones del acuífero o napa. Conocida la velocidad se halla la permeabilidad en base a la ley de Darcy. En este caso estas técnicas son particularmente aptas y confiables pues permiten determinar la velocidad promedio en una amplia zona del medio poroso considerado sin alterar dicho medio ni las condiciones reales de operación del embalse.

2.0.0 SELECCION DEL TRAZADOR

El trazador a seleccionar para esta experiencia ha de cumplir las siguientes condiciones:

- Ser detectable y medible aún en muy bajas concentraciones en virtud de la gran dilución previsible.

- No ser retenido en los estratos subterráneos por mecanismos de absorción física, química, intercambio iónico o precipitación. (2). Las arcillas, limos y los coloides electronegativos son, por lo general, los más severos agentes de retención.

- Ser estable en el medio que debe actuar.
- Baja toxicidad.
- Otras consideraciones respecto a costos, disponibilidad, etc.

En virtud de haberse realizado sin éxito una experiencia previa a la aquí descrita, usando uranina, conviene hacer una breve mención de las propiedades -con miras a comparar su comportamiento- de los distintos trazadores utilizados en hidrología; estas propiedades comparativas son expuestas en las tablas I, II y III.

2.1.0 COLORANTES

Los más conocidos son la Uranina, la Rhodamina B, la Fluoresceína y las Sulforodamina B y G. (5).

Salvo la mencionada en primer lugar, es decir, la Uranina, los restantes no son aconsejables ya que son fijadas fácilmente en los estratos con "porosidad de intersticios" y sobre todos aquellos que contienen altos porcentajes de arcilla (illita, montmorillonita, kaolinita, etc.).

En el ensayo realizado con antelación se usó Uranina; a pesar de no haberse detectado su presencia aguas abajo del lugar de inyección, la elección fue, dentro de las posibilidades que ofrecen los colorantes, acertada.

Por otra parte, la solubilidad en agua de la Uranina es más elevada que la de los otros colorantes y la concentración mínima medible del mismo orden (10^{-11}), al igual que el costo.

La degradación y la emisión de radiación de fluorescencia de longitud de onda cercana a la de algunas sales presentes frecuentemente en las aguas superficiales son los inconvenientes más notorios que se suelen formular a la uranina. Tabla I.

2.2.0 TRAZADORES QUIMICOS

Los más conocidos y utilizados en hidrología son los cloruros: Ca Cl_2 ; Li Cl ; NH_4Cl ; Na Cl ; en virtud de su alta solubilidad en agua y, principalmente, debido a que el ión Cl^- no es prácticamente absorbido, fijado o intercambiado con los terrenos.

La sensibilidad de detección y medición, apelando a los métodos clásicos es reducida, circunstancia que se agrava cuando las aguas tienen altos contenidos de sales en disolución.

El bicromato de sodio ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{Na}$, $2\text{H}_2\text{O}$) que puede ser detectado en concentraciones más bajas e "in situ", por colorimetría, es más usado preferentemente en aguas superficiales. La cantidad de trazador químico que debe inyectarse en el acuífero hace desaconsejable el uso de estos trazadores cuando la dilución es grande o cuando en la composición litológica de los estratos hay arcillas y limos. Tabla II.

2.3.0 TRAZADORES RADIATIVOS

La Hidrología cuenta con nuevos trazadores cuyas posibilidades de utilización superan, en algunos aspectos, las ofrecidas por los antes mencionados. Son los trazadores radiactivos artificiales o naturales. Tabla III.

En virtud de la amplia bibliografía disponible sobre criterios de selección y comportamiento de los trazadores radiactivos en aguas subterráneas (5) (6) (7) (8) (9) (11) (13) (14) (15) (17) (19) no nos extenderemos en el tema. Sólo agregaremos que los cationes deben ser excluidos ya que, la mayoría, son fijados por los componentes del subsuelo por mecanismos de absorción físico-químico, intercambio iónico o precipitación coloidal. Quedan pues en la selección los aniones (^{131}I , ^{82}Br , etc), el tritio (^3H) natural o artificial y los radioisótopos que, si bien generalmente son cationes pueden ser convertidos a formas aniónicas o no iónicas, mediante su incorporación en moléculas complejas o moléculas orgánicas no polares (^{60}Co , ^{51}Cr , ^{65}Zn , etc.)

Hemos seleccionado el ^{131}I como INa en base a las siguientes consideraciones:

- Su comportamiento en aguas subterráneas es aceptable, habiendo comprobado que puede percolar a través de columnas de compuestos arcillosos-húmicos sin retención apreciable. No escapa a nuestra consideración que las condiciones reales suelen ser mucho más severas que las que, en laboratorio, podíamos simular. El tritio (^3H) es, sin duda, el mejor trazador para estos casos por ser el único capaz de reflejar fielmente el movimiento del agua sin retención alguna, más, dificultades de detección y medición nos obligaron a deshecharlo, al menos en primera instancia.

