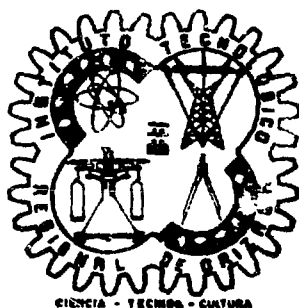


1515-mf--6858

# SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA

**D. G. I. T. R.**

**INSTITUTO TECNOLOGICO REGIONAL  
DE ORIZABA**



**MEDICION DE VOLUMENES LIQUIDOS  
POR DILUCION ISOTOPICA**

**TRABAJO RECEPCIONAL  
QUE PRESENTA:**

**JUAN MANUEL HERRERA MOYA  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL EN QUIMICA**

**ORIZABA, VER.**

**JUNIO DE 1981**

AGRADEZCO AL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES LAS FACILIDADES Y AYUDA ECONOMICA PRESTADA PARA EL DESARROLLO E IMPRESION DE ESTE TRABAJO.

ASI MISMO, MI AGRADECIMIENTO AL ING. GERARDO RODRIGUEZ ARANDA POR SU ASESORIA Y APOYO.

A MIS MAESTROS

A LOS H. MIEMBROS DEL JURADO

A MI ESCUELA

A MIS PADRES,

SR. ARNULFO HERRERA MARTINEZ  
SRA. ENRIQUETA MOYA DE HERRERA

A MIS HERMANOS,

LUZ MARIA  
ARNULFO  
V. FERNANDO

A LA SRITA.,

HILDA MARIA GASCA HEREDIA

## I N D I C E

I.-	INTRODUCCION .....	2
II.-	GENERALIDADES .....	4
III.-	MEDICION DE VOLUMENES .....	11
	LIQUIDOS POR DILUCION ISOTOPICA	
	i.- Escala Laboratorio .....	11
	ii.- Escala Piloto .....	19
	iii.- Escala Industrial .....	28
IV.-	RADIOTRAZADORES AFINES .....	36
	Y LIQUIDOS POSIBLES DE MEDIR	
V.-	SEGURIDAD RADIOLOGICA EN LA MEDICION .....	38
VI.-	ANALISIS ECONOMICO .....	41
VII.-	CONCLUSIONES .....	42
VIII.-	BIBLIOGRAFIA .....	44

## I.- INTRODUCCION

En muchos procesos industriales, se presenta la necesidad de conocer la cantidad de líquido manejado contenido en grandes tanques, ya sea que estos sean de forma regular o irregular, este líquido puede ser: materia prima, producto intermedio de fabricación o terminado.

Esto puede ser con el fin de conocer la disponibilidad del producto y su costo, para evitar pérdidas o desperdicios de sustancias.

El volumen líquido puede determinarse cuando se tienen indicadores de nivel (físicos o electrónicos) para el tanque, pero en ocasiones éstos no dan una medición exacta debido a que se encuentran en mal estado o descalibrados. Cuando no se cuenta con esta clase de dispositivos, tiene que hacerse un cálculo para la determinación del volumen, considerando las dimensiones del recipiente y además el nivel con que cuente, que para cuando se trate de un tanque abierto puede observarse con facilidad hasta cierto punto, presentándose dificultades en los que se encuentran cerrados o a presión.

Todos estos problemas posiblemente serían resueltos, teniendo el recipiente una forma regular totalmente, no así para los de forma irregular. Estos inconvenientes en determinado momento vendrán a ocasionar algunos retrasos dentro de un proceso industrial.

El presente trabajo, trata sobre una técnica nuclear que solucionaría este problema, la Dilución Isotópica, utilizando para ello radio trazadores.

Básicamente en este trabajo, se hacen experimentaciones a diversas escalas midiendo diferentes volúmenes de agua con el fin de optimizar la técnica en escala industrial, y además equipo adecuado para ésta, así como radiotrazadores posibles de utilizar y riesgos que implicaría la utilización de estos.

El presente trabajo fue realizado en el Centro Nuclear de México, ubicado en el Km. 36.5 de la Carretera México-Toluca, en la Gerencia de Aplicaciones Industriales.

En esta Gerencia se están desarrollando técnicas Nucleares (además de la que es tratada aquí) que servirán a la resolución de problemas que se presentan en la industria.

Algunas de estas técnicas son entre otras:

Medición de gasto en tuberías, ríos y canales

Localización de fugas en tuberías ocultas

Medición de nivel, interfase, densidad, espesor

Determinación del tiempo promedio de residencia

Determinación del tiempo óptimo de mezclado, etc.



## II.- GENERALIDADES

La técnica de "Medición de volúmen por dilución Isotópica" básicamente consiste en la adición al volúmen desconocido de un radiotrazador, que se puede mezclar homogéneamente en el volumen a medir, conociendo su volumen y actividad específica para proceder a obtener muestras de la mezcla líquido-radiotrazador determinando la nueva actividad específica.

El cálculo del volúmen líquido se efectúa por medio de un balance de materiales.

$$V_1 A_1 = (V_2 + V_1) A_2$$

despejando  $V_2$

$$\text{cuando } V_2 \gg V_1 ; V_2 = \frac{A_1 V_1}{A_2}$$

donde

$V_1$  = Volumen de radiotrazador

$A_1$  = Actividad específica del radiotrazador

$V_2$  = Volumen desconocido

$A_2$  = Actividad específica de la mezcla radiotrazador-líquido

se tiene que:

$R_1$  = Conteo en cuentas por minuto (cpm) del radiotrazador

$R_2$  = Cuentas por minuto de la mezcla, líquido-radiotrazador

$R_1$  es proporcional a la actividad  $A_1$  y  $R_2$  es proporcional a la actividad  $A_2$  por lo tanto:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Este método nos permite conocer el volumen líquido contenido en un recipiente sin necesidad de conocer sus dimensiones. Con la técnica también es posible determinar la masa del líquido, conociendo su densidad.

Como se ve, la técnica de medición es relativamente muy rápida y sencilla, pero se deben considerar factores tales como:

- 1.- Equipo adecuado para la medición
- 2.- Conseguir que las técnicas seguidas en escala laboratorio y piloto sean muy precisas, así - como material y equipo conveniente para hacer una buena extrapolación a escala industrial.
- 3.- Medidas de seguridad en el manejo de material radiactivo.
- 4.- Costo de la medición.

