
SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
I COLOQUIO NACIONAL
JUNIO - JULIO 1971
SANTIAGO - CHILE

EMPLEO DE TRAZADORES RADIACTIVOS EN LA CALIBRACION SEDI
MENTOLOGICA DEL MODELO REDUCIDO DE " CORRAL-VALDIVIA"

por Alberto Sepúlveda Vera. (1)

I.- INTRODUCCION :

Con el objeto de mejorar las condiciones de navegación entre Corral y el muelle de Las Mulatas, ubicado en el extremo Oeste de la ciudad de Valdivia, el Instituto Nacional de Hidráulica, a solicitud de la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas, realiza en su Laboratorio Hidráulico de Peñaflores un estudio a escala reducida. El modelo del complejo Corral - Valdivia se construyó con escala vertical de 1:60 y horizontal de 1:400. En dicho modelo se representan en semejanza los gastos fluviales, el volumen líquido oscilante, el gasto sólido del río y la marea.

Hasta la fecha el modelo ha permitido lograr el mejoramiento del track de navegación, eliminando las bajas profundidades mediante la implantación de nuevas obras y complementando parte de las existentes. El conocimiento del tiempo que demoraría en lograrse tal estado de mejoramiento, y la forma como éste se irá produciendo, serviría para completar el estudio.

Por lo tanto es importante conocer el valor de la escala de tiempos sedimentológica propia del modelo para acortar su período de explotación y el consiguiente logro de economía en el costo del estudio.

La calibración hidráulica y sedimentológica del modelo requiere el conocimiento de los agentes naturales, ya sean éstos causas o efectos.- En

(1) Ingeniero a cargo de la Oficina Nacional de Aplicación de Radionúclidos en Hidrología y Sedimentología. Instituto Nacional de Hidráulica.

el caso del presente estudio por no conocer cuantitativamente el gasto sólido del río, es difícil determinar con exactitud la escala de tiempo sedimentológica; ésta se ha estimado en aproximadamente 1 año por 3 horas de modelo (1).

Con el fin de determinar con certeza la escala sedimentológica, se han realizado experiencias con trazadores radiactivos, tanto en el modelo como en el mismo río Valdivia. Dicha escala sedimentológica, se obtendrá comprando los resultados obtenidos tanto en el prototipo como en el modelo.

a) Prototipo : 3 inyecciones en el río y 1 en la zona marítima, (frente a la playa grande de Niebla). Estas detecciones se realizaron en los meses de Noviembre y Diciembre de 1970, Enero y Abril de 1971, esperándose realizar nuevas experiencias en Julio o Agosto y posiblemente una última detección en Noviembre del presente año (2).

b) Modelo : se realizaron 2 series de detecciones en las mismas 3 zonas fluviales que en el prototipo, (Figura 1); 9 experiencias con una configuración del río igual a su estado actual y otras 9 con las nuevas obras proyectadas en el Laboratorio de Peñaflores (3).

La tecnología del empleo de trazadores radiactivos en la determinación del arrastre sólido en los cauces naturales y en las playas, está suficientemente desarrollada, no así la tecnología del uso de dichos trazadores en los modelos reducidos hidráulicos.

con:
de dichos modelos en los modelos reducidos hidráulicos.
cientemente desarrollada, no así la tecnología del uso
traje en los cauces naturales y en las playas, está suficientemente
tecnología del uso de dichos trazadores en los modelos reducidos hidráulicos.

II.- ANTECEDENTES HISTORICOS :

1.- Modelo del río NIGER.- Se trata de un modelo existente en el Laboratoire National D'Hydraulique de France (L.N.H.), en Chatou, Francia. Sus características principales son (4) desde el punto de vista de la aplicación de trazadores radiactivos :

a) Trazador : cuescos de albaricoques molidos, de densidad 1.23 y granulometría entre 1.5 y 4 mm; este material se irradió en un reactor nuclear, obteniéndose Mn56 (radiación γ con un período de 2,6 horas y energía 3.7 MeV), Na24 (radiación γ con un período de 15 horas y energía 5.51 MeV) y Zn65 (radiación γ con un período de 245 días y energía 1.35 MeV); este último provoca a la larga la contaminación del modelo.

b) Técnica de detección.- Las detecciones se realizaron con una sonda de centelleos con colimador de plomo, situado a 12 cm. sobre el fondo del modelo y se operó punto a punto según una malla cuadrada de 10 x 10 cm. (detección estática).

c) Resultados.- Se encontró que 72 min. de acción de las corrientes tenían una gran analogía con las observaciones efectuadas en la naturaleza en un período de 35 días.