- Por ser un emisor de radiación gamma es fácilmente detectable "in situ" y por muestreo, en las inmediaciones del embalse, con instrumental portable y transistorizado.

- El período de semidesintegración (8,05 días) es compatible con la duración que preveíamos, duraría la experiencia. En base a las fórmulas empíricas mencionadas en 1.0.0. y al gradiente hidráulico estimamos una velocidad media (Ley de Darcy) que, conocida la distancia inyección-medición (o extracción de muestras) nos permitió estimar que ese lapso estaba comprendido entre 2 y 40 días. Los gráficos y curvas de la fig. 3 permiten estimar o por lo menos tener una idea del orden de magnitud de la permeabilidad.

- Existe permanente disponibilidad de este radioisótopo en la CNEA.

3.0.0 MEDICION DE LA VELOCIDAD DE LAS AGUAS DE FILTRACION Y DE LA PERMEABILIDAD DEL EMBALSE

3.1.0 BASES TEORICAS Y EXPERIMENTALES

La permeabilidad unidireccional de un medio permeable con regimen laminar, queda definida por la ley de Darcy:

$$v_e = \frac{q}{S m_e} = \frac{K}{m_e} \frac{dh}{dl} = K_l \frac{dh}{dl} \quad (1)$$

$$K = \frac{C d^2 \gamma}{\mu} \approx K \frac{\gamma}{\mu} \quad (2)$$

Como generalmente los acuíferos son anisótropos la ecuación (1) descompuesta en sus magnitudes vectoriales sobre un sistema cartesiano queda dada por:

$$v_x = \frac{K_x}{m_e} \frac{\partial h}{\partial x} ; \quad v_y = \frac{K_y}{m_e} \frac{\partial h}{\partial y} ; \quad v_z = \frac{K_z}{m_e} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (3)$$

v_e (m/seg) : velocidad media efectiva;

q (m³/seg) : caudal;

S (m²) : sección total por donde fluye el agua

m_e : porosidad efectiva aproximadamente igual a la porosidad del medio en este caso $m_e \approx m$;

- K, K_x, K_y, K_z (m/s) : Permeabilidad unidireccional y permeabilidad en las direcciones x, y, z ;
- dh/dl : gradiente hidráulico;
- v_x, v_y, v_z (m/seg) : velocidad efectiva en las direcciones x, y, z .

Si bien la mayoría de los acuíferos presentan ligeras anisotropías ($K_x \neq K_y \neq K_z$) nos limitaremos por razones prácticas, a la medición de la permeabilidad unidireccional ya que el número de perforaciones (o piezómetros) disponibles en el embalse Sumampa y la distribución planimétrica de las mismas no permite otra alternativa. Sin embargo, estas perforaciones están distribuidas aproximadamente a lo largo de la línea que, pasando por el centro del embalse, está situada sobre el área de mayor gradiente hidráulico, lo que permite medir la velocidad del trazador (y por consiguiente la permeabilidad) en la dirección que, juzgamos, más importante.

Es aquí necesario hacer algunas consideraciones respecto a la denominada velocidad efectiva v_e y la velocidad que realmente se mide con trazadores.

El método consiste en inyectar el trazador en un punto del acuífero y medir aguas abajo la concentración del mismo en función del tiempo. Esta curva que aproximadamente se asemeja a una curva de Pearson, permite definir una velocidad máxima ($v_{m\acute{a}x}$) y una velocidad que aquí denominamos "real" (v_t).

$$v_{m\acute{a}x} = \frac{d}{t_{m\acute{i}n}} \quad (4) \quad ; \quad v_t = \frac{d}{t_b} \quad (5)$$

- $v_{m\acute{a}x}$ (m/día) : velocidad máxima;
- v_t (m/día) : velocidad "real" en el terreno;
- d (m) : distancia, medida en línea recta, entre el punto de inyección y el punto de medición o extracción de muestras.
- $t_{m\acute{i}n}$ (días) : tiempo transcurrido entre la inyección del trazador y la aparición del mismo en el lugar de observación.
- t_b (días) : tiempo transcurrido entre la inyección del trazador y el instante que pasó el 50 % del mismo por el lugar de observación (baricentro de la curva "real"); $c = f(t)$.

De acuerdo a la mayoría de los autores (6) (10) la velocidad efectiva dada por la ley de Darcy y la velocidad v_t son prácticamente iguales.

$$v_t \approx v_e$$

El campo de aplicación de las fórmulas de permeabilidad expuestas está limitado al régimen laminar puesto que, (para aguas subterráneas) el número de Reynolds queda definido por:

$$R = \frac{v_t d}{\nu} = v_t d \cdot \frac{\rho}{\mu}$$

R : número de Reynolds;

v_t (cm/seg) : velocidad del flujo;

d (cm) : diámetro medio de las partículas;

ν (cm²/seg) : viscosidad cinemática del agua (20°C);

μ (g/cm seg) : viscosidad dinámica del agua;

ρ (g/cm³) : densidad.

