

APLICACION DE TRAZADORES RADIOACTIVOS PARA EL
ESTUDIO DE LA HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Rafael Molina Berbeyer

RESUMEN

Radioactive tracers for subterranean Hydrology work in a zone of underground water has been used for the first time in Mexico.

The obtained results indicate that radioactive tracers may be used successfully.

ANTECEDENTES:

La Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, interesada en la impostergable resolución de los dos grandes problemas que afectan a la Ciudad de México, que son: el hundimiento paulatino que viene sufriendo desde hace varios años y el abastecimiento de agua potable por medio de las aguas del subsuelo, ha llevado a cabo una serie de pruebas con isótopos radioactivos en el Laboratorio de Geoquímica y Radioquímica dependiente de la Oficina de Mecánica de Suelos, para saber el comportamiento de estas sustancias con los distintos materiales que existen en el subsuelo y así poder deducir el método más efectivo en la aplicación de dichas sustancias en la investigación de acuíferos subterráneos. Las dificultades que se refieren a circulación, distribución, velocidad, gastos del acuífero además de las diversas condiciones físicas del que existen en Hidrología y Geohidrología, pueden ser resueltos por medio del uso de trazadores radioactivos, con cuyos datos el ingeniero podrá planear un mejor sistema de aprovechamiento de nuestras aguas subterráneas.

A. PRUEBA DEL TANQUE

Para esta prueba se construyó un tanque de lámina con las siguientes dimensiones: 1.49 x 0.74 x 0.45 m, reforzado con fierro ángulo de 1"; este tanque tiene un volumen de 0.49 m³. A este tanque se le puso gravilla de 0.2 a 0.5 cm. de diámetro, llenándose hasta una altura de 35 cm. Dicha gravilla ocupa un volumen de 0.38 m³.

La gravilla fue saturada con agua y se llenó hasta tener una altura de 35 cm. dando ésto un volumen de 200 lts.

En el tanque se instalaron 13 pozos contruidos de acuerdo con el dibujo No. 1 y además otro pozo llamado pozo de contaminación, construido de acuerdo con el dibujo No. 2.

La colocación de los pozos en el tanque, se indica en el dibujo No. 3.

El programa de trabajo se basó en lo siguiente:

- a.- Preparación de la solución contaminante (Radioisótopos). En este caso se usó Nitrato de Uranio.

- b.- Mantener el nivel del agua en el tanque. (35 cm)
- c.- Medir el gasto de cada pozo.
- d.- Medir el nivel dinámico en cada pozo.
- e.- Poner a funcionar todos los pozos en un tiempo dado.
- f.- Tomar periódicamente muestras de agua de cada pozo, anotando los datos de: gastos, nivel dinámico, tiempo en que se inició la contaminación tiempo en que fue tomada cada muestra y el tiempo final de muestreo.
- h.- Medir la radioactividad en cada muestra y calcular estadísticamente el valor de la radioactividad en cada una de ellas.
- i.- Calcular y dibujar las gráficas correspondientes a la distribución radioactiva de cada pozo para tener la radioactividad masa en todo el tiempo que duró la prueba; dibujar la distribución de las curvas de iso-radioactividad, iso-cronas e iso-velocidad.
- j.- Con los datos así obtenidos, calcular los valores de: velocidad, volumen y gastos de un acuífero.

B.- EJECUCION DE LA PRUEBA

Al ejecutar la prueba según programa ya indicado, fue imposible seguirlo en todos sus puntos: faltando en esta prueba las lecturas de los niveles dinámicos de cada pozo y el mantener siempre el nivel de 35 cm.

En la ejecución de esta prueba, se emplearon ocho personas distribuidas del modo siguiente: cinco se destinaron para tomar las muestras de agua de cada pozo y tres para hacer las lecturas de radioactividad en los contadores G.M. de relación y tomar los datos que se indican en el programa.

Al efectuar esta prueba se procedió como sigue:

- 1.- Se hizo el aforo de cada uno de los pozos, (gasto constante de 400 ml/ minuto, aproximado).
- 2.- A las 11.00 h, se puso en el pozo de contaminación la solución que contiene el trazador radioactivo, preparada del modo siguiente:
27 gramos de Nitrato de Uranió, 300 ml. de alcohol a 96° y agua destilada a 1000 ml. Densidad aproximada 1.000 a 20°C. Radioactividad total 912 162 - micro-micro curie.

Después de haberse añadido la solución, se vigiló constantemente la primera hilera de pozos para determinar el tiempo de llegada del isótopo radioactivo, al llegar la radioactividad se anotó el tiempo observado y se prosiguió con el muestreo cada 5 minutos; siguiendo este sistema se procedió del mismo modo con los pozos de las hileras 2, 3, 4 y 5. El tiempo total de muestreo fue de 1h. 55 minutos.