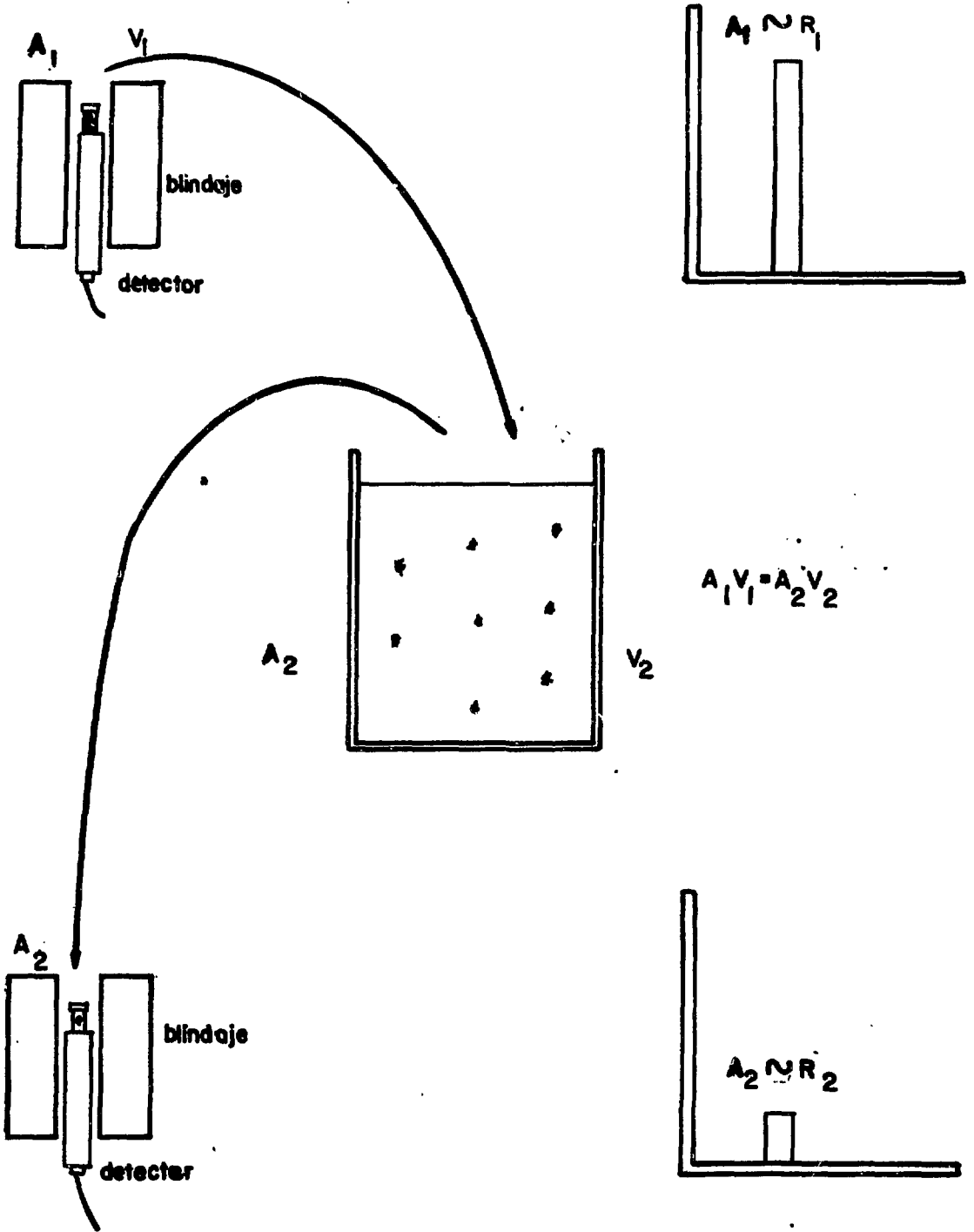


FIG. - 1

MEDICION DE VOLUMEN POR DILUCION ISOTOPICA

## DESCRIPCION DEL EQUIPO DE MEDICION DE VOLUMENES.

### Equipo de Detección.

El equipo utilizado para la detección funciona en base a un cristal de centelleo de Ioduro de sodio activado con talio NaI (TI) y un fotomultiplicador colocados dentro de un cilindro metálico perfectamente sellado, acoplada a un "Rate-Meter" portátil, un escalador y un graficador. Este equipo además de ser utilizado para este trabajo es utilizado para otras operaciones de campo.

Este detector es conveniente para la detección de radiación gamma que son el tipo de radiaciones emitidas por los radioisótopos a utilizarse.

Al hacer uso del equipo de centelleo, es necesario que se encuentre en condiciones adecuadas de operación y conocer el tiempo muerto, para efectuar las correcciones cuando los conteos obtenidos son mayores de 200,000 cpm, según se observó en los equipos utilizados.

Cabe mencionar que aún cuando se cuente con 2 equipos de igual modelo, éstos no poseen las mismas condiciones de operación, como es voltaje de operación, eficiencia, tiempo muerto, etc. Por lo cual se hace necesario que al hacer una determinación de volumen, se utilice un mismo equipo, desde el inicio hasta el final del trabajo, o bien conocer con precisión la eficiencia de un equipo con relación a cada uno de los otros que se hayan utilizado.

### Equipo de Inyección

#### a) Medición a nivel laboratorio

En esta etapa las mediciones hechas fueron sobre un volumen de 20 litros para lo cual se utilizaron botes graduados.

Para el manejo de material radiactivo y preparación de muestra --

se utilizaron: Un matraz aforado para dilución de la muestra que servirá también para vaciar manualmente el volumen a medir, guantes de hule, pipetas graduadas, anillos termoluminiscentes, dosímetro de película, bata, una cubierta protectora de plástico para la mesa de trabajo, un monitor Geiger-Muller. Para la recolección de muestras y su respectivo conteo, se utilizaron unos recipientes de vidrio (viales) con capacidad de 20 ml.

#### b) Escala piloto

Al pasar a esta fase de trabajo teniendo la experiencia de al anterior etapa, se determinó que el equipo apropiado sería el siguiente:

En primer lugar se escogió el volumen con que se trabajaría y fue de aproximadamente 800 litros contenidos en un tanque cilíndrico de geometría ligeramente irregular.

El equipo que se utilizó para preparación de muestra e inyección fue muy parecido al de la anterior escala, lo que se refiere a preparación de muestra, variando únicamente en la forma de hacer la detección - para lo cual se utilizó el siguiente equipo: Botes graduados con capacidad de 20 litros para recolección de muestra y a la vez en ellas efectuar el conteo.

Porta-sonda metálica para fijar la sonda metálica de detección -- dentro de los botes de 20 litros y mantener así la misma geometría de de tección durante todo el trabajo.

