

05.68.01

C.N.E.A. Biblioteca

ARCHIVO PUBLICACIONES

NO

1

AÑO

1968

III CONGRESO
NACIONAL
DEL
AGUA

SEPARATAS

PROVINCIA DE SAN JUAN

REPUBLICA ARGENTINA

1968

TRAZADORES RADIATIVOS EN HIDROLOGIA

Dr. BARO, GREGORIO E.

Lic. GARCIA AGUDO, EDMUNDO

Ing. GOMEZ, HECTOR RODOLFO

1.0 INTRODUCCION

El notable incremento apreciado en el uso de trazadores radiactivos en hidrología -fácil de apreciar en los últimos años- es debido a la posibilidad que ofrecen los radionúclidos de resolver eficaz y racionalmente numerosos problemas de aguas superficiales y subterráneas.

Los reactores nucleares destinados a la producción de radioisótopos, instalados ya en diversos países, han contribuido a aumentar el número y la actividad específica de los nucleidos disponibles, disminuyendo también sus costos. El aporte de los mismos ha permitido a las técnicas radiactivas competir con ventajas y reemplazar, en muchos casos, a las convencionales.

No está al margen de este proceso nuestro país. La incorporación de un nuevo reactor nuclear durante el corriente año - R.A.3; Centro Atómico Ezeiza- aumentará la disponibilidad y variedad de radioisótopos de corto y mediano período de semidesintegración.

La magnitud y trascendencia de algunos de los trabajos realizados ya con trazadores radiactivos permite además prever que con los esfuerzos conjugados de la Comisión Nacional de Energía Atómica y los especialistas en aguas se podrán encarar nuevas técnicas para incorporarlas a la investigación y resolución de problemas vinculados con el mejor aprovechamiento de nuestros recursos hídricos.

TABLA I

RADIOISOTOPO	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION	RADIACION		Conc. max. adm. en agua $\mu\text{C}/\text{cm}^3$
		Beta max. MeV	Gamma (1) MeV	
^3H	12,46 años	0,018		3×10^{-3}
^{14}C	55,68 años	0,155		8×10^{-4}
^{32}P	14,3 días	1,701		2×10^{-5}
^{35}S	87,1 días	0,167		6×10^{-5}
^{90}Sr	19,9 años	0,61		1×10^{-7}
^{143}Pr	13,95 días	0,932		5×10^{-5}
^{147}Pm	2,6 años	0,765		2×10^{-4}
^{24}Na	15,6 horas		2,75	2×10^{-4}
^{72}Ga	14,3 horas		2,51	4×10^{-5}
^{140}La	40 horas		2,5	2×10^{-4}
^{194}Ir	19 horas		2,1	3×10^{-5}
^{76}As	26,8 horas		1,2	2×10^{-5}
^{142}Pr	19,2 horas		1,59	3×10^{-5}
^{110}Ag	270 días		1,51	3×10^{-5}
^{60}Co	5,27 años		1,33	5×10^{-5}
^{82}Br	35,87 horas		1,31	3×10^{-4}
^{59}Fe	45,1 días		1,28	6×10^{-5}
^{46}Sc	85 días		1,12	4×10^{-5}
^{65}Zn	250 días		1,12	1×10^{-4}
^{198}Au	64,8 horas		0,68	5×10^{-5}
^{131}I	8 días		0,8	2×10^{-6}
^{51}Cr	27,8 días		0,32	2×10^{-3}

///

concentración máxima permisible. (Tabla I).

Los límites de sensibilidad de los detectores e instrumental asociado disponible en la C. N. E. A. , están generalmente por debajo de los valores de concentración máxima permisible que rigen para los distintos radioisótopos.

En la selección se tendrán en cuenta además aquellas características del trazador que están vinculadas al medio donde se realizará la experiencia:

- Solubilidad del trazador en el agua marcada.
- Estabilidad del trazador en el agua marcada.
- Retención del trazador por los terrenos o formaciones geológicas en contacto con el agua marcada.

Sólo pueden reflejar fielmente el movimiento del agua los trazadores con amplio rango de solubilidad y estabilidad.