3.- Con los datos así obtenidos y después de haber sido calculados, se anotaron en los cuadros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 correspondientes a cada pozo. En cada uno de estos cuadros se encuentran los siguientes datos: en la columna uno, el número de la muestra; en la dos la suma de radiación de fondos antes de medir la muestra (B_1); en la tres la suma de la radiación de fondo después de medir la muestra (B_2); en la cuatro el número de lecturas ejecutadas; en la cinco la suma de cuentas de la muestra (M); en la seis el valor medio aritmético de las radiaciones de fondo $\frac{(\sum B_1 + \sum B_2)}{2N}$; en la siete el valor medio aritmético de la muestra $\frac{(\sum M)}{2N}$; en la ocho el valor de radioactividad de la muestra $\frac{(\sum M - \sum B_1 + \sum B_2) N}{N - 2N}$; en la nueve el volumen usado de muestra para medir la radiación ($V M$); en la diez el número de cuentas por minuto/litro en la muestra (c.p.m./l.); en la once el valor de la radiación dado en micro-micro curie/litro ($\mu\mu c/l.$); en la doce los valores de radiación dados en micro-micro curie/mililitro ($\mu\mu c/ml$); en la trece la hora en que se inició el muestreo y la hora en que terminó; en la catorce el tiempo en minutos requerido para extraer 4000 ml (T); en la quince el gasto por minuto (Q); en la diez y seis distancia que existe entre el pozo de contaminación y el pozo de muestreo (D); en la diez y siete velocidad media dada en centímetros/minuto; en la diez y ocho volumen total extraído del pozo; en la diez y nueve valor de la radioactividad total extraída del pozo dada en micro-micro curie, obtenida mediante la multiplicación del valor de la media aritmética de la columna doce por el valor de la columna diez y ocho ($MV = R_t$).

4.- Con los valores obtenidos de las lecturas de radioactividad de cada

pozo, se dibujaron las gráficas de (radioactividad/tiempo) núms. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13, en las cuales se encuentran anotados los valores de: desviación estandar = $\sqrt{(x^2)}$: la media aritmética $\bar{x} = \frac{(x)}{N}$ y el valor de A (correspondiente al volumen extraído del pozo de acuerdo con el área limitada por la curva masa de radioactividad).

C.- INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

Con el fin de tener una mejor interpretación de los datos, se dibujaron las láminas siguientes:

Lámina 1.- Iso-Radioactividad.

Lámina 2.- Iso-Cronas.

Lámina 3.- Iso-Velocidad.

Lámina 4.- Iso-Cronas de llegada inicial de radioactividad.

Lámina 5.- Curvas de radioactividad en un tiempo dado (11 h 18') tomando como curva cero de radioactividad (micro-micro curie/ml) el valor del Pozo No. IV.

Lámina 6.- Curvas de radioactividad en un tiempo dado (12 h 27' 30''), tomando como curva cero de radioactividad (micro-micro curie/ml) el valor del Pozo No. IX.

Lámina 7.- Curvas de radioactividad en un tiempo dado (12 h 55') tomando como curva cero de radioactividad (micro-micro curie/ml) el valor del Pozo No. XIII.

a. Lámina No. 1.- ISO-RADIOACTIVIDAD

En la lámina 1 se encuentran los datos de máxima radioactividad, sin tener en cuenta el tiempo, expresados en micro-micro curie/por mililitro.

La cantidad inicial de radioactividad en el pozo de contaminación es de 912 micro-micro curie/ml., la interpretación que se puede tener al efectuar el estudio de la distribución de las curvas de isorradiactividad indica que, la primera curva tiene un valor de radioactividad muy bajo y esta disminución de radioactividad se debe a dos factores muy importantes que hay que tener siempre en

cuenta; el primero corresponde al poder adsorbente del material y el segundo al fenómeno de precipitación del compuesto radioactivo usado, en este caso el radical Uranio. La continua caída de radioactividad a partir de la primera curva, corresponde al fenómeno de dilución y arrastre por el agua de la substancia radioactiva que no fue adsorbida al moverse por entre el material que constituye el medio poroso.

Como consecuencia de la anterior, podremos decir que, la pequeña cantidad de substancia radioactiva llevada por el agua al moverse y ser extraída por los pozos dió origen a una serie de curvas de iso-radioactividad que al interpo-lar los datos adquiridos indican la probable dirección del flujo dato de gran im-portancia en problemas de Hidrología y de Geohidrología.

b.- Lámina No. 2.- *ISOCRONAS.*

La lámina No. 2, se construyó teniendo como base el tiempo correspon-diente a la máxima radioactividad; los valores de estas curvas isocronas están dadas en minutos.

La forma adquirida por las curvas iso-cronas indican asimismo, la direc-ción del flujo en un tiempo dado y la interpretación de estos valores es la misma que la indicada para la lámina No. 1.

c.- Lámina No. 3.- *ISO-VELOCIDAD.*

La lámina No. 3, se construyó con los datos obtenidos de la ecuación $v = \text{distancia m.m.} / \text{tiempo llegada de la radioactividad en segundos}$. La distri-bución de estas curvas de isovelicidad indican que, el movimiento del agua en el acuífero se divide en dos ramas de flujo, partiendo estas dos ramas del pozo de contaminación hacia los pozos I y III, notándose una disminución de veloci-dad en los pozos IV, V, VI y VII y asimismo se nota que la velocidad se hace uniforme a partir de estos pozos. Estas curvas también nos indican las áreas de mayor o menor permeabilidad.

d.- Lámina No. 4.- **ISOCRONAS DE LLEGADA INICIAL DE RADIOACTIVIDAD.**

Las curvas contenidas en la lámina No. 4, fueron contruidas con los datos de tiempo de llegada inicial de la radioactividad en cada uno de los trece pozos, (el tiempo está dado en minutos). La distribución de las curvas isócronas indica la dirección seguida por el agua al moverse a través de material más o menos permeable, estas curvas son semejantes a las obtenidas en la lámina No. 2 (curvas isócronas de máxima radioactividad). Asimismo en esta lámina se puede ver que el flujo sufre una pequeña disminución de velocidad hacia los pozos V y VII.

e.- Lámina No. 5.- **CURVAS DE RADIOACTIVIDAD EN UN TIEMPO DADO.**

(11 h 18'), tomando como curva cero de radioactividad
(micro-micro curie/ml) el valor del pozo No. IV.

f.- Lámina No. 6.- **CURVAS DE RADIOACTIVIDAD EN UN TIEMPO DADO.**

(12 h 27' 30'') tomando como curva cero de radioactividad
(micro-micro curie/ml) el valor del pozo IX.

g.- Lámina No. 7.- **CURVAS DE RADIOACTIVIDAD EN UN TIEMPO DADO.**

(12 h 55') tomando como curva cero de radioactividad (micro-micro curie/ml)
el valor del pozo XIII.