2.- Modelo de DUNKERQUE.- Modelo realizado en el L. N. H., sus características principales son :

a) Trazador : bakelita marcada con 198 Au que tiene un período de 2,7 días e irradia rayos γ de energía 0.41 MeV.

b) Técnica de detección : se emplean 2 tipos diferentes de sondas de centelleos (sonda SRAT, tipo CEA, de cristal pequeño y sonda médica D.S.M. 2 de cristal ϕ 6 mm x 10 cm); dicha sonda va acoplada a un palpador electrónico de fondos el cual es soportado por un carro móvil que

se mueve con una velocidad constante de 1 cm/s. (detección dinámica por perfiles transversales c/10 o 5 cms.). Impresión de datos c/2 segundos.

c) Resultados : los datos se procesan mediante un computador. El modelo ha operado durante todo el año 1970, pero debido a una falta de calibración de la sonda y a otros problemas tales como la interpretación de los datos y las dificultades en el uso de la bakelita, no se ha conseguido obtener resultados finales fidedignos.

III.- MODELO CORRAL - VALDIVIA.-

En este modelo se emplea bakelita para reproducir a escala la arena que constituye el material del fondo del río Valdivia; sus principales características son : densidad = 1.41, $d_{50} = 0.67$ mm y $d_{90} = 1.20$ mm.

a) Trazador : bakelita marcada superficialmente mediante Indio 113 m, emisor de radiación γ con un período de 103.4 min. y energía de 0.392 MeV. El In 113 m se obtiene por elucción de un generador de radioelementos (Sn-In)113. (5) y (10).

b) Instrumentación : se empleó una sonda SRAT tipo CEA, de cristal pequeño con un colimador de plomo, (Figura 2), conectada a un detector de centelleos SRAT - SPP3 y a un contador de impulsos SRAT-ECP2. Dicho SPP3 operaba a un umbral de 50 KeV y con un tiempo de integración de 1.2 segundos. Dicha sonda fue calibrada en un estanque especial, obteniéndose la ecuación :

$$f = f(r) \quad (\text{cps}/\mu \text{Ci} / \text{cm}^2); \quad r \text{ en cms};$$
$$D = 10 \text{ mm.}$$

También se obtuvieron las curvas de calibración :

$g = g(r, z)$ (cps/ μ Ci), así como las curvas de pérdida de conteo. (6), (7) y (8).

La sonda va soportada por un carro pequeño que se puede desplazar transversalmente al modelo; este carro va a su vez montado en otro mayor que se puede desplazar longitudinalmente en el modelo (Figura 3).

c) Condiciones hidráulicas : en el modelo se reproduce un ciclo de mareas durante 3 horas, manteniendo constante el gasto fluvial, (con un total de 3 gastos líquidos : $Q_1 = 450 \text{ m}^3/\text{s}$., $Q_2 = 1.455 \text{ m}^3/\text{s}$., y $Q_3 = 2.700 \text{ m}^3/\text{s}$).

d) Detecciones : la experiencia comienza realizando una detección longitudinal estando detenido el modelo y sin el trazador, con el objeto de determinar la radiactividad natural del fondo del modelo en la zona de estudio (1 a 2 metros aguas arriba de la sección de inmersión y hasta 5 metros aguas abajo de dicha sección); esta radiactividad natural recibe el nombre de ruido de fondo - RdF-, el cual varía generalmente entre 2 y 6 cps; por lo general se toma como RdF el valor máximo obtenido. Con el modelo aún detenido se deposita la bakelita marcada previamente en el centro del track en una zona pre-establecida, (Figura 1), formando una mancha circular de aproximadamente 2 cms de diámetro; a continuación se realiza la detección punto a punto, según perfiles transversales, determinados previa ejecución de un perfil longitudinal. Esta Detección de Referencia (D.R.) sirve para ubicar el C. de G. de la inmersión y dura aproximadamente 1,5 a 2 horas. A continuación se hace funcionar el modelo durante 3 horas seguidas con gasto fluvial constante. Terminada la experimentación hidráulica, se detiene el modelo y se procede a realizar la llamada Detección de Control , (D.C.), la cual dura entre 2 y 3 horas. La distancia entre punto y punto en un perfil transversal depende de la variación de los choques/segundo, (cps) detectados, yendo desde 5 cm. hasta 2 mm dicho espaciamiento.

e) Registro y cálculo previo de datos :

Experiencia : II - 2

Perfil N° 2 - RdF = 4 cps - A = 243 µCi

X = 400 cms - To = 14h10 - SPP3 354 - Sonda SMR-C2

| Y cm. | Hora T | n ₁ cps | n ₂ cps | n ₃ cps | T-To min. | C - | n cps | Obser. |
|----------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------|----------|--------|
| Datos experimentales | | | Cálculos preliminares | | | | | |

n₂ : valores corregidos por pérdida de conteo.

n₃ : valores corregidos además por RdF.

C : coeficiente de restitución (corrección por decaimiento de la actividad).

n : valores experimentales corregidos y referidos a la hora To (inicio de la detección).

f) Elaboración de resultados : se dibujan y se integran los perfiles transversales, obteniéndose a partir de ellos dos tipos diferentes de gráficos (Figura 4) :

- Nube radiactiva : formada por diferentes curvas de isoactividad (se obtienen por interpolación en cada perfil transversal), tales como por ej. : 5, 25, 50, 100, 500, 1000, 2000, 5000 cps, etc., . .