Cuando se realizan trabajos cuantitativos en aguas subterráneas es preciso eliminar en la selección los cationes, pues son fuertemente adsorbidos por la mayoría de los suelos.

Los aniones son más útiles para este tipo de estudios aunque pueda existir, en ciertos casos, interacción con algunos componentes de los estratos. Los más utilizados hasta el presente son el $^{131}\text{I}^-$, $^{82}\text{Br}^-$ y $^{35}\text{SO}_4^{=}$.

En trabajos recientes se ha adoptado la técnica de incorporar cationes a moléculas neutras o aniones mediante reacciones químicas con agentes complejantes -EDTA; 1, 2 diamino ciclohexano/tetra-acético y otro derivado. Cuando más elevada es la constante de inestabilidad del complejo así formado, tanto mejor resulta como trazador.

###

Sin embargo, el trazador ideal para marcar agua es el // tritio, isótopo radiactivo del hidrógeno, que al estado de agua // tritiada (HTO) se comporta en forma prácticamente idéntica al agua común. Es el único trazador que puede ser utilizado sin ningún tipo de experiencias previas con el terreno en estudio; más aún, se utiliza como standard cuando se desea probar el comportamiento de otros trazadores.

La baja energía de la radiación beta emitida por el tritio complica su detección y medición. Con concentraciones de tritio comprendidas entre 1 UT y 500 UT es necesario concentrar las muestras antes de medir.

$$1 \text{ UT} \cong 3,2 \mu \text{ C/m}^3 \text{ de agua.}$$

3.0 TRAZADORES RADIATIVOS EN AGUAS SUPERFICIALES

Hasta el presente, no obstante la probada eficiencia de las técnicas radiactivas sólo una pequeña fracción de éstas ha sido incorporada al control rutinario o sistemático en aguas superficiales.

Es previsible que los radioisótopos desplazarán en este campo a colorantes y soluciones salinas. Algunas de las ventajas que se enumeran a continuación contribuirán a operar este cambio.

-La medición de la radiación se puede realizar con gran sensibilidad y precisión aún en diluciones extremas. // Por esta razón la cantidad de trazadores puesta en juego es siempre pequeña.

-La detección y medición es específica. Ninguna sustancia puede distorsionar los resultados.

7///

-El gran número de nucleídos disponibles permite seleccionar al más indicado de acuerdo a las necesidades de la experiencia y al sistema de medición adoptado.

-El costo de los radioisótopos de corto o mediano período de semidesintegración es reducido.

3.1 MEDICION DE CAUDALES

El aforo de fluidos en general se puede realizar con trazadores radiactivos apelando a distintos métodos.

3.1.1 METODO DE LA "DISTANCIA ENTRE PICOS"

Se adiciona el trazador radiactivo en forma "instantánea" en el canal o tubería y se mide el paso de la actividad inyectada por dos secciones-aguas abajo- con detectores sumergidos en la corriente o adosados a la tubería.

La separación mínima entre detectores depende del caudal y de la constante de tiempo del detector e instrumental asociado.

Este método sólo se puede aplicar cuando es conocida la sección del canal o tubería.

3.1.2 METODO DE DILUCION

El caudal de agua se calcula comparando la concentración C_1 inyectada con la concentración C_2 medida (1)

El caudal q inyectado debe ser constante durante el lapso de la experiencia. La distancia mínima entre el punto de inyección y la sección de medición o extracción de muestras ha de ser igual o mayor que la "distancia mínima de buen mezclado" (2).

Si no existen pérdidas de trazador entre la inyección y/

////

la sección de medición se cumple que:

$$q \cdot C_1 + Q \cdot C_0 = (Q + q) C_2$$

El caudal Q buscado puede calcularse a partir de:

$$Q = q \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}$$

Como generalmente la concentración de trazador previa al punto de inyección (C_0) es nula y $C_1 \gg C_2$ se puede simplificar la expresión anterior:

$$Q = \frac{q C_1}{C_2}$$

El error relativo en este método sólo depende del error con que se mide la concentración de trazador y es independiente // del caudal o tipo de movimiento del fluido.