La construcción de estas tres láminas se hizo siguiendo las bases indicadas por el Ing. Sainz Ortíz, para saber la radioactividad masa contenida en cada una de las áreas en un tiempo dado, luego nosotros calculamos la radioactividad total extraída y de este dato partimos para calcular el gasto total del área, basados en el criterio que nos dá la ecuación: $V_t = \frac{I_o}{I_t}$

En donde: V_t = Volumen

V_o = Volumen del contaminante

I_o = Radioactividad del contaminante

I_t = Radioactividad masa (medida).

Y de aquí se calcularon los valores de las siguientes ecuaciones:

$$Q = \frac{V_t}{t} \quad \text{y} \quad Q = \bar{V} A$$

- En donde:
- Q = gasto ml/minuto
 - V_t = Volumen
 - t = Tiempo en minuto
 - \bar{V} = Velocidad media en cm/minuto
 - A = Area húmeda (2590 cm²), (este dato no es preciso).

Los valores obtenidos por medio de estas ecuaciones, se encuentran en los Cuadros 5A, 6A y 7A.

CONCLUSIONES

- PRIMERA. La aplicación del Nitrato de Uranio como trazador radioactivo en esta prueba indica lo siguiente:
- a.- En aguas altamente alcalinas (p.H. mayor a 9) y ricas en ión HCO_3 , se precipita el radical uranio en forma de Hidróxido de Uranilo, muy poco soluble.
 - b.- Su migración o potencia de arrastre en solución es muy pequeña, es decir, no llega a grandes distancias.
- SEGUNDA. En esta prueba se pudo medir la radioactividad remanente en solución, con contadores G.M. de inmersión de alta sensibilidad.
- TERCERA. Con la aplicación del Nitrato de Uranilo en esta prueba, se obtuvieron los datos siguientes:
- a.- Configuración de red de flujo (láminas Nos. 1, 2 y 4).
 - b.- Velocidad (lámina No. 3).

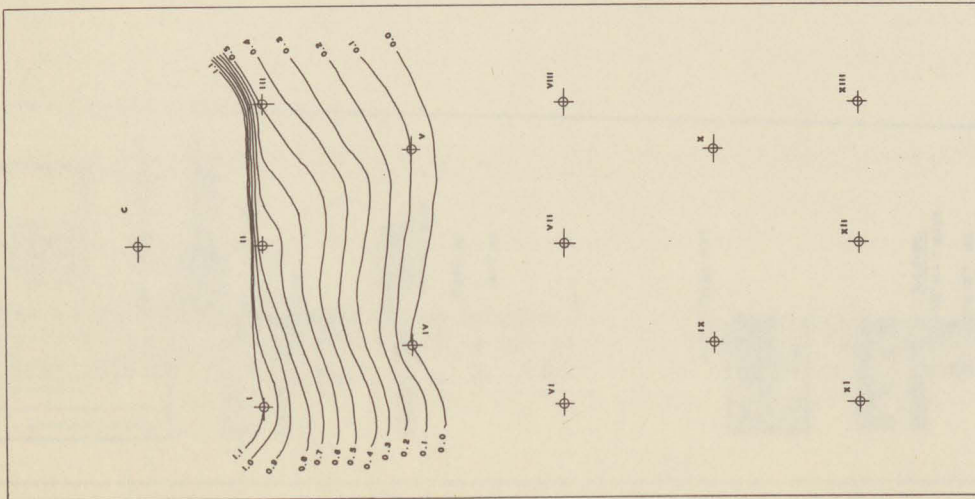
c.- Volumen y gasto (Q) (láminas Nos. 5, 7 y 8).

CUARTA.- Como dato final se tienen los siguientes valores según Cuadro No. 8.

	EXPERIMENTAL	CALCULADO
Q. ml/minuto/pozo	269	359
Volumen (V_t) ml.	541 549	536 187
Q ml/minuto (acuífero)	3 494	3 108