En estas condiciones se puede establecer que:

$R < 1$ condiciones de flujo francamente laminar

$R > 1000$ condiciones de flujo francamente turbulentas

$1 < R < 10$ límite superior de validez (4)

$1 < R < 700$ límite superior de validez (3).

3.2.0 INYECCION DEL TRAZADOR

En cada una de las seis perforaciones del espaldón o talud de aguas arriba del embalse se inyectaron 123 mc de ¹³¹I bajo la forma de INa. La actividad total utilizada el día 27/9/1969 (13 horas) fue de 740 mc y los piezómetros por donde se vertió el trazador están indicados en la Fig. 2 bajo la denominación: F 17; F 14; F 11; F 9 bis; F 8 y F 6 bis.

El fraccionamiento, dilución y agregado de portador se realizó en las inmediaciones de las perforaciones. Con el objeto de decontaminar la superficie interior de las cañerías y favorecer la salida del ¹³¹I a través de los filtros se agregó, desde la superficie, abundante cantidad de agua.

3.3.0 DETECCION Y MEDICION DEL TRAZADOR *

Para detectar y medir la concentración del trazador, aguas abajo del embalse, se extrajeron muestras periódicas de agua de las perforaciones de la 4° (F 1, F 2) y 5° (F 3, F 4) línea piezométrica y de un pozo a cielo abierto de las inmediaciones (Fig. 2)

Para obtener valores acumulativos y aumentar la eficiencia de medición se colocó en cada perforación una columna de malla perforada con 50 gramos de resina de intercambio iónico (Fig. 4) de marca y características físico-químicas similares a la utilizada en otros trabajos de hidrología que realizó la CNEA (20).

El excelente comportamiento de esta resina y la elevada eficiencia de fijación del ^{131}I en la misma quedó probada en aquellas y esta experiencia.

Las muestras de agua y las columnas de resina fueron medidas periódicamente en las inmediaciones del embalse con un monitor portátil (Detector cristal INa (Tl); 1" x 1"). Las actividades registradas están representadas en las curvas de la Fig. 5 a partir de las cuales se calcularon los valores expuestos en la Tabla IV.

3.4.0 RESULTADOS

La permeabilidad del embalse se determinó de acuerdo a lo expuesto en 3.1.0 y a los valores de la tabla IV. La velocidad efectiva v_e esta dada por el cociente entre la distancia recorrida por el trazador y el tiempo de tránsito del mismo entre la 1ª y la 4ª línea piezométrica es decir, el lapso que media entre la inyección y el pasaje por el lugar de medición del 50% del trazador (baricentro de la curva respectiva, Fig. 5).

El gradiente hidráulico utilizado corresponde al promedio del indicado en las cotas de la Fig. 2

$$K_1 = \frac{v_e}{dh/dl} \quad ; \quad K = \frac{v_e \ m_e}{dh/dl}$$

$$K_1 = \frac{102/11}{501,60-489,60/102} \quad \frac{m/día}{m/m} = 75 \text{ m/día} ; \quad K_1 = 9 \cdot 10^{-2} \text{ cm/seg}$$

$$K = 9 \cdot 10^{-3} \text{ cm/seg; para } m_e = 10\%$$

$$K = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ cm/seg; para } m_e = 20\%$$

$$K = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ cm/seg; para } m_e = 30\%$$

Las curvas antes mencionadas permiten además estimar la permeabilidad del subalveo, aguas abajo del embalse. El pasaje de las "olas radiactivas" entre la 4ª y 5ª línea piezométrica es del orden de 1,5 días (distancia entre baricentros).

$$K_1 \simeq \frac{67/1,5}{(489,60-487,17)/67} \frac{\text{m/día}}{\text{m/m}} \simeq 1250 \text{ m/día} ; K_1 = 1,5 \text{ cm/seg.}$$

$$K \simeq 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ cm/seg; para } m_e = 10\%$$

$$K \simeq 3 \cdot 10^{-1} \text{ cm/seg; para } m_e = 20\%$$

$$K \simeq 4,5 \cdot 10^{-1} \text{ cm/seg; para } m_e = 30\%$$

En aguas subterráneas el límite superior de validez de las expresiones anteriores esta comprendido entre $1 < R < 10$ para unos autores, mientras que para otros este límite se eleva a $1 < R < 700$ (3) (4). En nuestro caso el número de Reynolds R es siempre inferior a esos valores:

$$R = \frac{v_t d}{\nu}$$

$$R = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-2}}{10^{-2}} \frac{\text{cm}^2/\text{seg}}{\text{cm}^2/\text{seg}} ; \quad \text{Embalse: } R = 10^{-2}$$

$$R = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-1}}{10^{-2}} \frac{\text{cm}^2/\text{seg}}{\text{cm}^2/\text{seg}} ; \quad \text{Subalveo: } R = 1$$

Entre los resultados expuestos no hemos incluido la determinación de los caudales de filtración ya que, interpretamos, ellos deben ser calculados en base a futuras experiencias que ya han sido programadas. Las mismas estarán orientadas, además, a determinar posibles vías preferenciales de escape de las aguas de filtración.