3.1.3 METODO DE RECUENTOS TOTALES

Este método fué desarrollado por D. E. Hull (3) (4) (5) // en 1957 empleándose actualmente con mucha frecuencia para aforar // líquidos o gases en tuberías inaccesibles, canales o ríos. Por // sus características es particularmente apto para el aforo de ríos // de montaña donde predominan regímenes turbulentos.

La técnica consiste en adicionar, en un lapso relativa-- mente corto, una actividad conocida de trazador radiactivo y medir aguas abajo, la variación de concentración al paso del mismo por // el lugar de detección o extracción de muestras.

////

Si el caudal Q es constante durante la experiencia, la concentración C_t , en el lugar de medición varía en función del tiempo, distancia al punto de inyección, caudal y características del nucleído seleccionado.

El número total de cuentas N acumuladas por el detector en el lapso de medición ($t_1 - t_2$) está vinculado a la actividad instantánea R de la "ola radiactiva" que pasa por el volumen sensible de detección:

$$N = \int_{t_1}^{t_2} R dt = F \int_{t_1}^{t_2} C_t dt$$

N : Número total de cuentas acumuladas descontando el fondo natural o background.

R : Actividad instantánea medida.

C_t : Concentración al tiempo t

F : Factor de proporcionalidad

Integrando la expresión anterior para caudal Q y fondo natural constantes en el intervalo de la experiencia se obtiene:

$$N = F \frac{A}{Q} \qquad Q = F \frac{A}{N}$$

A : Actividad total inyectada.

Q : Caudal

El uso de esta última fórmula presupone que:

////

- a) Se ha logrado un mezclado uniforme al tiempo t , y por consiguiente, la concentración de trazador es la misma en cualquier punto de la sección de medición.
- b) El caudal y el fondo natural no varían durante la experiencia.
- c) Parte del trazador no se pierde por procesos de adsorción, percolación, etc.
- d) El tiempo de inyección o inmersión del trazador es muy reducido respecto al tiempo $t_1 - t_2$.
- e) El período de semidesintegración es grande respecto al lapso // empleado en la realización de la experiencia.

En los trabajos realizados por la C.N.E.A. aplicando este método, la distancia inmersión-detección se calculó a partir de las siguientes expresiones empíricas:

Tuberías o conductos cerrados: $L_{\min} \geq 75 d$

Canales o ríos : $L_{\min} \geq 3 h K R^{1/6}$

h: Tirante de agua

K: Coeficiente de Strickler

R: Radio hidráulico

d: diámetro en tuberías

Con el fin de realizar trabajos de experimentación o // prestación de servicios, han sido diseñados y construidos en la // C.N.E.A., dos tipos de cabezales de detección (Fig. 1 y Fig. 2) e instrumental asociado, apto para la realización de trabajos de // campaña.