Un graficador acoplado a un "Rate-meter" y sonda para evaluar el tiempo óptimo de mezclado del radiotrazador dentro del tanque.

#### c) Escala Industrial

Al pasar a esta etapa, se tienen mayores volúmenes y por consiguenu

te mayor actividad a utilizarse, por lo que es necesario reducir a un mínimo el contacto con el material radiactivo. En base a esto se ha diseñado dentro de la Gerencia de Aplicaciones Industriales, un equipo semiau-tomático para preparación e inyección de trazadores en solución acuosa.

Consta de un recipiente con capacidad de 20 litros en donde es medido el volumen a inyectar y unas mangueras de "tygon" interconectadas a un contenedor de plomo en donde es puesto el frasco con material radiac-tivo, al cual se le hace pasar el volumen mencionado por medio de unas -  
agujas encajadas en la tapa del frasco ampúla y conectadas a mangueras -  
de entrada y salida. (ver figura 1a ).

El material radiactivo y el agua son arrastrados a presión hasta un recipiente en el cual habrá un mezclado final y una toma de muestra, el mezclado se hace por medio de burbujeo de aire dentro del recipiente y después se procede a hacer la inyección a presión dentro del sistema a estudiar.

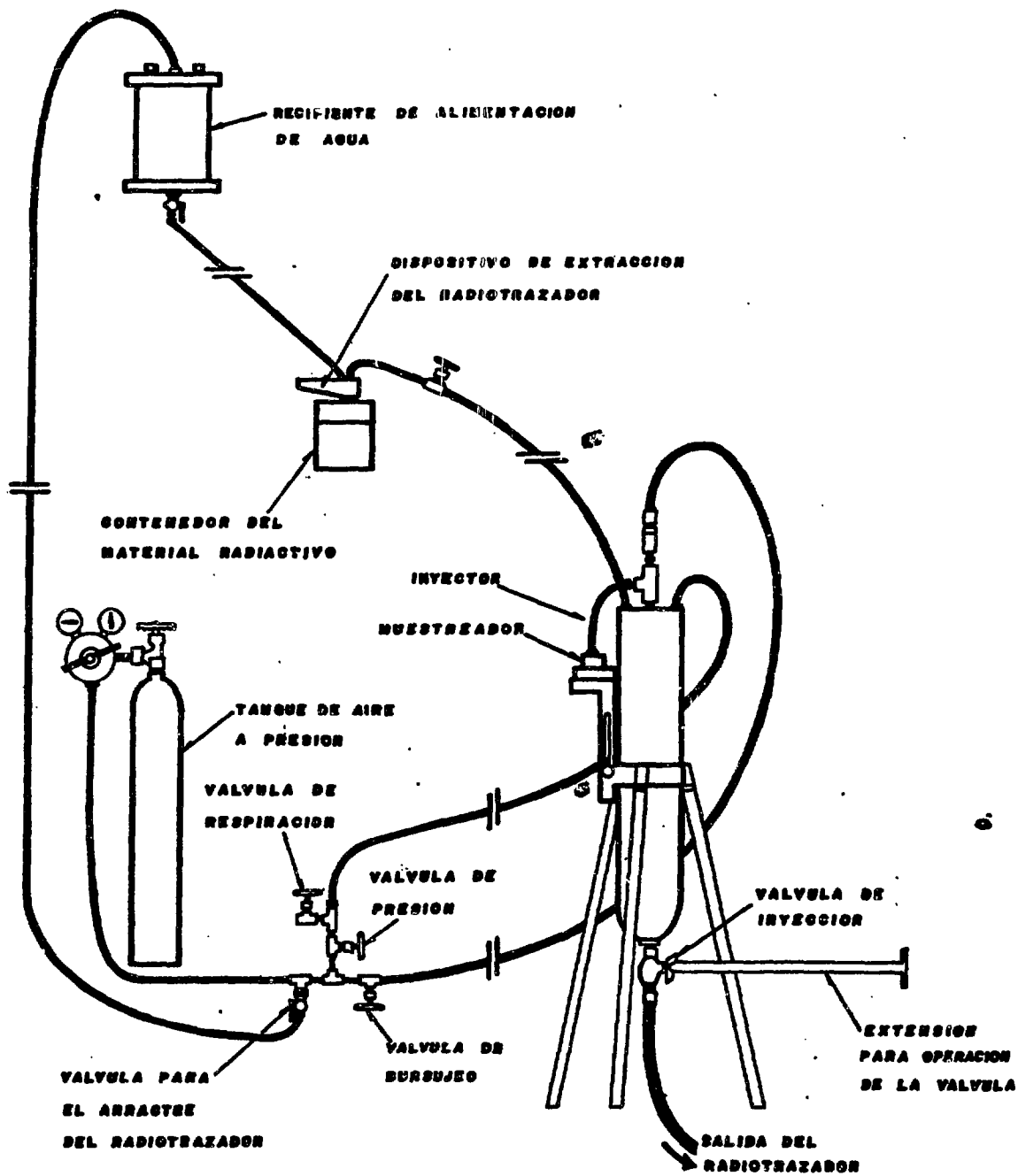
Como se verá en este equipo, el personal solo se acerca al mate-rial radiactivo en el momento de efectuar el transyase del contenedor -  
de transporte al contenedor de trabajo, y en el momento de accionar el  
mecanismo de inyección a presión, operaciones que se harán por medio de  
pinzas de 2 m. de longitud.

Para la detección de muestras (conteo) se utiliza el mismo proce-  
dimiento de la escala piloto.

**Equipo y dispositivos adicionales.**

Los accesorios utilizados en las diferentes escalas que ayudan a  
realizar con propiedad son:

**Escala laboratorio y piloto:**



**FIG. - 1a.**  
**EQUIPO INYECTOR DE RADIOTRAZADOR DE ALTA ACTIVIDAD**

- 1.- Toallas de papel
- 2.- Cinta adhesiva
- 3.- Dos propipetas
- 4.- Recipiente para desechos radiactivos
- 5.- Cables para conexión eléctrica
- 6.- Dos cronómetros
- 7.- Bomba para mezclado de líquido y toma de muestras
- 8.- Agitador
- 9.- Cables para conexión eléctrica
- 10.- Un detector Geiger Muller

#### Nivel Industrial

- 1.- Cinta de teflón para conexiones
- 2.- Pinzas
- 3.- Juego de llaves españolas
- 4.- Llave Stillson
- 5.- Perico
- 6.- Cinta adhesiva
- 7.- Material de vidrio (vasos, matraces, pipetas, embudos etc).
- 8.- Cajas de madera para equipos
- 9.- Dos cronómetros
- 10.- Un detector Geiger Muller tipo teletector
- 11.- Tanque de aire comprimido con manómetro regulador
- 12.- Vehículo para transporte de equipo.