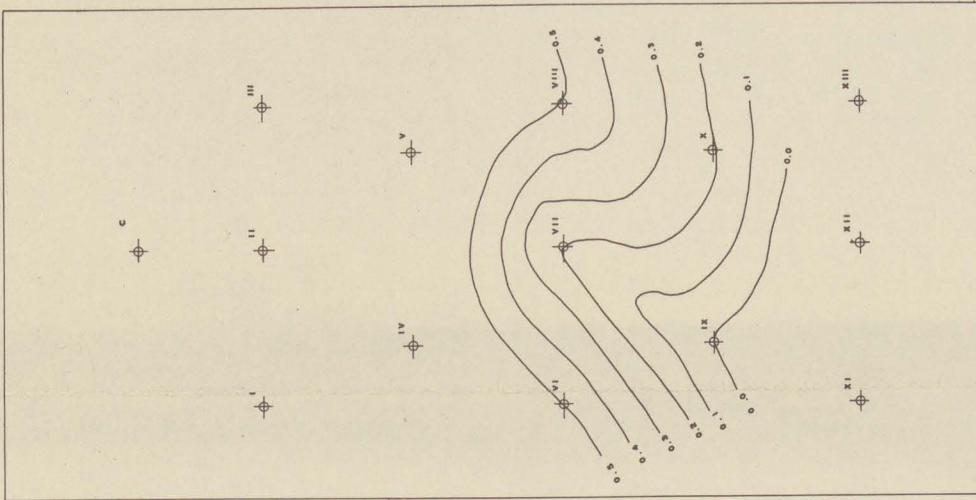
QUINTA. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta experimentación, se puede decir, que los trazadores radioactivos si pueden ser usados para solucionar problemas de Hidrología y Geohidrología, ya que, las sales de Uranio tienen en sus moléculas otras sales radioactivas que son producto de su desintegración natural tales como el radio y polonio, que en realidad fueron los trazadores radioactivos que quedaron como elementos remanentes después de haberse precipitado y adsorbido la mayor cantidad de Uranio.

Se tiene planeado el uso del C_s 137 (Cesio 137) para ser aplicado en una prueba de campo con el fin de saber cual es la circulación, velocidad y volumen de un acuífero en escala natural.



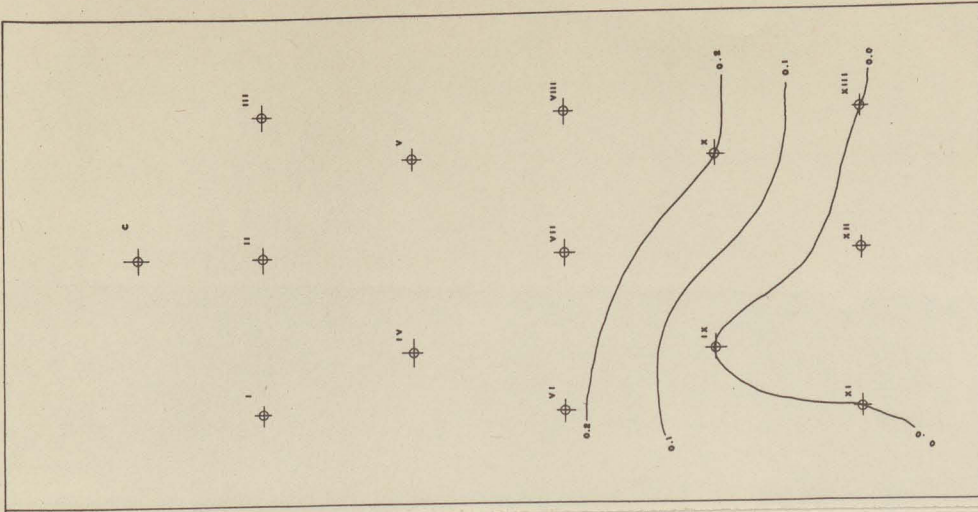
Curvas de Radioactividad en un tiempo dado (11h18')
tomando como curva cero de Radioactividad ($\mu\mu\text{C}/\text{ml}$)
el valor del pozo 4

LAMINA 5



Curvas de Radioactividad en un tiempo dado —
(12h 27'30'') tomando como curva cero de Radioactividad
($\mu\mu\text{C}/\text{ml}$) el valor del pozo 9

LAMINA 6



Curvas de Radioactividad en un tiempo dado (12h55')
tomando como curva cero de Radioactividad ($\mu\mu\text{C}/\text{ml}$)
el valor del pozo 13

LAMINA 7

— VALORES CALCULADOS EN EL CUADRO 5 A. —

Nº	AREA DEL AREA x ALTURA DEL TANTQUE	VOLUMEN= Area x factor x altura	RADIOACTIVIDAD m.d.l.o p.p.c	RADIOACTIVIDAD TOTAL I ₁ p.p.c
1	250	1111	2775	35
2	220	1111	2475	35
3	202	1111	2231	35
4	181	1111	2009	35
5	141	1111	1565	35
6	102	1111	1132	35
7	103	1111	1144	35
8	97	1111	1077	35
9	87	1111	966	35
10	87	1111	966	35
11	63	1111	699	35

ECUACIONES BASE: —
 ① $V_t = V_0 \frac{I_0}{I_t}$; ② $Q = \frac{V}{t}$; ③ $Q = \varphi A$

DANDO VALORES: —

$V_0 = 25800$ ml.
 $I_0 = 280443$ p.p.c
 $I_t = 137785$ p.p.c
 $\varphi = 1.148$ cm./mint. A=2590 cm². t = 20 mint.

CALCULO CON DATOS EXPERIMENTALES: —

- ① $V_t = 25800 \times \frac{280443}{137785} = 52374$ ml.
- ② $Q = \frac{52374}{20} = 2618$ ml./mint./5 pozos.
- ③ $Q = \frac{2618}{5} = 523.6$ ml./mint./pozo.

ECUACIONES BASE: —
 $\Sigma I_t = 296072 \times 0.462 = 136785$

DATOS MEDIDOS.

Volumen determinado = $505 \times 5.120 = 50500$ ml.
 $I_0 = 536187$ p.p.c
 $I_t = 155313$ p.p.c
 " " agua (V₀) = 91900 ml.
 Número de pozos = 5
 Q determinado = 505 ml./mint./ pozo.
 Area húmeda = 2590 cm²
 Velocidad media = 1.148 cm./mint.
 Tiempo = 20' mint.