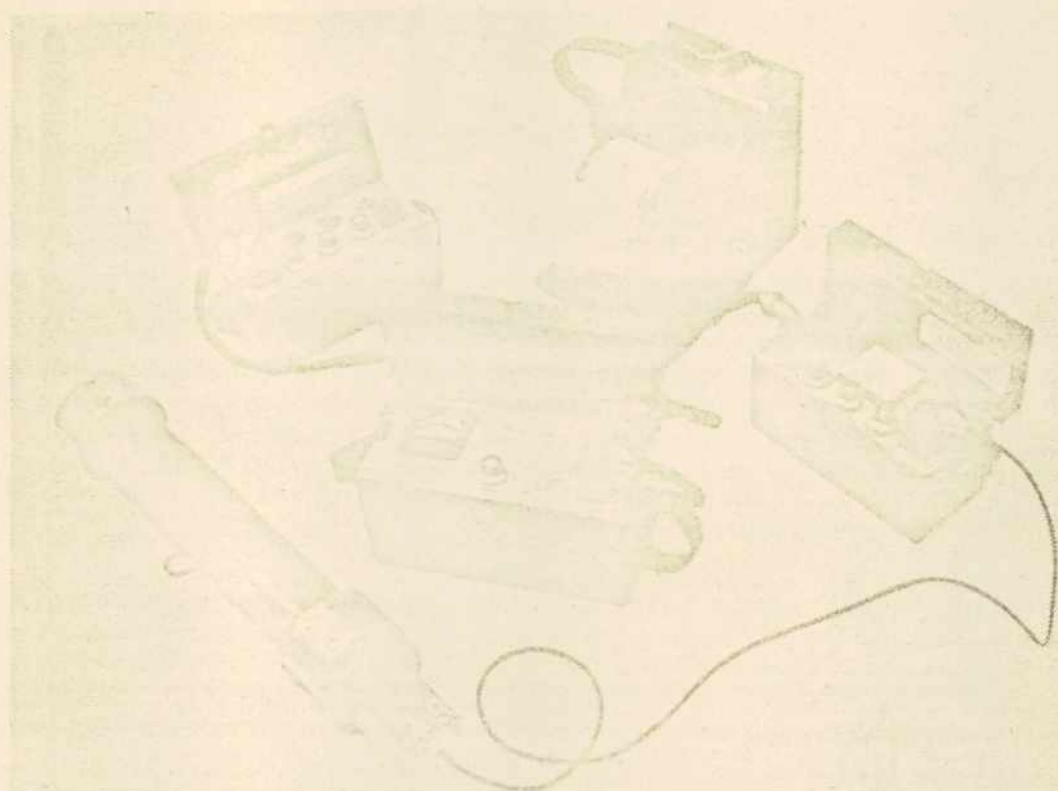


Fig. 1- Sonda de detección e instrumental asociado construídos en la C. N. E. A. para trabajos de hidrología.

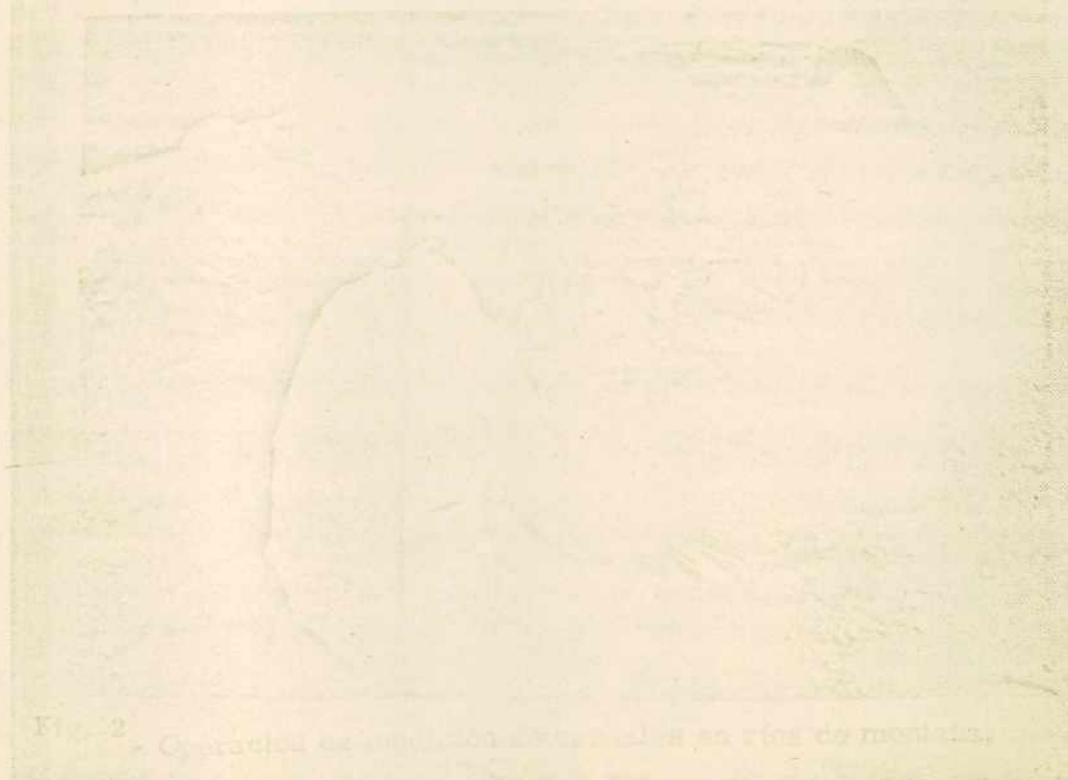


Fig. 2 - Operación de sonda de detección en ríos de montaña.