* La actividad de las muestras de agua y de las columnas con resinas de intercambio iónico fue medida periódicamente en las inmediaciones del embalse por personal técnico de la Dirección Provincial del Agua de la Pcia. de Catamarca bajo la supervisión del Ing. Ruben Michaud. Las muestras fueron además reanalizadas con instrumental de mayor eficiencia en los laboratorios de la CNEA.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Gómez Navarro J.L., Aracil J.J., Saltos de agua y presas de embalse - Tomo II - Madrid, (1964).
- 2.- Molinari, J., Annales des Mines, 13,38, (octubre 1969).
- 3.- Manual de Aguas Subterráneas - Universidad Central de Venezuela - Tomo II.
- 4.- Benítez, A., Captación de aguas subterráneas, Editorial Dosset S.A. Madrid (1963).
- 5.- Molinari, J., Les traceurs solins et fluorescents en Hidrologie DR/SAR -G/ 69-15/JM/MCT.
- 6.- Schoeller, H., Les eaux Souterraines, Masson y Cía (Madrid, 1962).
- 7.- Trelles, R.O., Geoquímica de las aguas subterráneas, Curso de Aguas Subterráneas.
- 8.- Guidi book on Nuclear Techniques in Hidrology, Technical Reports Series No. 91 (1968).
- 9.- Isotopes in Hidrology, Comptes rendus du Symposium de Vienne, (Nov. 1968).
- 10.- Radioisotopes in Hidrology, Proc. of a Symposium, Tokyo, (5-9 march 1963), IAEA.
- 11.- Isotopes and Radiation technologie, USAEC. Vol.2 (1964-1965).
- 12.- Knutsson, G., Field and Lab. test rad. in Hydrology. Proceeding of Symp. Tokyo, (5-9 march, 1963).
- 13.- Degot, B., Leveque,P.Ch., et all, Dux utilization du Br-81 en Hydrodynamique souterraine. Proceeding of Symp. Tokyo, (5-9 march 1963).
- 14.- Bourdon T.J., et all, The use of tritium in tracing karst ground in Grece. Proc. of Symp. Tokyo, (5-9 march 1963).
- 15.- Gailledreau, R., Note sur l'utilisation des complexes des nitronitrosylruthénium comme traceurs en Hidrologie. Proc. of Symp. Tokyo (5-9 march 1963).

- 16.- Sternan, et all., Rad. tracers in large scale recharge studies of ground-water flow. Proc. of Symp. Viena (14-18 noviembre, 1966).
- 17.- Knuttsson, G., Lab. evaluation of Cr-51 EDTA as a tracers for ground-water flow. Proc. of Symp. Viena (14-18 noviembre, 1966).
- 18.- Molinari, J., Guizerix, J., Aplicacion de la Methode d'integration. Proc. of Symp. Viena (14-18 noviembre, 1966).
- 19.- Application of isot. technique in Hydrology. Tech. reports No. 11 , IAEA, (1962).
- 20.- Gómez Ruiz, H.R., Eroles, M., 'Localización de pérdidas en un desagüe antiácido subterráneo mediante trazadores radiactivos ', publicación interna EN-3/8, CNEA, Buenos Aires, (1968).

TABLA I
TRAZADORES FLUORESCENTES USADOS EN HIDROLOGIA (5)

TRAZADOR PROPIEDADES	URANINA	RHODAMINA B	SULFOHODAMINA B* y G**
Sensibilidad de detección (Valores relativos; A. "In situ")	Elevada 1	Elevada 1	Buena 0,5
Ruido de fondo en la detección	Elevado (En aguas cargadas)	Reducido	Reducido
Degradación a la luz	Muy elevada	Elevada	Nula
Influencia de la temperatura sobre la medición (Variación por °C)	Reducida - 0,36%	Elevada -2,7%	Elevada* ; Nula** -2,9%* 0%**
Retención en suelos	Muy baja	Muy elevada	Reducida
Solubilidad	Alta 300 g/l	Reducida ~ 10 g/l Se puede mejorar con	Reducida ~ 10 g/l solventes orgánicos

TABLA II
TRAZADORES CONVENCIONALES USADOS EN HIDROLOGIA (5)

TRAZADOR PROPIEDADES	Cr ₂ O ₇	1 Na	Cl Na	SO ₄ Mg	NO ₃ Na	Cl H
Solubilidad (g/l)	600	> 1.500	300 a 400	500	75	600
Concentración mínima medible (por muestreo)	0,2 a 2.10 ⁻⁶ Sin recon- centración 0,2 a 2.10 ⁻⁷ Con recon- centración	10 ⁻⁹ A. por Activ. A. Cata- lítico	10 ⁻⁵ Colori- metría 10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁶ A "in situ"	1 a 2.10 ⁻⁶	0,5.10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
Comportamiento en aguas subterráneas	Medioere	Aceptable en aguas con muy reducido tenor de I	Medioere	Medioere	Medioere	Aceptable