COMPARACION DE DATOS.

Experimental Medido.
 Q pozo = 524 ml./mint. 505 ml./mint.
 Volumen (V) = 52374 ml. 50540 ml.
 Q ocufiero = 2618 ml./mint. 2973 ml./mint.

— VALORES CALCULADOS EN EL CUADRO 7 A. —

Nº	AREA DEL AREA x ALTURA DEL TANTQUE	VOLUMEN= Area x factor x altura	RADIOACTIVIDAD m.d.l.o p.p.c	RADIOACTIVIDAD TOTAL I ₁ p.p.c
11	1160	1111	12887	35
12	754	1111	8376	35
13	754	1111	8376	35

ECUACIONES BASE: —
 ① $V_t = V_0 \frac{I_0}{I_t}$; ② $Q = \frac{V}{t}$; ③ $Q = \varphi A$

DANDO VALORES: —

$V_0 = 35657$
 $V_0 = 260443$ p.p.c
 $I_t = 30754$ p.p.c
 $\varphi = 1.1$ cm./mint. A=2590 cm². t = 155 mit.

CALCULO CON DATOS EXPERIMENTALES: —

- ① $V_t = 35657 \times \frac{280443}{30754} = 32374$ ml.
- ② $Q = \frac{32374}{12} = 2697.8$ ml./mint./5 pozos.
- ③ $Q = \frac{2697.8}{5} = 539.6$ ml./mint./pozo.
- ④ $Q = \frac{539.6}{3} = 179.9$ ml./mint./pozo.
- ⑤ $Q = \frac{179.9}{3} = 59.9$ ml./mint./pozo.

— VALORES CALCULADOS EN EL CUADRO 6 A. —

Nº	AREA DEL AREA x ALTURA DEL TANTQUE	VOLUMEN= Area x factor x altura	RADIOACTIVIDAD m.d.l.o p.p.c	RADIOACTIVIDAD TOTAL I ₁ p.p.c
1	33.9	1.11	37.66	35
2	4.80	1.11	5.332	35
3	5.45	1.11	6.054	35
4	4.96	1.11	5.510	35
5	4.55	1.11	5.055	35

ECUACIONES BASE: —
 ① $V_t = V_0 \frac{I_0}{I_t}$; ② $Q = \frac{V}{t}$; ③ $Q = \varphi A$

DANDO VALORES: —

$V_0 = 91900$ ml.
 $I_0 = 280443$ p.p.c
 $I_t = 108324$ p.p.c
 $\varphi = 1.1$ cm./mint. A = 2590 cm². t = 88 mint.

CALCULO CON DATOS EXPERIMENTALES: —

- ① $V = 91900 \times \frac{280443}{108324} = 202447$ ml.
- ② $Q = \frac{202447}{5} = 40489.4$ ml./mint./5 pozos.
- ③ $Q = \frac{40489.4}{5} = 8097.9$ ml./mint./pozo.
- ④ $Q = \frac{8097.9}{1.1} = 7361.7$ ml./mint./pozo.

$\Sigma I_t = 234668 \times 0.462 = 108324$ p.p.c

DATOS MEDIDOS.

Volumen determinado = $463.15 \times (80 - 20) = 156420$ ml.
 " " agua (V₀) = 91900 ml.
 $I_0 = 280443$ p.p.c
 $I_t = 155313$ p.p.c
 Número de pozos = 5
 Q determinado = 463 ml./mint./ pozo.
 Area húmeda = 2590 cm²
 Velocidad media = 1.1 cm./mint.
 Tiempo = 88 mint.

COMPARACION DE DATOS.

Experimental Medido.
 Q pozo = 440 ml./mint. 463 ml./mint.
 Volumen (V) = 150073 ml. 156420 ml.
 Q ocufiero = 2406 ml. 2849 ml.

— CALCULO GENERAL CUADRO 8. —

① $V_t = V_0 \frac{I_0}{I_t}$; ② $Q = \frac{V}{t}$; ③ $Q = \varphi A$

DANDO VALORES: —

$V_0 = 536187$ (volumen total de contaminante)
 $I_0 = 280443$ (radioactividad inicial en p.p.c)
 $I_t = 275844$ (radioactividad cuantificada, suma de 136785 + 108324 + 30734 en p.p.c)

CALCULO CON DATOS EXPERIMENTALES: —

- ① $V_t = 536187 \times \frac{280443}{275844} = 541549$ ml.
- ② $Q = \frac{541549}{155} = 3494$ ml./mint./13 pozos.
- ③ $Q = \frac{3494}{13} = 269$ ml./mint./ pozo.
- ④ $Q = 2590 \times 1.2 = 3108$ ml./mint.

COMPARACION DE DATOS: —

Experimental Medido.
 Q ml./mint./ pozo = 269 ml./mint. 359 ml./mint.
 Volumen total (V_t) = 541549 ml. 536187 ml.
 Q ocufiero ml./mint. = 3494 ml./mint. 3108 ml./mint.