- Diagrama de transporte : curva obtenida por integración de los perfiles transversales.

Según se quiera obtener el gasto sólido arrastrado (así como la dirección del arrastre) o de la distribución del trazador en el modelo, se aplicarán dos técnicas de cálculo diferentes :

A) Método del Balance de las Tasas de Conteo (6).

B) Método de la Deconvolución (7) y (9).

IV.- METODO DEL BALANCE DE LAS TASAS DE CONTEO.-

a) Ecuación fundamental :

$$\frac{1}{\beta} \frac{\alpha}{f_0} \frac{N}{A} E = 1 - e^{-\alpha E} \quad \text{Ecuación del Balance}$$

β : coeficiente de forma de la repartición de enterramiento del trazador, difícil de determinar en el modelo; en todo caso su variación va de 1.10 a 1.25 para valores de E menores de 10 cm.

f_0, α : coeficiente de calibración de la sonda :

$$\alpha = 0,194 \text{ (cm}^{-1} \text{)}$$

$$f_0 = 1.76 \text{ (cps/}\mu\text{Ci/cm}^2 \text{)}$$

A : actividad del trazador a la hora T_0 en (μCi)

N : número total de choque x $\text{cm}^2/\text{seg.}$

$$N = \iint_{-\infty}^{\infty} n \, dy \, dx = \iint_{x,y} n \, dy \, dx \quad \text{(cps.cm}^2\text{)}$$

E : enterramiento medio del trazador en cm.

b) Cálculo de N : por integración del Diagrama de Transporte.

c) Cálculo de E : se obtiene gráficamente mediante la Ecuación del Balance.

d) Cálculo del gasto sólido :

$$Q = bE \cdot V_m \text{ (cm}^3\text{/hora)}$$

b = ancho del río en que existe arrastre.

E = espesor medio de transporte

V_m = velocidad media del arrastre, la cual se obtiene a partir del desplazamiento medio del Centro de Gravedad de los Diagramas de Transporte :

$$V_m = \frac{|x_G - x_0|}{3} \quad (\text{cm/hora})$$

e) Aplicación al modelo Corral - Valdivia : se presentan dificultades en la determinación de toda la nube radiactiva, pues los espigones limitan la detección, debido a lo cual deben extrapolarse los extremos de los perfiles transversales para obtener :

$$N_x = \int_{-\infty}^{\infty} n \, dy \quad (\text{cps} \cdot \text{cm})$$

Para realizar esta extrapolación es muy útil dibujar previamente las curvas de isoactividad. Todas las detecciones se están calculando según este método.

V.- METODO DE LA DECONVOLUCION.-

a) Ecuaciones fundamentales : debido a las pequeñas dimensiones relativas de los modelos reducidos hidráulicos, las curvas de igual cps no son equivalentes a las curvas de isoactividad, como sucede en las detecciones de terreno. Esto se debe a que la sonda recibe información de una zona de influencia equivalente aproximadamente a una esfera de 1 metro de diámetro.

Luego :

$$n(X,Y) = \iint_{x,y} G(X-x, Y-y) \cdot C(x,y) \cdot dx \, dy \quad (\text{cps})$$

Integral de Convolución

X , Y : posición de la sonda.

x , y : posición del área radiactiva dx dy.

C(x,y): concentración radiactiva del área dx dy en $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$.

G(X-x, Y-y) = G(r) : función respuesta de la sonda, cps/ μCi .

A(x,y) = C(x,y) \cdot dx dy : actividad del área dx dy en μCi .

Si se tiene un sistema de valores de "n", se puede escribir :

$$[n(I)] = [G(I, J)] \cdot [A(J)]$$

Ecuación Matricial de Convolución

I = 1, 2,, N

J = 1, 2,, N

N = No total de áreas rectangulares consideradas,
(Figura 5).

$[A(J)]$ = matriz columna de los valores incógnitas buscados.

$[n(I)]$ = matriz columna de los valores experimentales obtenidos de la malla de la Figura 5.

$[G(I, J)]$ = matriz simétrica de orden N (matriz respuesta).

$[G(I, J)]^{-1}$ = matriz inversa de $[G(I, J)]$

También :

$$[A(J)] = [G(I, J)]^{-1} \cdot [n(I)] \quad \text{Ecuación Matricial de Deconvolución}$$

b) Cálculo de A (J) : La ecuación matricial se debe calcular mediante computador, debido al orden N de la matriz G (I, J), que varía entre 200 y 300. Hay dos posibilidades :

- Cálculo directo : la memoria del computador permite calcular directamente la matriz inversa (el computador IBM-360 de la Universidad de Chile no permite invertir matrices de orden N superior a 120).

- Cálculo indirecto : por métodos iterativos; el inconveniente principal es que los errores estadísticos de los valores de "n" influyen tal vez demasiado en el proceso iterativo ; además, deberá ensayarse con varias funciones G (r), pues éstas son funciones del enterramiento medio E.