////

Las sondas de la Fig. 1 y 2 constan de seis tubos tipo / Geiger Müller, de 17 pulgadas de longitud efectiva y un diámetro / de 13/32 pulgadas cada uno. Los tubos se encuentran alojados en un cilindro de bronce o lucite de 13 cm de diámetro y 65 cm de longitud.

Estas sondas son particularmente aptas para efectuar mediciones de caudales en ríos o tuberías inaccesibles, aplicando // los métodos descritos en 3.1.1 y 3.1.3. Ha sido empleada también, con excelentes resultados, para medir tiempos de permanencia en piletas de recuperación de líquidos residuales.

3.2 TIEMPO DE PERMANENCIA

Recibe el nombre de tiempo de permanencia nominal el valor que resulta de dividir la capacidad de un reactor, tanque o piletta por el gasto de líquido que fluye a través del mismo.

Este tiempo de permanencia nominal no siempre es útil // pues, en su determinación, no se tienen en cuenta volúmenes muertos, forma geométrica del tanque o piletta y distintas condiciones de alimentación o desagüe.

A menudo es necesario conocer en instalaciones depuradoras de agua, piletas de decantación o recuperadoras, el tiempo /// real de permanencia de uno o más líquidos.

Para medir este tiempo de permanencia es aconsejable marcar la corriente de alimentación con un trazador radiactivo y medir en el desagüe la actividad eliminada en función del tiempo (6) (7) (8).

Esta curva permite calcular el tiempo real de permanencia y obtener así información útil para evaluar diseños, volúmenes ///

//////

muestras o condiciones de flujo.

3.3 OTRAS APLICACIONES EN AGUAS SUPERFICIALES

Descriptas ya las características y ventajas de los trazadores radiactivos es fácil comprobar su versatilidad y eficiencia para estudiar otros problemas estrechamente vinculados a la hidrología superficial.

Numerosos estudios de identificación de agua se han realizado ya con el fin de investigar su procedencia o detectar la existencia de filtraciones e interconexiones. (9) (10) (11).

Con trazadores radiactivos es posible además investigar el destino o comportamiento de residuos industriales eliminados en ríos, estuarios o lagos. (12) (13).

4.0 TRAZADORES RADIATIVOS EN AGUAS SUBTERRANEAS

4.1 CALCULO DE RECARGA Y VOLUMEN DE ACUIFEROS POR MEDIO DEL TRITIO

El trazador más adecuado para marcar aguas subterráneas es el tritio. El mismo es producido en forma natural en la atmósfera debido a la acción de los rayos cósmicos sobre los átomos de nitrógeno. Otra fuente de tritio han sido las explosiones termonucleares en la atmósfera.

La concentración de tritio en agua de lluvia como consecuencia del primero de los factores expuestos, es prácticamente constante, mientras que después de cada explosión se ha producido un incremento de hasta 10.000 veces la concentración original. (14) (15). Esto es válido en general para el hemisferio norte; en nuestro hemisferio el incremento ha sido bastante inferior.

Si el contenido de un acuífero se encuentra aislado del

////

exterior, es decir, no recibe nuevos aportes de agua, su contenido en tritio decae con un período de 12,5 años, y en general de acuerdo a la concentración de tritio de un acuífero se le puede atribuir al mismo una "edad aparente". Si contiene una cantidad despreciable de tritio (menor que 1 U T) puede suponerse que tiene una antigüedad mayor que 50 años, y que no se ha mezclado con cantidades apreciables de agua meteórica reciente.

Se puede relacionar cuantitativamente la edad aparente de un acuífero con la concentración de tritio en el agua de recarga (lluvia) y en el agua del mismo (16).

$$T = \frac{V}{R} = 18 \frac{C_0 - C}{C}$$

T = "Edad aparente" o tiempo que tardaría en entrar un volumen de agua igual al del acuífero.

V = Volumen del acuífero

R = Recarga anual del acuífero

C_0 = Concentración de tritio en el agua de recarga

C = Concentración de tritio en el acuífero.

Conociendo el volumen del acuífero puede calcularse la recarga anual del mismo, o bien, con el dato de recarga se obtiene el volumen del acuífero. (17) (18) (19) (20).