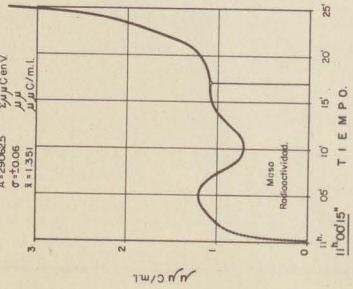
Error: —
 $\frac{541549 - 536187}{536187} \times 100 = 1.00\%$

Nota: —

Cálculos basados en los cuadros 5, 6 y 7. —

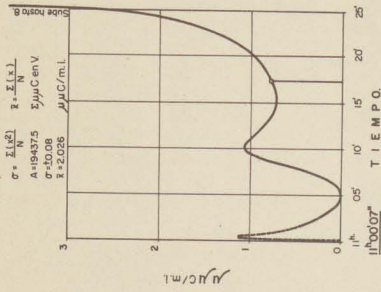
—POZO Nº 1—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 290825 $\Sigma \mu\text{C}/\text{mL}$
 $\sigma = 10,06$ $\Sigma \mu$
 $s = 1,351$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



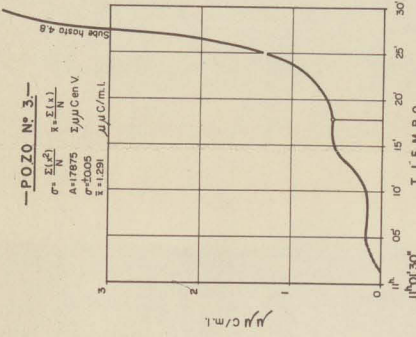
—POZO Nº 2—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 140345 $\Sigma \mu\text{C}/\text{mL}$
 $\sigma = 10,39$ $\Sigma \mu$
 $s = 2,028$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



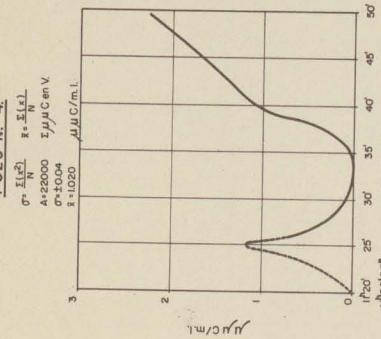
—POZO Nº 3—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 17875 $\Sigma \mu\text{C}/\text{mL}$
 $\sigma = 10,05$ $\Sigma \mu$
 $s = 1,251$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



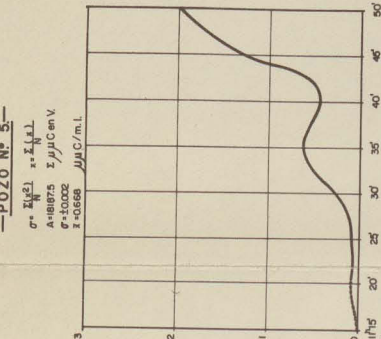
—POZO Nº 4—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 22000 $\Sigma \mu\text{C}/\text{mL}$
 $\sigma = 10,04$ $\Sigma \mu$
 $s = 1,020$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



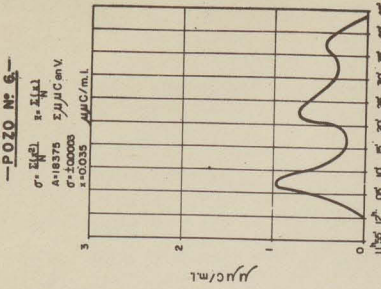
—POZO Nº 5—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 18925 $\Sigma \mu\text{C}/\text{mL}$
 $\sigma = 10,00$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,668$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



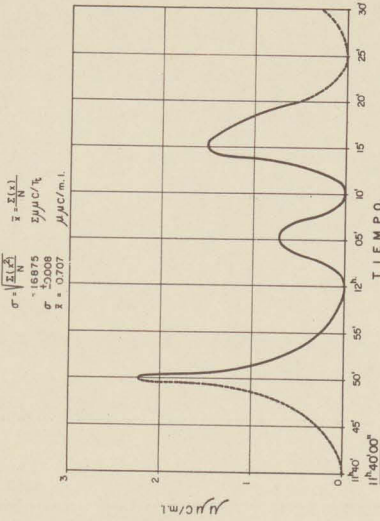
—POZO Nº 6—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 18375 $\Sigma \mu\text{C}/\text{mL}$
 $\sigma = 10,00$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,035$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



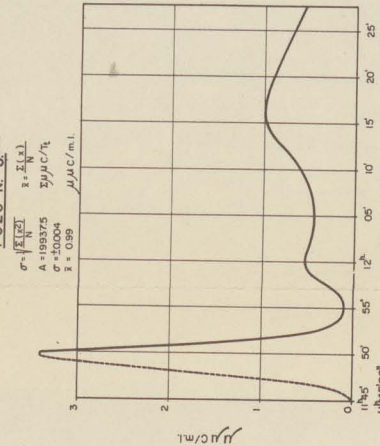
—POZO Nº 7—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 16975 $\Sigma \mu\text{C}/\text{L}$
 $\sigma = 10,08$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,707$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



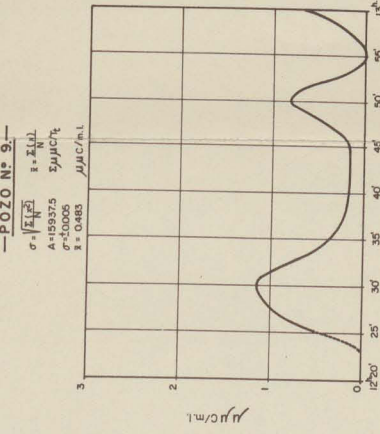
—POZO Nº 8—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 199375 $\Sigma \mu\text{C}/\text{L}$
 $\sigma = 10,004$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,99$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