### III MEDICIÓN DE VOLUMENES LIQUIDOS POR DILUCION ISOTOPICA

#### i).- Procedimiento General para nivel laboratorio

1.- Adquirir material radiotrazador de acuerdo al volumen a medir, disuelto en 10 ml de agua contenido en un frasco ampula de paredes gruesas con tapón de hule perfectamente sellado, como los de penicilina, que sirve para varias mediciones.

2.- Con una jeringa extraer del recipiente material radiotrazador y depositarlo en un matraz volumétrico conteniendo unos cuantos mililitros de agua destilada sin derramar el radiotrazador, agitar perfectamente y aforar.

Después de haber aforado proceder a mezclar la solución por medio de succión y descarga de una pipeta volumétrica.

3.- Con la misma pipeta se toma del matraz una alícuota y se deposita en un recipiente, procediendo a contar, para obtener  $R_1$ .

4.- Agregar el volumen contenido en el matraz al recipiente, en el cual se encuentra el volumen desconocido y mezclar perfectamente.

5.- Tomar una alícuota del recipiente y contar con la misma geometría que se utilizó en el punto 3, para obtener  $R_2$ .

#### 6.- Cálculos\*

$$R_1 V_1 = (V_2 + V_1) R_2$$

$$V_2 = \frac{(V_1 R_1)}{R_2} - V_1$$

\* Ver página 44 de la referencia 1.

### Medición a escala laboratorio

Básicamente el desarrollo de la técnica a escala laboratorio es con el fin de observar los detalles de trabajo de la técnica y manejo de material radiactivo, lo que sirve de base para técnicas subsecuentes.

La actividad utilizada para este caso fue de aproximadamente -- 0.1 m Ci.

### Material y equipo utilizado

- 1.- Equipo de detección
- 2.- Matraz volumétrico de 250 ml.
- 3.- Pipetas volumétricas de 20 y 10 ml.
- 4.- Frascos de conteo (viales) de 20 ml.
- 5.- Material radiactivo
- 6.- Jeringa hipodérmica
- 7.- Bata, guantes de hule y dosímetro
- 8.- Recipiente con capacidad para 20 litros
- 9.- Papel secante.

### Procedimiento a escala laboratorio

(en base al procedimiento general)

1.- Adquirir 1 mCi de bromuro de amonio marcado con Br-82 o ioduro de sodio marcado con I-131, disuelto en 10 ml de agua, contenido en un frasco ampula, material que servirá para varias mediciones.

2.- Con una jeringa, extraer 1 ml. del recipiente en el cual se encuentra contenido el radioisótopo y depositarlo en un matraz volumétrico de 250 ml ( $V_1$ ), conteniendo unos 100 ml. de agua destilada sin derramar el radioisótopo. Agitar perfectamente y aforar.

3.- Después de haber arofado, proceder a mezclar la solución por medio de succión y descarga de una pipeta volumétrica de 20 ml.

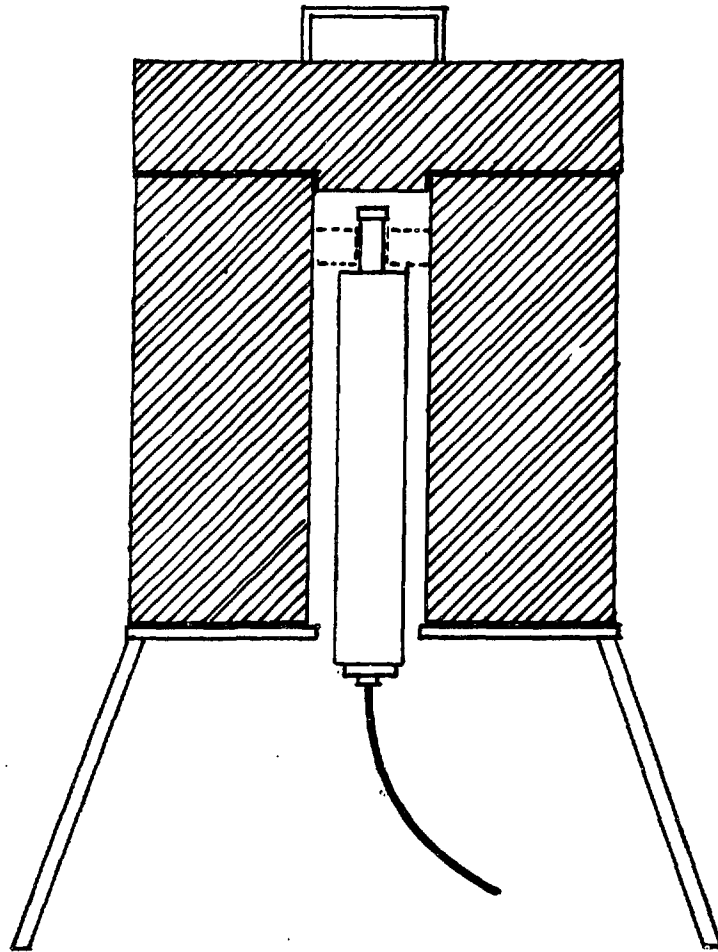
4.- Con la misma pipeta se toma del matraz una alicuota de 20 ml y se deposita en un vial, procediendo a contar (obteniendo  $R_1$ ).

El conteo se hace introduciendo el vial dentro del castillo de plomo, en el cual también se encuentra el detector como se muestra en la figura 2.

5.- Agregar el volúmen contenido en el matraz ( $V_2$ ), al recipiente de volúmen desconocido y mezclar perfectamente.

6.- Tomar una muestra y contar.

7.- Efectuar cálculos.



**FIG-2 CONTEO DE MUESTRA LABORATORIO**

## RESULTADOS EXPERIMENTALES A ESCALA LABORATORIO

En la Tabla No. 1 se presenta para cada caso,

- a) el radioisótopo utilizado,
- b) el volúmen del radiotrazador ( $V_1$ ),
- c) el conteo de una alícuota de este (que corresponde a  $R_1/fdil$ ),
- d) el conteo de la muestra de 20 ml, que corresponde a  $R_2$  (esta muestra se toma del volúmen desconocido después de haberse mezclado perfectamente con el radiotrazador),
- e) el volúmen obtenido por cálculo al sustituir cada uno de los factores que intervienen, en la fórmula dada en el punto 6 del procedimiento general, y
- f) el porcentaje de diferencia con el volúmen "real".