Este método tiene algunas limitaciones: se ha supuesto en su desarrollo que el agua de recarga experimenta un mezclado perfecto con la existencia en el acuífero, cosa que generalmente no ocurre, y, por otra parte, la concentración de tritio en el agua

//////...no ha de ser pequeña respecto a la de las lluvias en la época de la experiencia.

4.2 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE FILTRACION DE AGUAS SUBTERRANEAS.

La velocidad de filtración de agua subterránea a través de un tubo poroso es un dato muy importante en el estudio de las capas freáticas.

H. Moser y colaboradores (21) han desarrollado un equipo que permite medir directamente la velocidad de pasaje del agua a través de un tubo filtrante. El tubo contiene un radioisótopo disuelto en agua (I^{131} , Br^{82}) y un detector. A medida que filtra agua a través de las paredes del tubo, la concentración de la solución disminuye de acuerdo a la expresión:

$$C = C_0 \cdot \exp\left(-\frac{v_f \cdot F \cdot t}{V}\right)$$

C = Concentración de trazador al tiempo t

C_0 = Concentración inicial del trazador

v_f = Velocidad de filtración

V = Volumen del tubo filtrante

F = Sección transversal del tubo filtrante.

t = Tiempo transcurrido.

Midiendo la concentración en función del tiempo se puede calcular la velocidad de filtración.

//////

El flujo vertical, así como también la entrada y salida de agua a distintos niveles dentro de un tubo poroso puede determinarse utilizando un tubo filtrante en el cual se inyecta una cantidad conocida de material radiactivo a una cierta profundidad. Por arriba y por debajo del punto de inyección se colocan detectores a distintas alturas. El tiempo que el agua "marcada" tarda en pasar de un detector al otro permite calcular la velocidad del agua que fluye dentro del tubo.

En nuestro país no se ha realizado ningún trabajo de esta naturaleza a pesar de ser éste un método universalmente reconocido.

4.3 MEDICION DE LA VELOCIDAD EFECTIVA DEL AGUA SUBTERRANEA

La dirección y velocidad efectiva del agua subterránea / puede ser medida fácilmente con el uso de trazadores radiactivos / (22). Para ello se inyecta en el acuífero una solución de trazador a cierta distancia del punto de inyección se introducen detectores en perforaciones radiales hasta la profundidad adecuada y se espera la llegada del agua marcada. Una vez determinada la dirección / del movimiento se coloca otro detector a una cierta distancia del / primero, y se mide el tiempo que tarda en recorrer el trazador esa distancia. Los trazadores más adecuados para este fin son el H^3 , / I^{131} , Br^{82} y S^{35} .

4.4 INTERCONEXION DE ACUIFEROS.

Una de las aplicaciones más simples de los trazadores // radiactivos en hidrología es la comprobación de interconexiones entre acuíferos.

//////

Esto puede ser de importancia cuando un acuífero que contiene agua potable está separado por un estrato impermeable de otro que contiene agua contaminada o salada. El uso del agua del primer acuífero puede ocasionar el pasaje del agua del segundo si existen fracturas en el estrato impermeable. Este hecho puede ser apreciado hasta después de varios meses de uso intensivo del acuífero. Inyectando un trazador radiactivo en el acuífero contaminante, y analizando periódicamente el agua del otro, puede determinarse si existe una interconexión entre los mismos. (23).

5.0 TRAZADORES RADIACTIVOS EN SEDIMENTOLOGIA FLUVIAL O MARITIMA.

No es posible en este capítulo dar una reseña completa de los trabajos realizados en este campo en distintos países y en particular el nuestro. La amplitud del tema y variedad de métodos existentes supera los fines previstos en este informe.

Los trazadores radiactivos -en nivel comercial- comenzaron a competir en 1958 con otras técnicas para estudiar la dinámica de sedimentos fluviales o marítimos.

Las primeras experiencias mostraron excelentes resultados cualitativos y semi-cuantitativos. Más recientes son los trabajos que llegan a determinaciones cuantitativas.