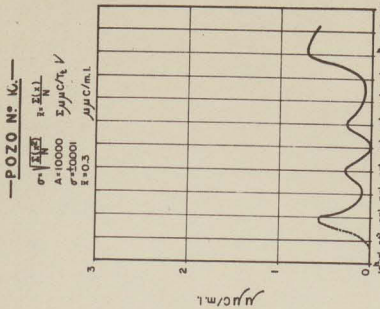
—POZO Nº 9—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 199375 $\Sigma \mu\text{C}/\text{L}$
 $\sigma = 10,005$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,985$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



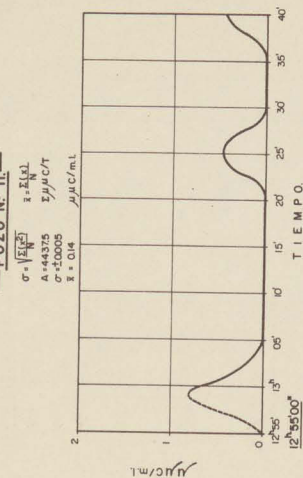
—POZO Nº 10—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 10000 $\Sigma \mu\text{C}/\text{L}$
 $\sigma = 10,001$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,3$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



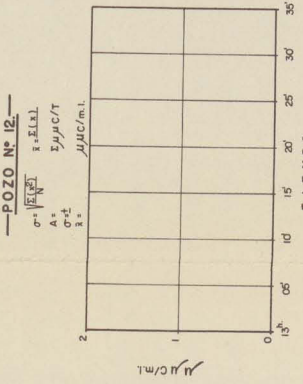
—POZO Nº 11—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 4430 $\Sigma \mu\text{C}/\text{L}$
 $\sigma = 10,005$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,014$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



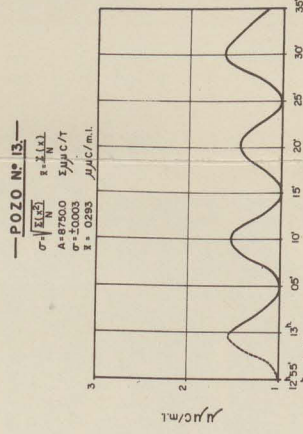
—POZO Nº 12—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 10000 $\Sigma \mu\text{C}/\text{L}$
 $\sigma = 10,00$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,293$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



—POZO Nº 13—

$\sigma = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{N}$ $s = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})}{N}$
A = 8700 $\Sigma \mu\text{C}/\text{L}$
 $\sigma = 10,000$ $\Sigma \mu$
 $s = 0,293$ $\mu\text{C}/\text{mL}$



MUESTRA No.	Zn ₂	Zn ₂	N	ΣM	ΣM	ΣM		C.P.M.	r.r.C	r.r.C	t	Q	D	V=10	mV/h	
						Zn	N									IL
1	249	309	10	345	7	1400	631	1171	1100	0.631	11.00	6.15	30	20	15385	207850
2			10	409	13	2600	1171	1100	0.631	11.00	6.15	30	20	15385	207850	
3			10	387	8	2600	1081	1081	1.081	11.00	6.15	30	20	15385	207850	
4			10	362	2	2600	1081	1081	1.081	11.00	6.15	30	20	15385	207850	
5			10	408	13	2600	1171	1100	0.631	11.00	6.15	30	20	15385	207850	
6			10	646	65	7400	3333	3333	3.333	11.25	6.15	37				

P O Z O N° 3.

1	282	346	10	331	33	400	180	1180	1100	0.180	11.00	9.6	29	3	12632	163080
2			10	325	37	400	180	1180	1100	0.180	11.11	9.6	29	3	12632	163080
3			10	369	6	1200	541	1115	541	0.541	11.15	9.6	29	3	12632	163080
4			10	469	46	3000	1351	1351	1.351	11.20	9.6	29	3	12632	163080	
5			10	469	46	3000	1351	1351	1.351	11.20	9.6	29	3	12632	163080	
6			10	864	85	10800	4865	4865	4.865	11.30	9.6	29	3	12632	163080	

P O Z O N° 5.

1	318	283	10	313	31	200	90	1100	1100	0.09	11.00	9.6	45	0.6	20800	138440
2			10	310	31	200	90	1100	1100	0.09	11.25	9.6	45	0.6	20800	138440
3			10	327	33	600	270	1130	1130	0.27	11.40	9.6	45	0.6	20800	138440
4			10	368	37	1400	480	1140	1140	0.48	11.40	9.6	45	0.6	20800	138440
5			10	368	37	1400	480	1140	1140	0.48	11.40	9.6	45	0.6	20800	138440
6			10	439	44	2800	1260	1145	1145	1.26	11.45	9.6	45	0.6	20800	138440
7			10	511	51	4200	1890	1150	1150	1.89	11.50	9.6	45	0.6	20800	138440

P O Z O N° 7.

1	25	30	10	53	25	6000	2250	1150	1150	0.2250	11.50	12.0	65	0.3	26640	188340
2			10	270	270	0.270	11.55	12.0	12.0	0.160	12.00	12.0	65	0.3	26640	188340
3			10	26	26	0	0	0	0	0	0	12.0	65	0.3	26640	188340
4			10	24	24	0	0	0	0	0	0	12.0	65	0.3	26640	188340
5			10	45	45	17	3400	1530	12.15	15.30	12.15	12.0	65	0.3	26640	188340
6			10	34	34	6	1200	540	0.540	12.20	12.0	65	0.3	26640	188340	

P O Z O N° 9.