En la Tabla No. 2 se presenta la información obtenida en diez mediciones utilizando  $^{131}\text{I}$  como radiotrazador y un volúmen  $V_1$  de 0.96 lts. - La 1a. columna corresponde a la relación del conteo  $R_1$  y el factor de dilución ( $fdil$ ). En la 2a. columna se tiene  $R_2$ , en la 3a. el volúmen calculado y por último, el porcentaje de diferencia.

Como se puede apreciar en la tabla No. 2, los resultados obtenidos difieren con el "valor real" pero dicho valor es un valor estimativo, ya que puede contar con un error debido a que el bote en donde se encuentra el agua es medido visualmente con la graduación que tiene.

En las mediciones realizadas, el promedio total de ellas es muy cercano al real teniendo una desviación mínima.

TABLA No. 1

RESULTADOS DE PRIMERAS MEDICIONES LABORATORIO

Radioisótopo	Vol. de Radiotraz. (ml)	Conteo de muestra Allicuota (c.p.m.)	Conteo de muestra Vol Desc. (c.p.m.)	Vol Obt. (lts)	% Dif. con Vol. "Real" (20 lts.)
1.- <sup>82</sup> Br	220	934269	10810	18.78	6.1
1'.- <sup>82</sup> Br	220	98741 *	10810	19.87	0.7
2.- <sup>82</sup> Br	220	1513592	18876	17.39	13.0
2'.- <sup>82</sup> Br	220	175904 *	18876	20.05	0.2
3.- <sup>131</sup> I	220	1154269	12882	19.49	2.5
3'.- <sup>131</sup> I	220	122640 *	12882	20.72	3.6
4.- <sup>131</sup> I	250 ml	739825	7508	20.64	3.2
5.- <sup>131</sup> I	250	55460 *	7508	14.52	28.9

\* Factor de dilución = 10

TABLA No. 2

RESULTADOS OBTENIDOS MEDICION ESCALA LABORATORIO

Radioisótopo  $^{131}\text{I}$

Vol. de Radiotrazador 0.96 Lts.

Conteo de muestra Alicuota	Conteo de muestra Vol. Desc.	Vol. obtenido	% diferencia con Vol. "Real" (20 lts.)
1.- 105940	4934	19.65	1.6
2.- 71873	3340	19.69	1.5
3.- 118131	5359	20.20	1.0
4.- 71873	3383	19.43	2.82
5.- 118131	5572	19.61	1.65
6.- 105940	4365	22.30 *	10.4
7.- 185869	8338	20.44	2.2
8.- 184538	8338	20.28	1.4
9.- 615457	27696	19.52	2.4
10.- 615457	27332	19.87	2.4

$$\bar{x} = 19.85 \pm 0.367 \text{ (+ 1.85\%)}$$

$$\% \text{ dif.} = 0.75\%$$

\* Valor no considerado en promedio.

## OBSERVACIONES

Efectuar una dilución de alicuota en caso de que el conteo resulte muy alto.

En las primeras mediciones obtenidas, se nota que hay un margen de error, ésto se debe a que las diluciones al ser efectuadas y medidas en el equipo de detección por medio de los frascos, no alcanzaban a ser completamente representativos del volumen debido a que el manejo de las pipetas y la geometría de conteo no eran muy adecuados, es por lo que se procedió a aumentar el volumen de alicuota.

En la medición a escala piloto e industrial, no se utiliza el castillo de plomo, ya que en estos niveles el volumen que se va a detectar es mucho mayor, la sonda es sumergida dentro de un recipiente de geometría regular, la sonda es detenida al centro del recipiente por un dispositivo que se fija al mismo para que durante la detección, la geometría no cambie por movimiento del detector.



## 11).- ESCALA PILOTO

Para determinar con mejor precisión la actividad a utilizar de acuerdo al volumen desconocido (determinado estimativamente) se obtuvieron gráficas de actividad específica contra conteo (R). Con los radioisótopos  $^{82}\text{Br}$  y  $^{131}\text{I}$ .

Todos los datos se resumen en las tablas 3 y 4 y sus respectivas gráficas se presentan en las figuras 3 y 4.

Para la obtención de estos datos se procedió en idéntica forma de conteo como marca la técnica a escala piloto.

Como se pudo observar durante el trabajo, el equipo electrónico funciona mejor para conteos inferiores a 200 000 cpm y mayores que 10 000 cpm, por lo que, con ayuda de las gráficas mencionadas se puede determinar la actividad aproximada que deberá de usarse para que el conteo  $R_2$  quede en el rango adecuado.

Si el valor es menor de 10 000 cpm se debe hacer un número mayor de lecturas para tener mejor precisión estadística, y si se sobrepasa el límite de 200 000 cpm entonces habrá que corregir por tiempo muerto.

TABLA No. 3

DATOS PARA LA GRAFICA DE ACTIVIDAD ESPECIFICA-CPM DEL RADIO  
TRAZADOR Br - 82 ( $\text{NH}_4$  Br)

ACTIVIDAD UTILIZADA: 1mCi/lit

VOLUMEN DE CONTEO: 20 Lt.

Vol. Agregado (ml)	Vol. total (ml)	Actividad total ( $\mu\text{Ci}$ )	Actividad Especifica (mCi/lit)	Conteos Corregidos* (CPM)
1.- 0.4	0.4	0.4	0.02	26050
2.- 0.4	0.8	0.8	0.04	46418
3.- 0.8	1.6	1.6	0.08	91729
4.- 1.0	2.6	2.6	0.13	138858
5.- 1.0	3.6	3.6	0.18	192178
6.- 1.5	5.1	5.1	0.25	270537
7.- 1.5	6.6	6.6	0.33	347558
8.- 2.0	8.6	8.6	0.43	450075
9.- 2.0	10.6	10.6	0.53	547781

\* Estos conteos están corregidos por tiempo muerto y fondo.