TABLA III
RADIOISOTOPOS EMPLEADOS EN AGUAS SUBTERRANEAS

a RADIOISOTOPO	b PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION			c TIPO DE RADIACION			d ALGUNAS REFERENCIAS RESPECTO A SU COMPORTAMIENTO	e REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS (VER BIBLIOGRAFIA)	REFERENCIAS COLUMNA d:
	HORAS	DIAS	AÑOS	BETA MeV	GAMMA MeV				
³ H o T			12.46	0.018	No		I, II	(11) (6) (3) (9)	REFERENCIAS COLUMNA d: I Excelente II Existen trabajos confirmando se buen comportamiento III Si las aguas superficiales estan saturadas de este elemento puede tener aceptable resultado IV Como cohanes generalmete son malos trazadores en aguas subterraneas, en algunas estratos pueden ser aceptables (calcareas, arenas, etc) V Empleado generalmente en forma de complejos
¹⁴ C			5 568	0.155	No		II	(11) (6)	
²⁴ Na	15.6			1.39	1.37 - 2.75		III, IV	(11) (6) (19)	
³² P		14.3		1.70	No		IV	(11) (6)	
³⁵ S		87.1		0.167	No		II	(6)	
³⁶ Cl			3.10 ³	0.76	No		II	(6)	
⁴² Ca	164			0.16	No		III, IV	(11)	
⁴⁶ Sc		85		0.36	0.89 - 1.12		IV, V	(11)	
⁵¹ Cr		27.9		No	0.32		II, IV, V	(11) (12) (17) (18) (19)(9)	
⁵⁹ Fe		45.1		0.46 - 1.56	1.28		IV	(6)	
⁶⁰ Co			5.27	0.31	1.17 - 1.33		II, IV, V	(11) (6) (16)	
⁶⁵ Zn		250		+ 0.33	- 1.11		IV	(11)	
⁸² Br	35.9			0.44	0.55 - 0.78		I	(11) (6) (13) (19)(8)(9)	
⁸⁶ Rb		18.6		0.72 - 1.27	1.08		IV	(11) (6)	
⁸⁹ Sr		51		1.46	No		IV	(11) (6)	
⁹⁰ Sr, ⁹⁰ Y			28	0.54 - 2.27			IV	(11) (6)	
¹⁰⁶ Ru, ¹⁰⁶ Rh				2 - 2.35	0.51 - 2.66		II, IV, V	(15) (19)	
^{114m} In		50			0.50		II, IV, V	(11)	
¹²⁴ Sb		60		2.3	0.70		IV, V	(11)	
¹³¹ I		8		0.61 - 0.81	0.36		II	(8) (9) (10)	
¹⁴⁰ Ba, ¹⁴⁰ La		12		0.34 - 0.61	0.36 - 0.64		IV	(6)	
¹⁴³ Pr		14		0.93			IV		
¹⁴⁷ Pm			26	0.76			IV		
¹⁵² Ir		74					IV	(11)	
¹⁷⁰ Tm		129		0.97	0.084		IV	(6)	

TABLA IV
TIEMPOS DE TRANSITO Y VELOCIDAD DE FILTRACION DE LAS AGUAS
SUBTERRANEAS DEL DIQUE SUMAMPA

Lugar de inyección y medición	Distancia* m	Tiempo* mínimo $t_{mín}$ días	Velocidad* máxima $v_{máx}$ m/días	Tiempo** medio t_{med} días	Velocidad** efectiva v_{ef} m/días
1° a 4° línea piezométrica	102	8	13	11	9
1° a 5° línea piezométrica	169	9	18	12	14
1° línea piezométrica a p.cielo abierto	128	9	14	12	11

Denominamos aquí: *Tiempo mínimo al lapso transcurrido entre el instante de la inyección y la aparición del trazador en la respectiva perforación. En base a este tiempo mínimo se ha deducido la velocidad máxima de filtración. ** El tiempo medio es, en este caso, el lapso transcurrido entre la inyección y el instante en que ha pasado el 50% de trazador por la perforación respectiva.