El presente método de la deconvolución sólo se ha aplicado al caso de una mancha circular (9). Queda por desarrollar el programa de cálculo para $N > 120$.

c) Aplicación al modelo Corral-Valdivia : Se preten de aplicar este método para ambos casos : $N \leq 120$ y $N > 120$, poniendo a punto ambos programas de cálculo y en lo posible se estudiará la influencia del error estadístico de las mediciones experimentales y la influencia de la calibración de la sonda.

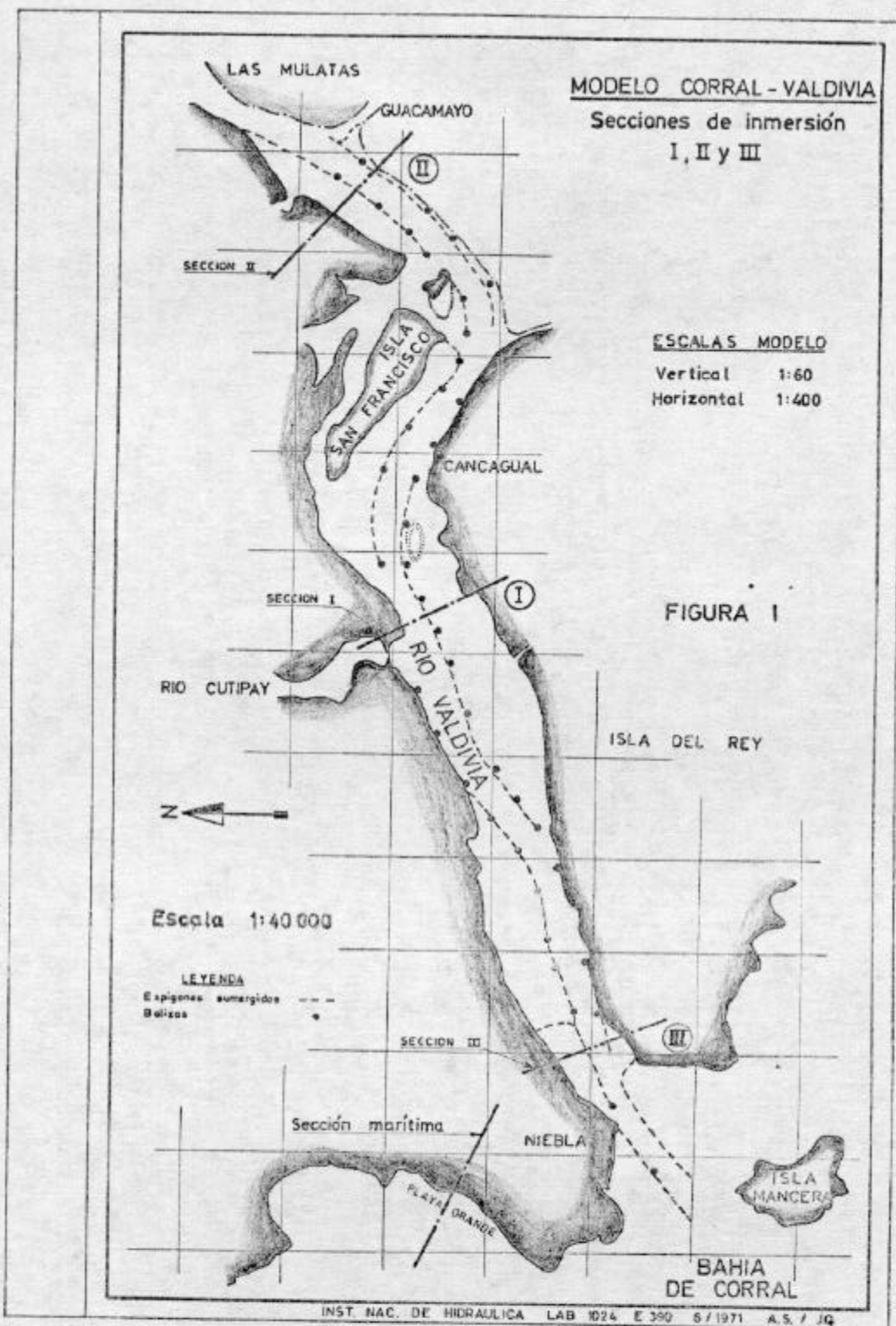
VI.- CONCLUSIONES.-

Las experiencias realizadas con trazadores radiactivos en el modelo hidráulico Corral - Valdivia son las primeras que se realizan en Chile; ellas significan introducir y desarrollar en nuestro país una moderna técnica de indudables ventajas en la calibración sedimentológica de los modelos hidráulicos.

En el futuro esperamos emplear radioelementos de período más largo, pues parece que el uso de un radioelemento de período corto como es el Indio 113, introduce errores aún no cuantificados. Esperamos desarrollar una investigación dirigida a solucionar estos y otros problemas que se presentan al emplear trazadores radiactivos en los modelos hidráulicos.