Gráfica: de actividad específica contra cñteos para <sup>82</sup>Br

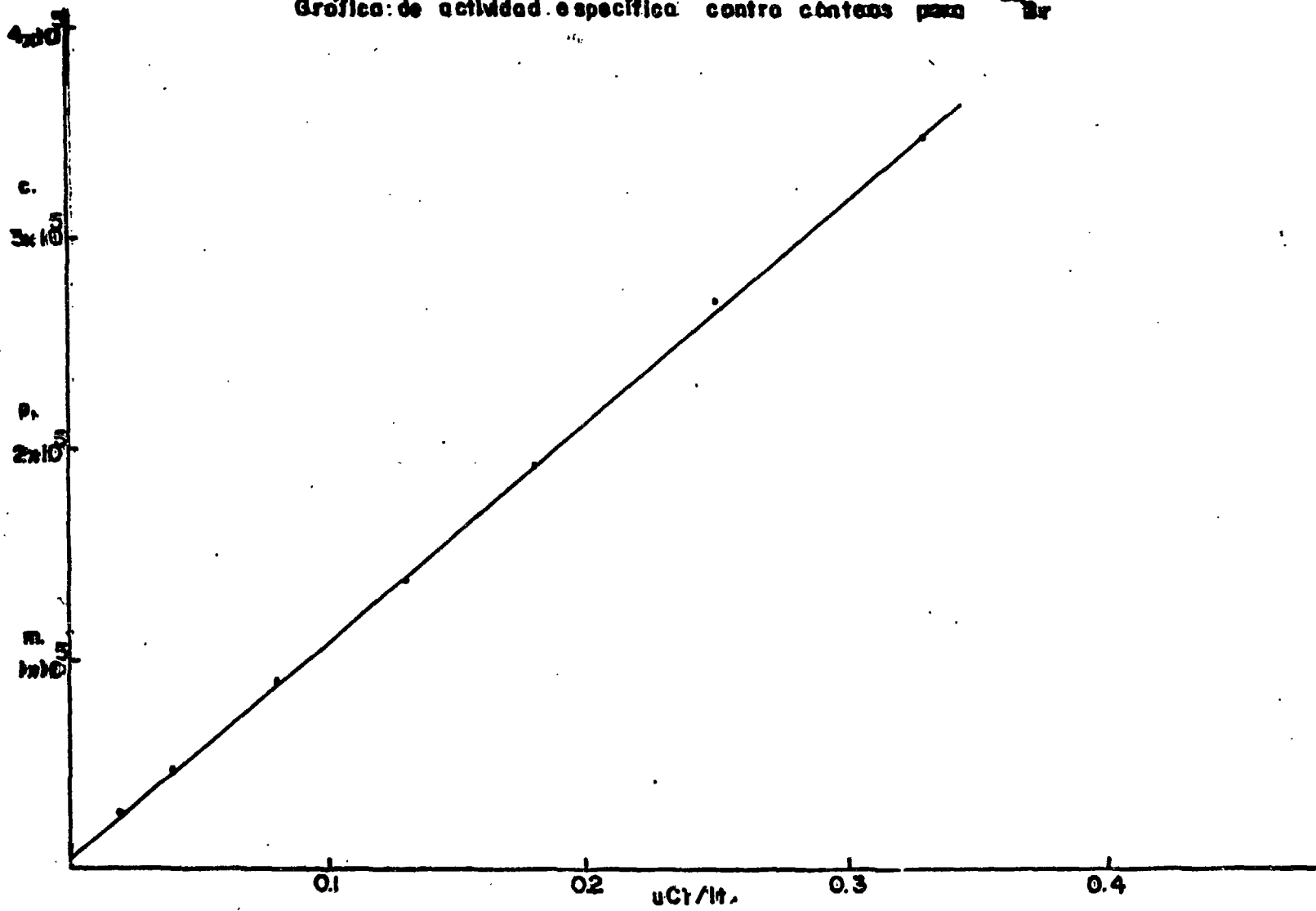


TABLA No. 4

DATOS OBTENIDOS DEL RADIOTRAZADOR I-131 (como NaI) PARA CONS

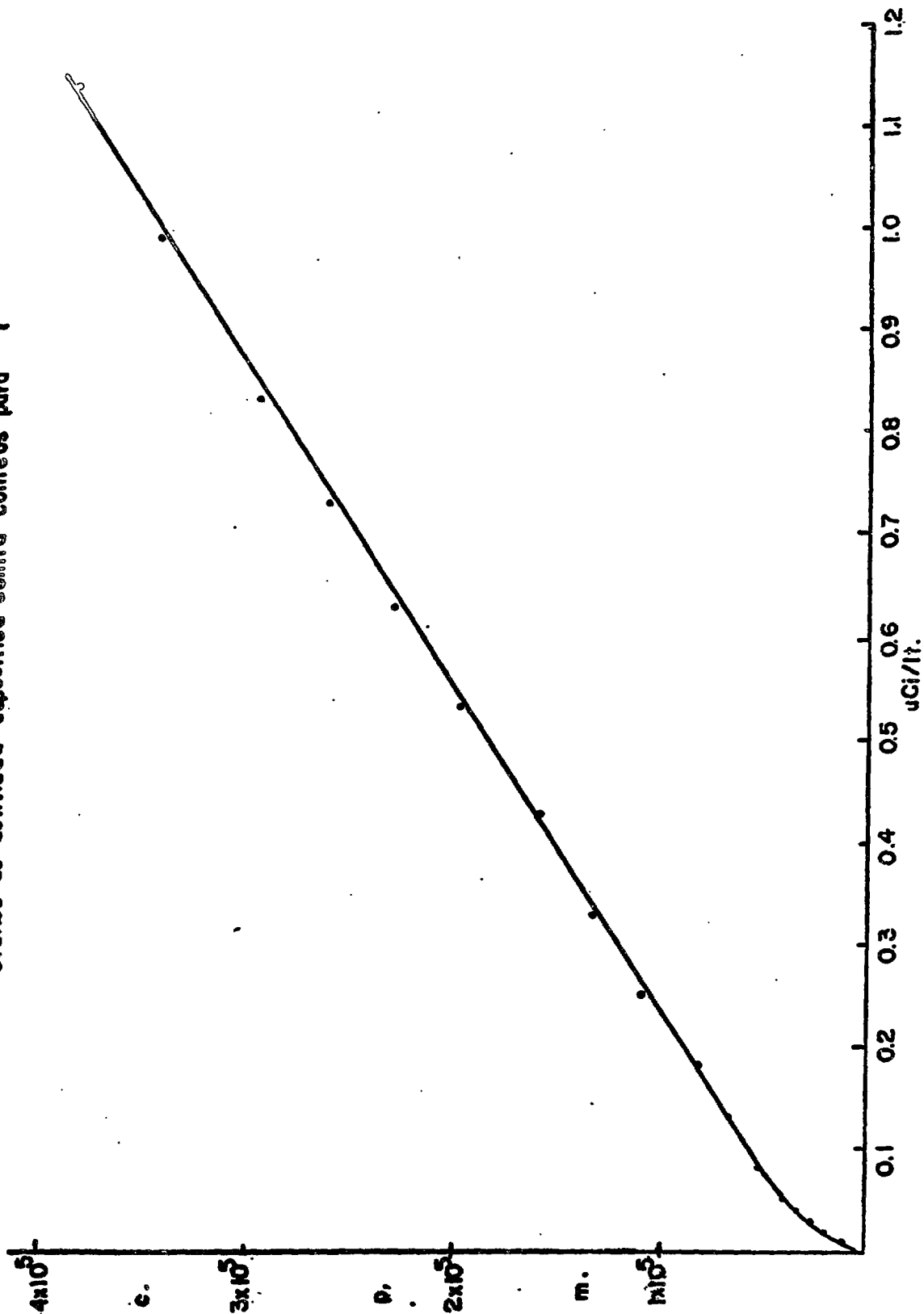
TRUCCION DE LA GRAFICA ACTIVIDAD ESPECIFICA-C.P.M.