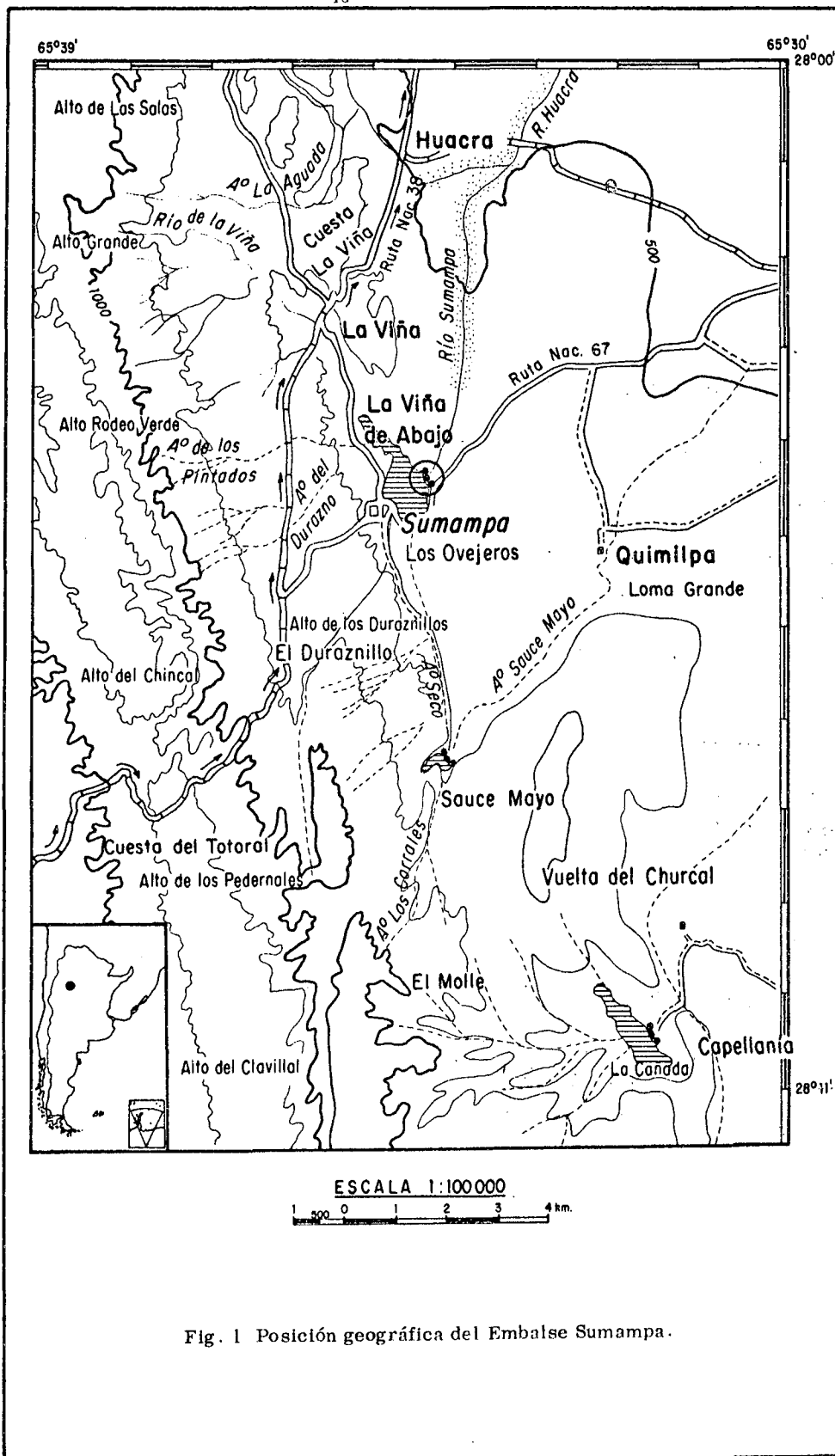
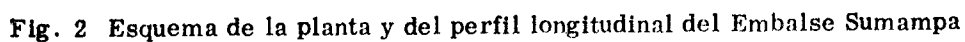
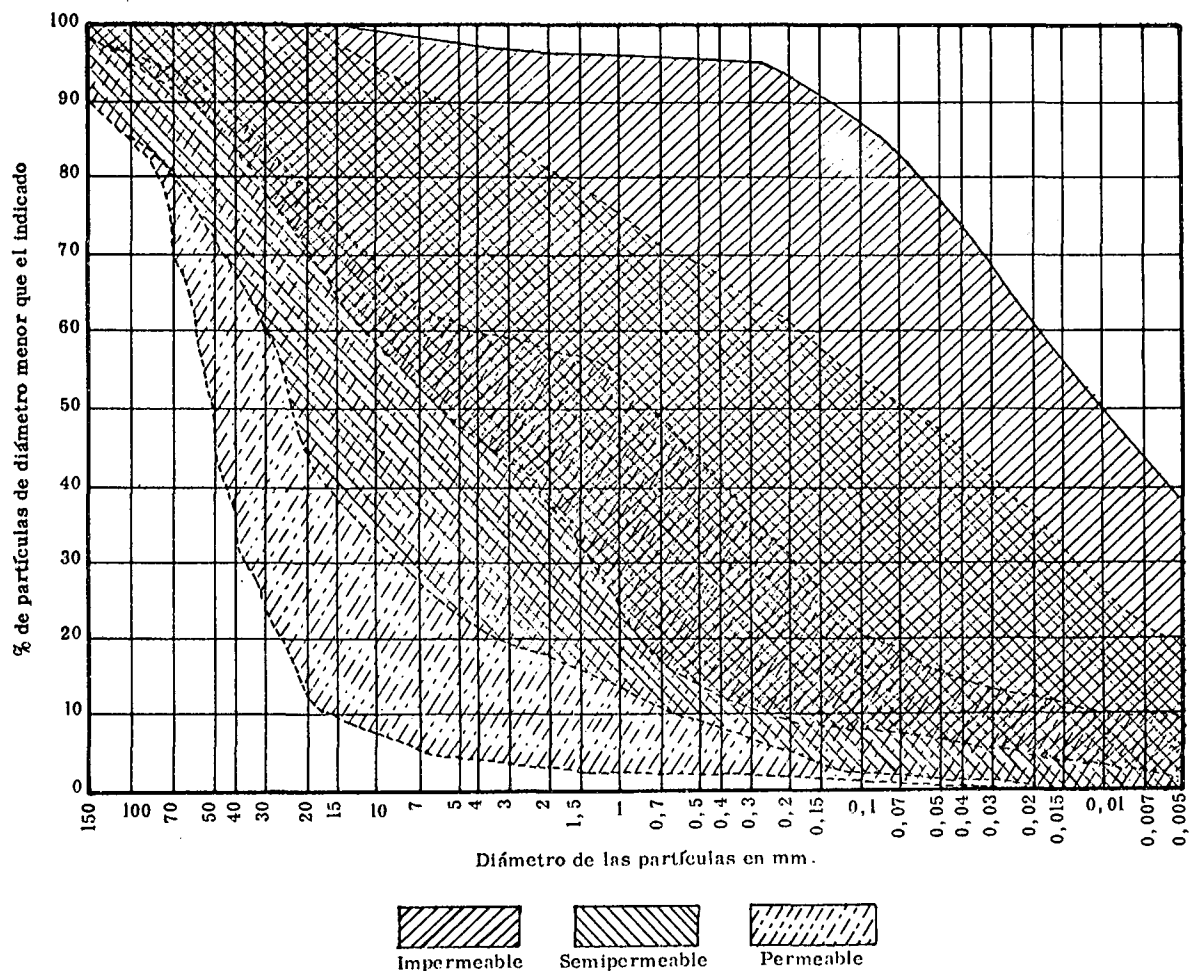