1	282	287	10	324	27	1000	450	1150	1150	0.45	12.25	11.5	90	0.2	41640	201120
2			10	403	40	2600	1170	117	12.30	11.7	12.30	11.5	90	0.2	41640	201120
3			10	309	31	800	360	0.36	12.35	0.36	12.35	11.5	90	0.2	41640	201120
4			10	287	29	400	180	0.18	12.45	0.18	12.45	11.5	90	0.2	41640	201120
5			10	357	36	1800	810	0.81	12.50	0.81	12.50	11.5	90	0.2	41640	201120
6			10	357	36	1800	810	0.81	12.50	0.81	12.50	11.5	90	0.2	41640	201120
7			10	253	25	0	0	0	12.55	0	12.55	11.5	90	0.2	41640	201120
8			10	348	35	1600	720	0.72	13.00	0.72	13.00	11.5	90	0.2	41640	201120

P O Z O N° 11.

1	282	368	10	359	32	800	360	1300	1300	0.36	13.00	8.5	113	0.2	75200	105280
2			10	321	30	0	0	0	13.05	0	13.05	8.5	113	0.2	75200	105280
3			10	297	29	0	0	0	13.15	0	13.15	8.5	113	0.2	75200	105280
4			10	314	31	0	0	0	13.20	0	13.20	8.5	113	0.2	75200	105280
5			10	314	31	0	0	0	13.25	0	13.25	8.5	113	0.2	75200	105280
6			10	288	29	0	0	0	13.30	0	13.30	8.5	113	0.2	75200	105280
7			10	288	29	0	0	0	13.35	0	13.35	8.5	113	0.2	75200	105280
8			10	368	37	5	1000	450	0.45	13.40	0.45	13.40	113	0.2	75200	105280

P O Z O N° 13.

1	305	316	10	371	30	5	1300	1100	1100	0.54	13.00	12.0	112	0.2	51615	151230
2			10	303	30	5	1300	1100	1100	0.54	13.05	12.0	112	0.2	51615	151230
3			10	368	37	6	1200	540	0.54	13.10	0.54	12.0	112	0.2	51615	151230
4			10	358	36	5	1000	450	0.45	13.20	0.45	12.0	112	0.2	51615	151230
5			10	284	28	0	0	0	13.25	0	13.25	12.0	112	0.2	51615	151230
6			10	385	39	7	1400	630	0.63	13.30	0.63	12.0	112	0.2	51615	151230
7			10	385	39	7	1400	630	0.63	13.30	0.63	12.0	112	0.2	51615	151230
8			10	329	33	2	400	180	0.18	13.35	0.18	12.0	112	0.2	51615	151230

MUESTRA No.	Zn ₂	Zn ₂	N	ΣM	ΣM	ΣM		C.P.M.	r.r.C	r.r.C	t	Q	D	V=10	mV/h	
						Zn	N									IL
1	336	279	10	430	13	2600	1171	1100	0.631	11.00	6.15	30	27	13333	270130	
2			10	295	30	0	0	11.00	0	0	11.00	6.15	30	27	13333	270130
3			10	381	15	2600	1081	1081	1.081	11.00	6.15	30	27	13333	270130	
4			10	377	6	1600	721	0.721	11.15	0.721	11.15	30	27	13333	270130	
5			10	414	41	2200	991	0.991	11.20	0.991	11.20	30	27	13333	270130	
6			10	1210	121	18200	8198	8198	8.198	11.25	8.198	30	27	13333	270130	

P O Z O N° 2.

1	340	272	10	437	31	2600	1170	1124	1100	0.1170	11.00	7.4	540	0.4	26440	268860
2			10	319	32	200	90	0.90	11.24	0.90	11.24	7.4	540	0.4	26440	268860
3			10	269	27	0	0	0	11.34	0	11.34	7.4	540	0.4	26440	268860
4			10	490	49	2500	1620	1620	1.620	11.44	1.620	7.4	540	0.4	26440	268860
5			10	562	56	5000	2250	2250	2.250	11.49	2.250	7.4	540	0.4	26440	268860

P O Z O N° 4.

1	364	276	10	281	32	5	0	1100	1100	0	11.00	7.5	70	0.2	57564	20150
2			10	335	28	5	400	180	0.18	12.02	0.18	7.5	70	0.2	57564	20150
3			10	434	43	2200	980	0.98	12.07	0.98	12.07	7.5	70	0.2	57564	20150
4			10	344	36	400	180	0.18	12.17	0.18	12.17	7.5	70	0.2	57564	20150
5			10	400	40	1600	720	0.72	12.22	0.72	12.22	7.5	70	0.2	57564	20150
6			10	400	40	1600	720	0.72	12.22	0.72	12.22	7.5	70	0.2	57564	20150
7			10	283	28	0	0	0	12.27	0	12.27	7.5	70	0.2	57564	20150
8			10	368	37	5	1000	450	0.45	11.37	0.45	7.5	70	0.2	57564	20150
9			10	311	31	0	0	0	11.42	0	11.42	7.5	70	0.2	57564	20150

P O Z O N° 6.

1	32	25	10	67	29	7520	3460	1100	1100	0.3460	11.00	70	69	0.3	45680	462230
2			10	30	30	0	0	0	11.35	0	11.35	70	69	0.3	45680	462230
3			10	35	35	5	1200	540	0.540	12.00	0.540	70	69	0.3	45680	462230
4			10	34	34	5	1000	450	0.450	12.05	0.450	70	69	0.3	45680	462230
5			10	40	40	5	2200	980	0.980	12.15	0.980	70				