ACTIVIDAD UTILIZADA: 1 mCi en 1 lt.

VOLUMEN DE CONTEO: 20 litros

Volúmen Agreg. (ml)	Vol. total (ml)	Actividad total ( $\mu$ Ci)	Actividad Específica ( $\mu$ Ci/1t)	Conteos obte nidos y co- rregidos CPM
1.-	0.2	0.2	0.01	10780
2.-	0.2	0.4	0.02	20321
3.-	0.2	0.6	0.03	36475
4.-	0.2	0.8	0.04	33923
5.-	0.2	1.0	0.05	40419
6.-	0.6	1.6	0.08	50208
7.-	1.0	2.6	0.13	67957
8.-	1.0	3.6	0.18	82791
9.-	1.5	5.1	0.25	110221
10.-	1.5	6.6	0.33	132854
11.-	2.0	8.6	0.43	166674
12.-	2.0	10.6	0.53	198193
13.-	2.0	12.6	0.63	230297
14.-	2.0	14.6	0.73	262449
15.-	2.0	16.6	0.83	295582
16.-	3.0	19.6	0.98	338709
17.-	3.0	22.6	1.13	382415
18.-	3.0	25.6	1.28	430490
19.-	3.0	28.6	1.43	476762
20.-	3.0	31.6	1.58	526934

Gráfica de actividad específica contra conteos para  $^{134}\text{Cs}$



## MEDICION DE VOLUMEN A ESCALA PILOTO

### I.- Material y equipo utilizado.

- 1.- Equipo de detección
- 2.- Radioisótopo
- 3.- Matraz volumétrico de 250 ml.
- 4.- Pipetas volumétricas (2 ml. 5 ml. 10 ml. y 20 ml)
- 5.- Cuatro botes graduados
- 6.- Tanque con capacidad de 800 lts.
- 7.- Bata, guantes, dosímetro.

### PROCEDIMIENTO

1.- A un matraz volumétrico de 250 ml. conteniendo un poco de - agua destilada, agregar 1 ml. de material radiotrazador en solución acuosa, agitar y aforar.

Homogeneizar la solución por medio de una pipeta volumétrica.

2.- Tomar 10 ml. de la solución anterior y agregarlos a un bote que contiene 20 litros de agua, mezclar y hacer el conteo sumergiendo la sonda de detección en la parte central del bote.

3.- Agregar la solución del matraz al recipiente de volumen desconocido y mezclar perfectamente.

4.- Tomar dos muestras de 20 litros de diferentes lugares del recipiente y contar.

5.- Si el conteo de las dos muestras es similar, proceder a obtener los cálculos, en caso contrario mezclar la solución nuevamente.

## 6.- Cálculos

$$V_1 R_1 = V_2 R_2$$

$$V_2 = \frac{V_1 R_1}{R_2}$$

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para esta escala se utilizaron actividades de 0.2 a 0.5 mCi para evitar en lo posible la variación del conteo debido al tiempo muerto del equipo de detección, utilizándose nuevamente Br -82 y I-131 como radioisótopos.

Se utilizó como volumen desconocido agua, teniendo un recipiente de aproximadamente 800 lts.

Estas experiencias son las que sirven de base para extrapolar a escala industrial.

Los resultados obtenidos son mostrados en la tabla No. 5, y cabe mencionar que todas las experiencias fueron realizadas sobre volúmenes independientes, es decir que el resultado obtenido puede ser comparado con la estimación y no con los otros.

En general, los resultados obtenidos son satisfactorios y tenemos que aquí entran los conceptos anteriormente expuestos en la escala laboratorio, en lo que respecta a volumen considerado y forma de conteo para comparar el volumen obtenido con el volumen "real".

TABLA No. 5

RESULTADOS OBTENIDOS POR DILUSION ISOTOPICA  
(Factor dilusión alicuota 2000)

Radioisótopo	Vol. de Radiotraz. (ml)	Conteo de muestra Alicuota (C.P.M.)	Conteo de muestra Vol. Desc. (C.P.M.)	Vol. Obt. (lt)	Vol. "Real" (lt)	% Dif.
1.- * I-131	250	157647	192681	818	791	3.3
2.- I-131	250	90106	57499	783	777	0.75
3.- I-131	250	86108	55333	777	769	1.02
4.- I-131	250	142653	89774	793	775	2.3
5.- Br-82	110	332975	92415	792	775	2.14
6.- Br-82	140	210444	78868	756	750	1.0
7.- Br-82	250	19064	12191	782	795	1.64
8.- Br-82	250	4409	2595	849	800	5.7

\* Factor Dilusión 4000



## OBSERVACIONES

- 1.- Conservar la geometría de detección constante .
- 2.- Utilizar de preferencia el mismo equipo de detección durante una medición.
- 3.- A la alicuota, hacerle una dilución antes de que sea\_ contada, pues la concentración del radioisótopo aquí\_ es generalmente muy alta.

La alicuota es diluida en un bote de 20 litros para - su conteo, y de esta forma se relaciona con el valor\_ de la muestra de volumen desconocido, y así efectuar\_ el cálculo final.

- 4.- En la experiencia No. 8 se utilizó menos actividad - que la normal y se obtuvieron conteos muy bajos en - las muestras, por lo que no es recomendable utilizar\_ actividades bajas, ya que los conteos presentan mayo- res fluctuaciones estadísticas y el cálculo no es muy exacto.
- 5.- En esta escala se utilizó una actividad aproximada de 0.2 mCi que es mas accesible para su detección según se deduce de las figuras 3 y 4.

### iii).- Medición a escala Industrial.

Básicamente es el objetivo de este trabajo y las anteriores ex. experiencias son para observar los factores que intervienen en esta de terminación, el equipo a emplearse debe de reunir las condiciones de seguridad radiológica por la actividad empleada y funcionalidad a la vez.