R E F E R E N C I A S

1. Salvador Tarodo, "Mejoramiento de las condiciones de navegación en el río Valdivia". Contribución a las Jornadas de Estudios sobre la Aplicación de Radioisótopos en Hidrología. Comisión Chilena de Energía Nuclear. Junio de 1970.
2. Courtois, Jeanneau, Sepúlveda, etc., " Empleo de trazadores radiactivos en el estudio sedimentológico del río Valdivia ". Informe en francés en impresión. 1971. C.E.A. - I.N.H. - C.CH.E.N. - O.I.E.A.
3. I.N.H. "Estudio en modelo reducido del mejoramiento del track de navegación del río Valdivia". Laboratorio Hidráulico de Peñaflor-I.N.H. - Abril 1969.
4. C. Migniot, "Les Applications de Radioéléments aux Laboratoires de Sédimentologie". La Houille Blanche No. 8, 1970, p. 730.
5. A. Caillot, "Utilisation de générateur d'isotopes en Sédimentologie Dynamique-Marquage de vases par le Baryum et l'Indium produit par les "vaches" 137 (Cs-Ba) et 113 (Sn-In)" Rapport C.E.N. Saclay-C.E.A. DR/ SAR. S/ 69-13/ AC-JJ.
6. G. Courtois et G. Sausay, "Les méthodes de bilan des taux de comptage de traceurs radioactifs appliquées à la mesure des débits massiques de charriage". La Houille Blanche No. 3, 1966, p. 279-290.
7. Alberto Sepúlveda, "Problèmes posés par la détection de traceurs radioactifs dans les modèles réduits hydrauliques" Rapport de stage-Juin-Octobre 1970. C.E. Saclay (S.A.R.) - C.E.A.
8. Alberto Sepúlveda, "Aplicación de los trazadores radiactivos en la calibración sedimentológica del modelo Corral-Valdivia". I.N.H. Laboratorio Hidráulico de Peñaflor-1971. Informe final en elaboración.
9. Jacques Georg, "Usage des traceurs radioactifs en Modèles Réduits Hydrauliques". Rapport de stage-Juillet et Septembre 1970. C.E.N. Saclay (S.A.R.) - C.E.A.
10. J. Grabzack, "Compte-rendu de mesures sur l'Indium 113m et l'Indium 114-Rendement d'élution du générateur-Efficacité de fixation sur la bakélite". Rapport de stage - Août 1970. C.E.N. Saclay (S.A.R.) - C.E.A.



Planos técnicos

SONDA SRAT TIPO CEA DE CRISTAL PEQUEÑO CON COLIMADOR C2
(SONDA SMR-C2)

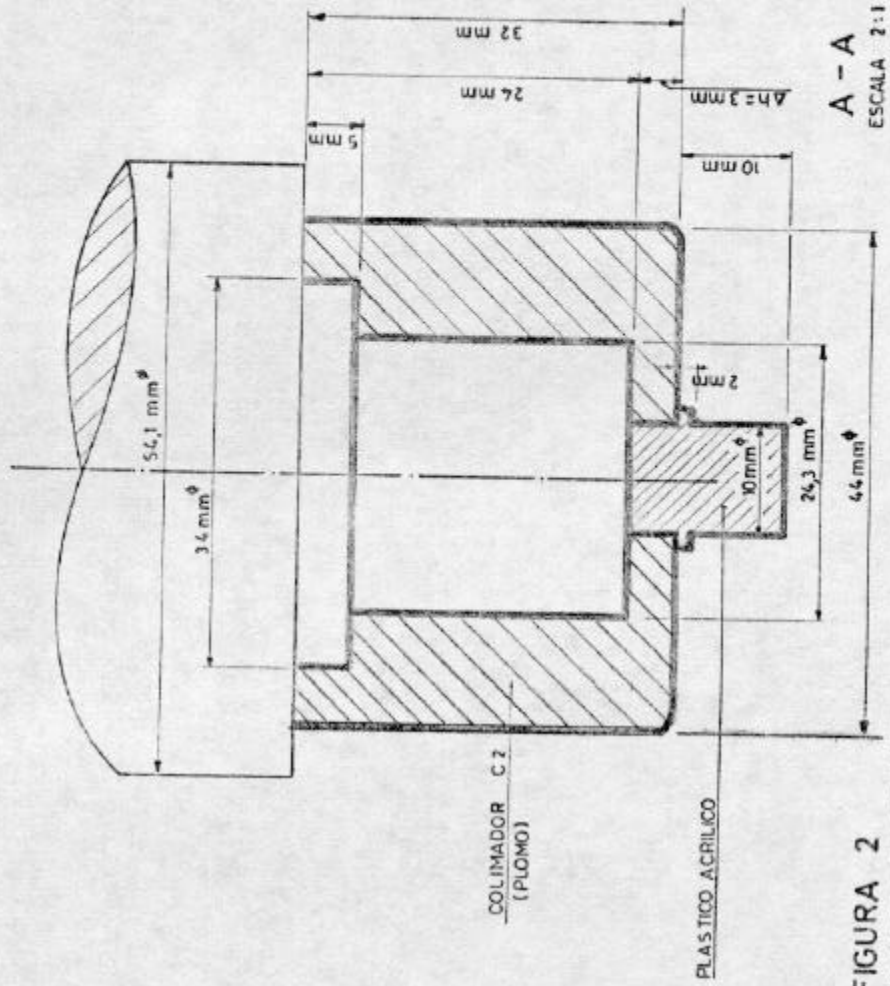
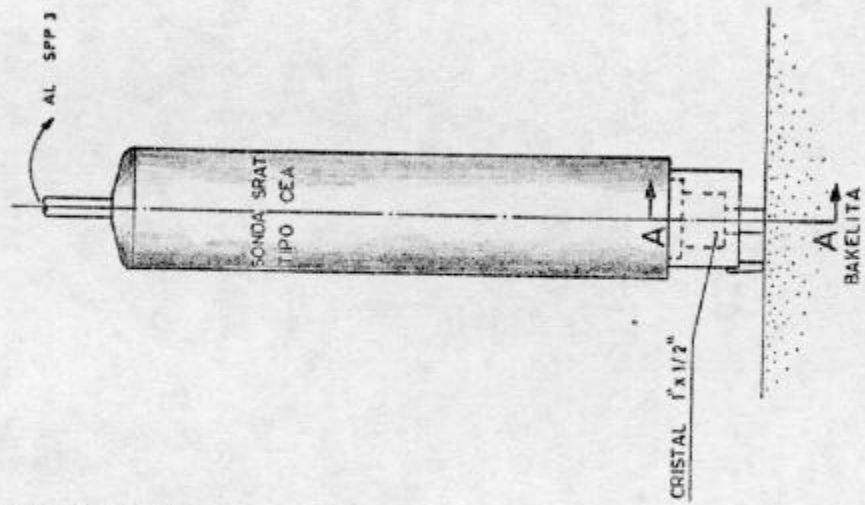