Fig. 1 Posición geográfica del Embalse Sumampa.





Permeabilidad m/día	10 ⁴	10 ³	10 ²	10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
Permeabilidad cm/seg	10 ²	10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia mezcla Grava arena			Arena fina, arena arcillosa mezcla arena, limo y arcilla, arcilla estratiforme				Arcillas no meteorizadas	
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres				Impermeables	
Capacidad de drenaje	Drenan bien						Drenan mal			No drenan	
Uso en Presas	Partes permeables de la presa						Uso en pantallas impermeables				

Fig. 3 Curvas y gráficos auxiliares utilizados para realizar estimaciones aproximadas de la permeabilidad del embalse.

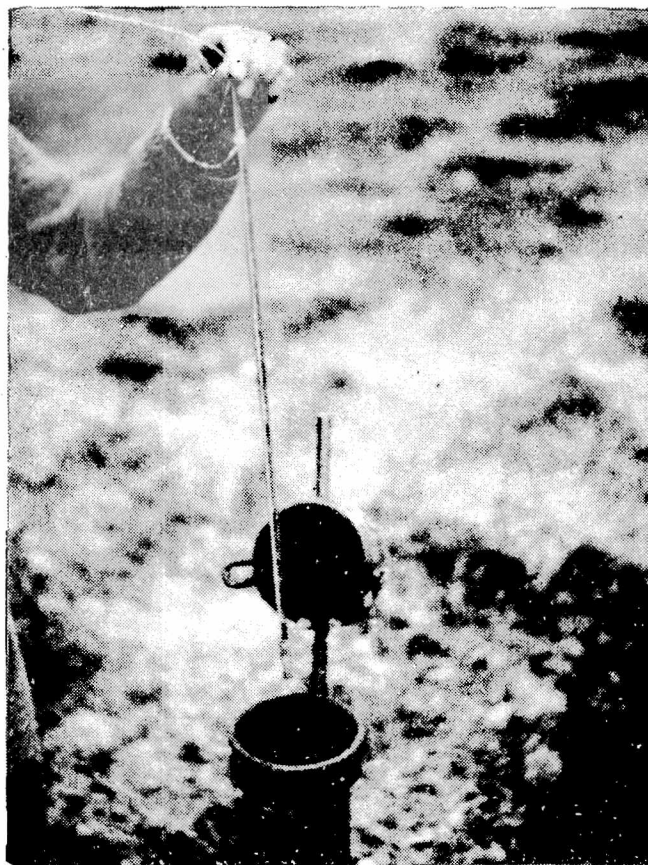


Fig. 4 Introducción en un piezómetro de una columna de malla perforada que contiene la resina de intercambio iónico.