5.1 OBJETIVOS ALCANZADOS Y PERSPECTIVAS.

Excelentes resultados se han alcanzado estudiando con trazadores radiactivos el acarreo de sedimentos con el fin de conocer eficiencia de dragado, selección de muelles y estructuras adecuadas para defensas costeras y embancamientos, estudios sistemáticos en diques y centrales hidroeléctricas y por último la aplicación más co-

//////...rriente: calibración y contraste en modelos hidráulicos.

Hasta el presente, los resultados obtenidos se limitan a valorar la dinámica de los sedimentos que podríamos denominar semi-consolidados en contraposición con los sedimentos que decantan en las áreas estudiadas pero que son arrastrados en suspensión. Una nueva perspectiva se vislumbra: la incorporación de turbidímetros nucleares para la medición continua de sólidos en suspensión.

5.2 SELECCION DEL SEDIMENTO Y DEL TRAZADOR MAS INDICADO

Las consideraciones expuestas en 2.0 son válidas para este capítulo.

Respecto al sedimento a utilizar existen dos tendencias bien definidas: sedimentos naturales y sedimentos artificiales.

A - Sedimentos naturales

a) Empleo de un sedimento naturalmente radiactivo.

Se ha utilizado mineral de uranio. Este método a tenido poca difusión debido a su largo período de semidesintegración y difícil detección.

b) Irradiación en un reactor nuclear del sedimento natural.

Si se irradian en un reactor arenas, areniscas, arcillas // etc. no se obtienen generalmente radioisótopos de energías y períodos compatibles con estas experiencias.

La irradiación de material de fondo en algunos casos ha dado origen a actividades de p^{32} que han permitido realizar experiencias de esta naturaleza.

c) Marcación del sedimento natural.

Este procedimiento consiste en adicionar por distintos métodos

//////...dos físicos o químicos un trazador radiactivo al sedimento natural. (Tabla II).

B - Sedimentos artificiales

Entre los "sedimentos" artificiales más empleados podemos mencionar el vidrio molido, zeolitas o resinas de intercambio -Método Holandés- En la Tabla II comparamos este método con el // descrito en A-c). Son los más utilizados.

5.3 INMERSION DEL SEDIMENTO RADIATIVO

Con dispositivos mecánicos adecuados se deposita el sedimento radiactivo sobre el lecho formando montículos.

En nuestro servicio de trazadores radiactivos en el Río de la Plata, a pedido del Hydraulic Research of Walling - for hemos desarrollado un método original que consiste en depositar sobre el lecho del río una delgada capa de sedimento marcado con Ag^{110} sobre una extensa área. (Fig. 3)

Evaluar y comparar esta técnica con la anterior sería demasiado prematuro pues aún se están procesando datos (24).

5.4 DETECCION Y MEDICION

El uso de detectores con cristal de centelleo facilita / la detección debido a la gran sensibilidad de este tipo de instrumental.

Las sondas provistas de detectores tipo Geiger Müller // son en cambio más estables y robustas. (24).