FIGURA 2

ARTICULO

SISTEMA DE DETECCION EMPLEADO EN EL MODELO VALDIVIA

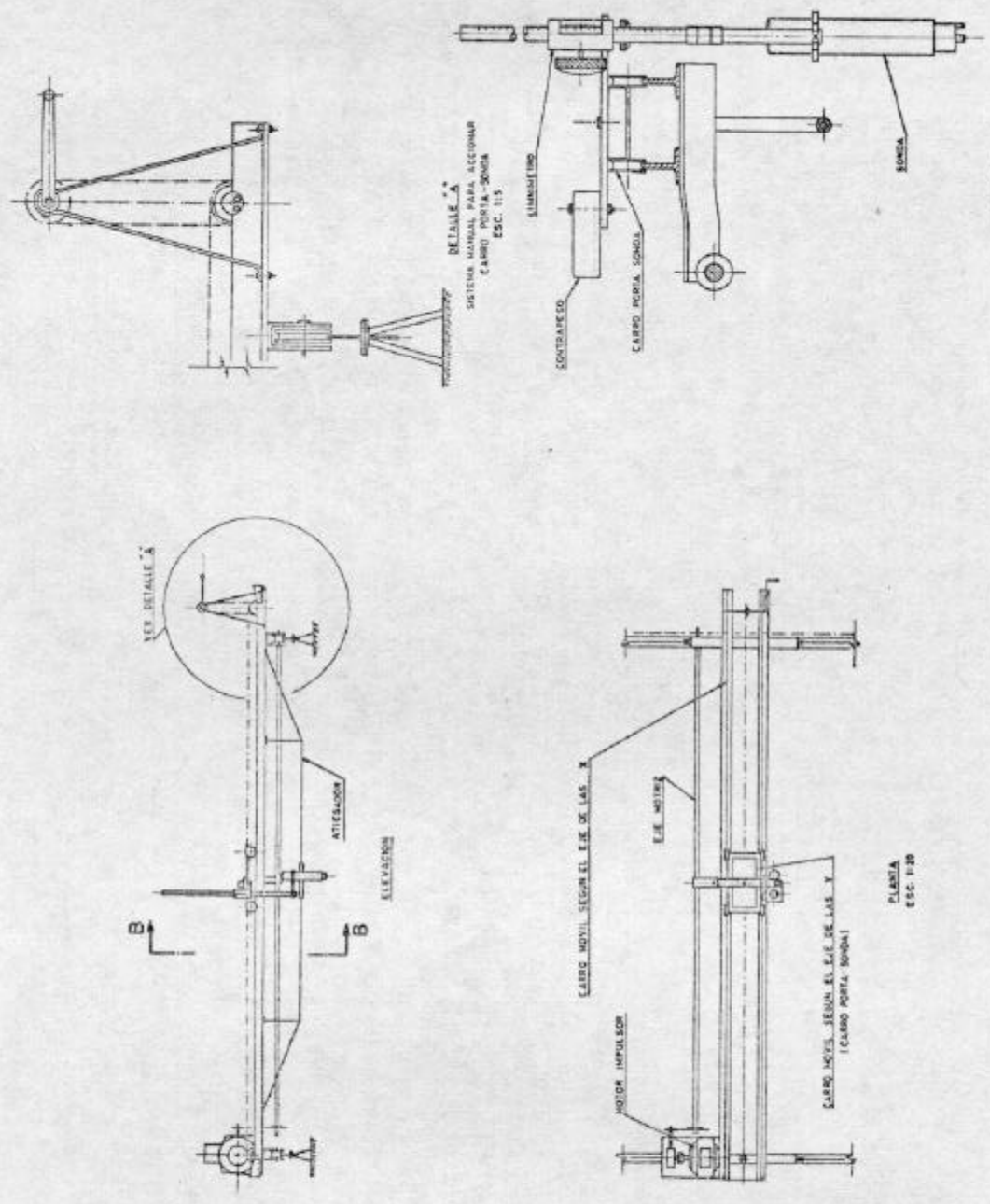
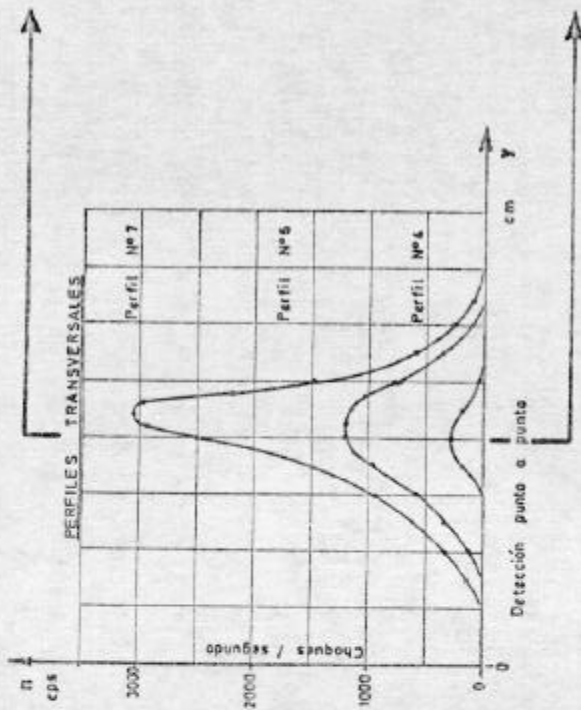