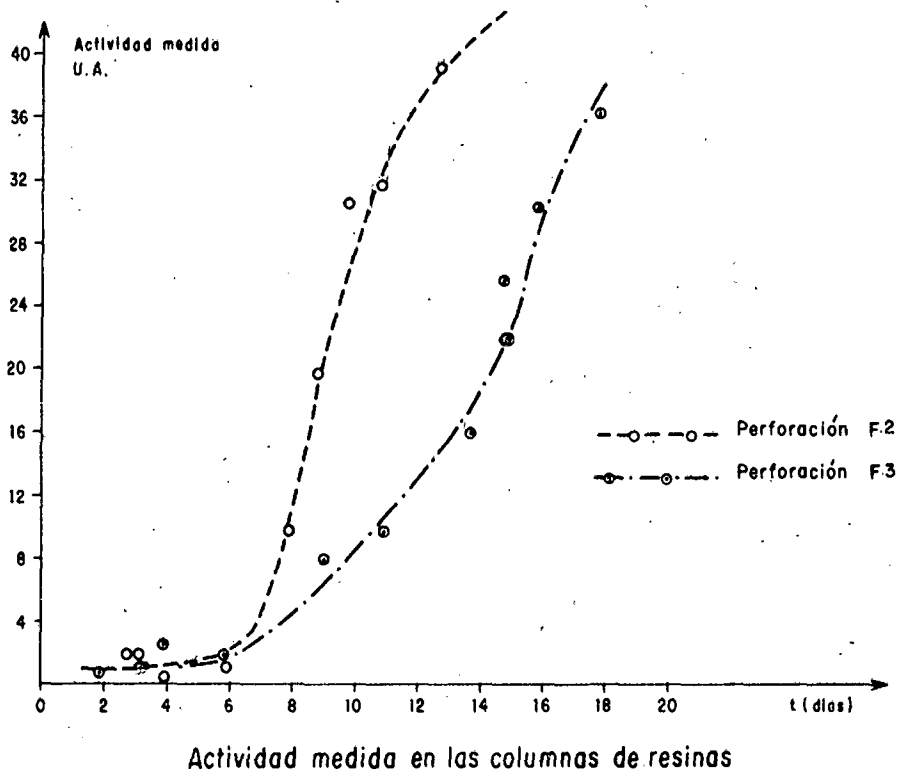
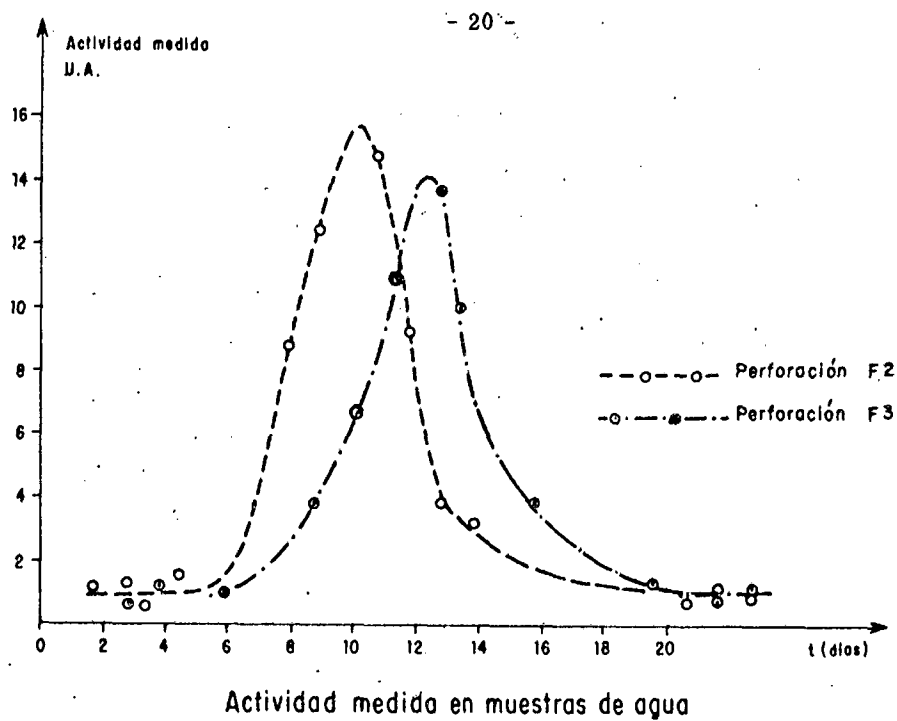


Fig. 5 Curvas $A = f(t)$ medidas en las muestras de agua y en las resinas de intercambio iónico.