TABLA II

METODO		MARCACION DEL SEDIMENTO NATURAL	SEDIMENTOS ARTIFICIALES
CARACTERISTICAS			
FIDELIDAD DEL TRAZADOR	ACTIVIDAD	LA ACTIVIDAD ESPECIFICA ES FUNCION DE LA SUPERFICIE DE LAS PARTICULAS O BIEN SIGUE UNA LEY INTERMEDIA ENTRE LA MASA Y LA SUP. DE LAS MISMAS.	LA ACTIVIDAD ESPECIFICA ES FUNCION DE LA MASA DE LAS PARTICULAS.
	DENSIDAD	EL SEDIMENTO MARCADO Y EL NATURAL TIENEN PRACTICAMENTE LA MISMA DENSIDAD.	EL VIDRIOMOL O LAS ZEOLITAS TIENEN GENERALMENTE DISTINTA DENSIDAD QUE LA MAYORIA DE LOS SEDIMENTOS NATURALES.
	DIMENSIONES Y GEOMETRIA	EL SEDIMENTO MARCADO Y EL NATURAL TIENEN LA MISMA CURVA DE CRIBADO.	LAS CURVAS DE CRIBADO PUEDEN DIFERIR LO QUE LOS SEDIMENTOS ARTIFICIALES SUELEN TENER BORDES Y ARISTAS "VIVAS"
	PERDIDA DE TRAZADOR DURANTE LA EXPERIENCIA	EN ALGUNOS CASOS LAS PERDIDAS POR DESADSORCION O MECANICAS SON SIGNIFICATIVAS	SOLO SE DEBEN TENER EN CUENTA LAS PERDIDAS POR DESGASTE.
MASA DE TRAZADOR UTILIZABLE	SE PUEDEN PONER EN JUEGO CONSIDERABLES MASAS DE SEDIMENTO MARCADO (300 kgr EN EL RIO DE LA PLATA)	LA CANTIDAD DE SEDIMENTO MARCADO DEPENDE DEL VOLUMEN DE IRRADIACION DISPONIBLE EN EL REACTOR (GENERALMENTE PEQUEÑO)	
COSTO DEL SEDIMENTO MARCADO	DEPENDE PRINCIPALMENTE DEL COSTO DEL NUCLEIDO SELECCIONADO	DEPENDE DEL COSTO DE IRRADIACION Y FABRICACION DEL SEDIMENTO CON LA GRANULOMETRIA BUSCADA	
RADIOISOTOPOS MAS EMPLEADOS Y LUGAR DE LA EXPERIENCIA	Ag^{110} ARGENTINA, PORTUGAL, RUMANIA, E.E.UU. Au^{198} E.E.UU., FRANCIA Cs^{137} DIVERSOS TRABAJOS EN EL MAR BALTICO Y ALEMANIA	Sc^{46} FRANCIA, G.BRETAÑA, ALEMANIA, JAPON E INDIA. Co^{60} EN DISTINTAS EXP. DE JAPON Zn^{65} JAPON Ir^{192} FRANCIA	

////

REFERENCIAS

- 1) Clayton, C. G. and Smith, D. B.: "A comparison of radioisotope methods for river flow measurement".
Proceedings of a symposium, Tokyo, 5-9 March, 1963. pág.1-24.
- (2) Timblin, L. O. and Peterka, A. J.: "Use of radioisotopes for/ open-channel flow measurements."
Proc. of a symposium, Tokyo, 5-9 March, 1963, pág. 37.
- (3) Hull, B. E.: "The total-count technique: A new principle in / flow measurement."
Int. Journal of Applied Rad. and Isotopes, 4, 1 (1958).
- (4) Hull, B. E.: "Dispersion and persistence of tracer in river / flow measurements". Int. Journal of Applied Rad. and Isotopes 13, 63 (1962).
- (5) Hull, D. E. and Macomber, M.: "Flow measurements by the total -count method" 2^{nd} U, N. Geneva Conference, pág. 817. U.S.A.
- (6) Donckwerts, P. V.: Chem. Eng. Science; 2, 1 (1959).
- (7) Gomez, H. R.: "Tiempo de residencia". Curso regional Internac de Formación en el Empleo de Radioisótopos en la Industria - México, 1966.
- (8) Robin, G.: "Les applications industrielles des traceurs". /// Energie Nucleaire, 7, 7 (1965)
- (9) Todd, D. K.: "Nuclear Science Congress - Sept 8-9, Univ. de // Berkeley (California).
- (10) Parker, F. L.: "Mechanisms of migration of radiocontaminants /

////

39, 660 (1958).

- (20) Von Buttlar, H.: "Ground water studies in New Mexico using tritium as a tracer, II". Journal of Geophys. Research 64, 1031/ (1959).
- (21) Moser, H., Neumaier, F. and Ravert, W.: "New experiences with the use of radioisotopes in Hydrology". Proc. of a Symposium, Tokyo, 5-9 March, 1963. Pág. 283.
- (22) Merritt, W. F.: "Routine measurements of ground water velocity using S³⁵". Health Physics, 8, 185 (1962).
- (23) Burdon, D. J. et al: "The use of tritium intracing karst ground water in greece". Proc. of a Symposium, Tokyo, 5-9 March, 1963. Pág, 309.
- (24) Baró, G.; García Agudo, E. y Gomez, R. H.: "Radioactive tracer study in Río de la Plata". - C.N.E.A. - 1966.