FIGURA 3

CORTE - B - B
ESC 1:15

METODO DE CALCULO DE "N"



CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DETECTOR:

Detector de centelleos SRAT: SFP 3 N° 354
 Sonda de centelleos SRAT: Cristal 1" x 1/2"
 Umbral: 50 KeV
 Cofimador C 2

DEFINICIONES:

$$N_x = \int_a^b n dy$$

$$N = \iint n dy dx$$

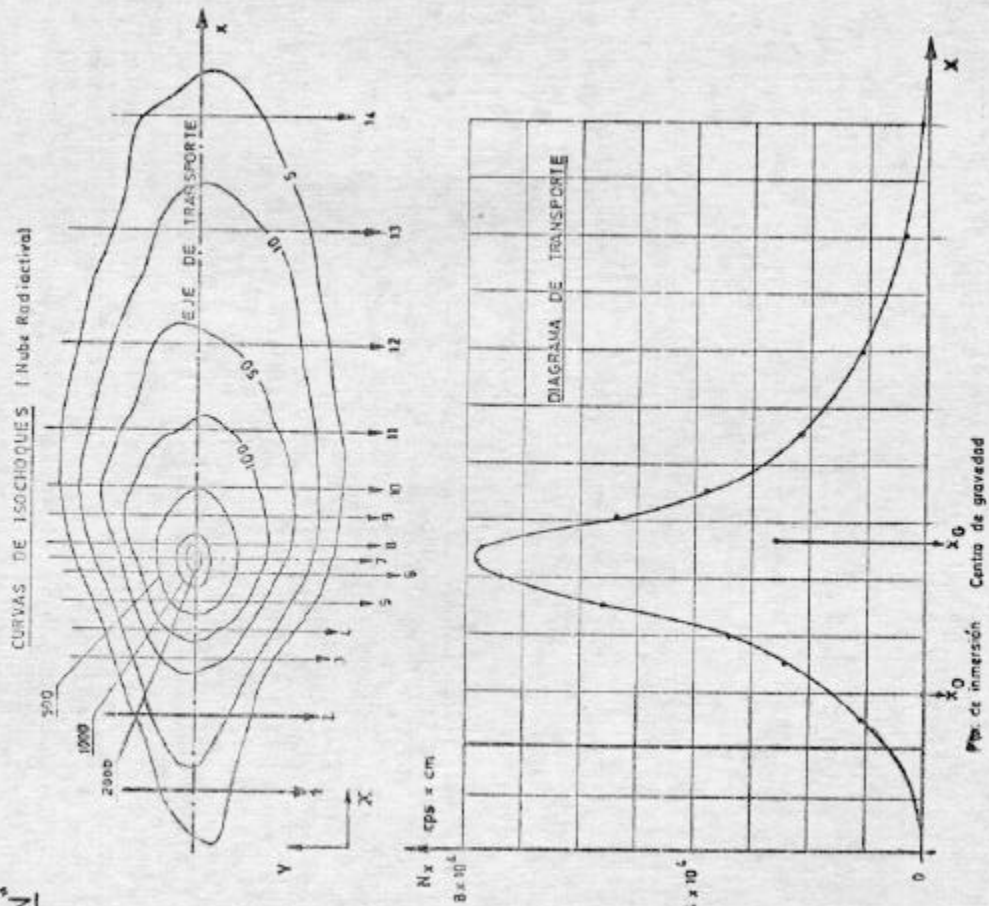
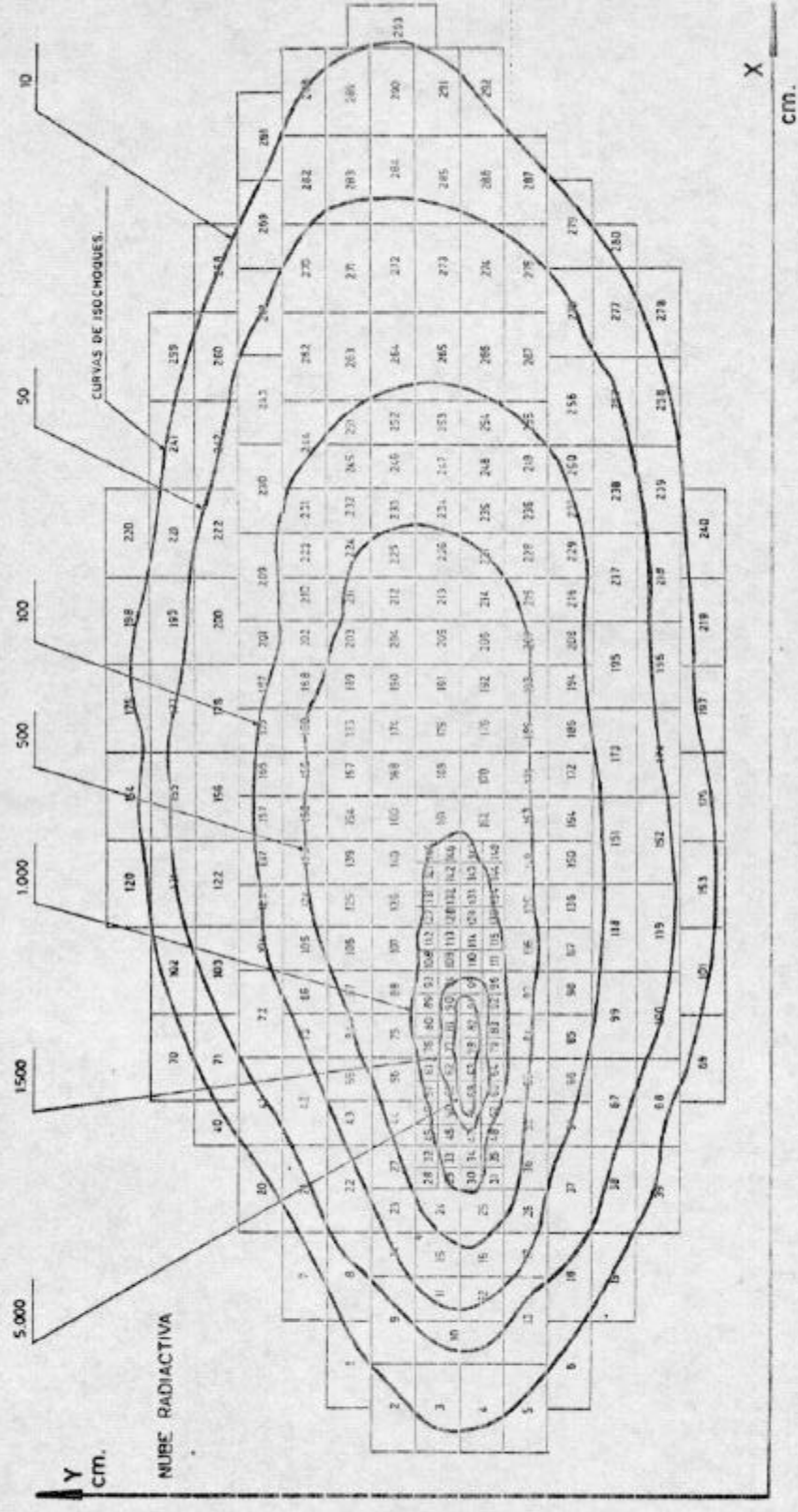


FIGURA 4

CONSTRUCCION DE LA MALLA PARA REALIZAR
LA "DECONVOLUCION"
EJEMPLO DE APLICACION



N = 293 (número total de puntos)
X, Y = coordenadas.

Nota: - Los valores de n (cps) se obtienen del centro de cada rectángulo.

FIGURA 5