Además del equipo ya descrito anteriormente, es necesario enumerar la técnica empleada para la medición a esta escala, así como - la actividad apropiada para cada volumen, como es descrito en páginas anteriores.

### Material y equipo empleado

- 1.- Equipo semiautomático de preparación e inyección de radiotrazador.
- 2.- Equipo de detección
- 3.- Botes graduados con capacidad de 20 litros
- 4.- Bata, guantes de hule y dosímetro
- 5.- Monitor Geiger tipo Teletector.
- 6.- Pipetas volumétricas de 3,5,6,10, 25 ml.

### TECNICA

- 1.- Preparar el equipo para inyección, poner el material radiotrazador y mezclarlo, e inyectar la solución en el recipiente de volumen líquido desconocido.
- 2.- Retirar el colector de alicuota del equipo de inyección (que son aproximadamente 6 ml), tomar 5 ml. por medio de una pipeta volumétrica y depositarlos en un bote que contiene 20 litros de líquido y proceder a contar, considerando después para cálculos el factor de dilución.
- 3.- Permitir un mezclado homogéneo del radiotrazador en el recipiente de volumen desconocido.
- 4.- Tomar muestras de 20 litros y proceder a hacer el conteo.
- 5.- Cálculos

$$V_2 = \frac{R_1 V_1}{R_2}$$

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

En esta parte del trabajo se pensaba en una extra polación, pero dado que se localizó un tanque con características industriales en las instalaciones de la SARH, se procedió a la realización de algunas mediciones.

Primeramente se realizó una medición en un tanque con capacidad aproximada de  $6 \text{ m}^3$  para hacer una estimación del método.

Los valores obtenidos de esta medición son mostrados en la tabla No. 6 y contienen un porcentaje de desviación mínima entre ellos.

Posteriormente fue realizada una medición en un tanque con capacidad de  $170 \text{ m}^3$  ocupando I-131 como radioisótopo y la actividad fue calculada en la forma siguiente:

De la figura No. 4 para I-131 se espera un conteo de 50 000 cps en los botes graduados, por lo tanto se tiene una Aesp de 0.08 mCi/lit.

Se estima un volumen de  $170 \text{ m}^3$

$$A = 170\ 000 \text{ lt} \times 0.08 \mu\text{Ci/lt}$$

$$A = 13.6 \text{ mCi} \approx 14 \text{ mCi}$$

En los resultados obtenidos y mostrados en la tabla No. 7 se puede observar que el conteo obtenido fue del orden de 20 000 c.p.s. y esto se debe a que el radioisótopo utilizado, tuvo decaimiento dado que no se utilizó inmediatamente después de calibrado.

En la realización de la medición, se utilizó un volúmen de radio trazador de 20 litros y se realizó en 2 etapas, una fue de inyección- -mezclado y la otra de muestreo-conteo.

El mezc<sup>a</sup>do se realizó por difusión y se comprobó que fue en forma total, porque el muestreo en diferentes puntos del tanque arrojó un conteo uniforme.

TABLA No. 6

RESULTADOS DE MEDICION DE UN TANQUE CON CAPACIDAD ESTIMADA DE 6.17 M<sup>3</sup>  
(VOLUMEN DE RADIOTRAZADOR 0.9 Lts.).

CONTEO DE MUESTRA ALICUOTA	CONTEO DE MUESTRA VOL. DESC.	FACTOR DE DILUCION	VOL. OBTENIDO
1.- 314002	195442	4000	5783
2.- 311593	193701	4000	5791
3.- 309867	191359	4000	5829
4.- 314487	198845	4000	5693
5.- 323393	199171	4000	5845
6.- 317832	198458	4000	5765

$$\bar{x} = 5784 \pm 53 \text{ (0.92\%)}$$

Tabla No. 7

RESULTADOS DE MEDICION ESCALA INDUSTRIAL

CONTEO OBTENIDO MUESTRA ALICUOTA	CONTEO OBTENIDO MUESTRA VOL. DESC.	FACTOR DILUCION	VOLUMEN OBTENIDO
1.- 46484	20768	4000	179.06 M <sup>3</sup>
2.- 47114	20603	4000	182.94 M <sup>3</sup>
3.- 46411	20860	4000	177.99 M <sup>3</sup>
4.- 41714	18624	4000	179.18 M <sup>3</sup>
		$\bar{x} = 179.93 \pm 2.16 (1.2\%)$	
5.- 38949	18681	4000	166.79 M <sup>3</sup>
6.- 38807	18880	4000	164.43 M <sup>3</sup>
		$\bar{x}_T = 175.06 \pm 7.547 (4.3\%)$	

## OBSERVACIONES

En la serie de datos que se exponen sobre un mismo volumen, tenemos que los 4 primeros datos tienen una desviación mínima y que los 2 últimos poseen una desviación bastante fuerte, esto se debe a que - en estos 2 últimos se cambió intencionalmente la geometría de detección para hacer notar lo importante de mantener la misma geometría durante toda la medición.

Las mediciones fueron hechas con 2 equipos electrónicos correspondiendo los 3 primeros resultados al equipo No. 1 y los restantes - al equipo No. 2.



#### IV .- RADIOTRAZADORES AFINES Y LIQUIDOS POSIBLES DE MEDIR

Las características que deben de reunir los radiotrazadores para un determinado trabajo son las siguientes:

- 1.- Disponibilidad
- 2.- Costo
- 3.- Tipo de energía emitida
- 4.- Vida media
- 5.- Afinidad con el sistema a estudiar.

Estos criterios sirven de base para poder elegir los radiotrazadores apropiados para el trabajo aquí desarrollado así como los líquidos en que pueden ser utilizados.

En la Tabla No. 8 se tienen algunas características de los radioisótopos utilizados y otros que también nos pueden servir.

#### Líquidos posibles de medir

Dentro de los líquidos medibles tenemos en primer lugar al agua que es utilizada aquí en todas las pruebas y para otras soluciones -- acuosas en forma inorgánica, se tendría que hacer diferentes pruebas de solubilidad (mezclado uniforme) de los radiotrazadores disponibles para evaluar su factibilidad. En lo que respecta a soluciones orgánicas se cuenta con bromobenceno y trioleína y se podrán medir líquidos donde estos sean solubles.

TABLA No. - 8

CARACTERISTICAS DE RADIOTRAZADORES

Radiotopo utilizada	Forma Química.	Forma Física.	Vida media	Tipo de radiación utilizada	Energía (Mev)	( $\Gamma$ ) Constante † específico rad. Gamma	Disponibil en México	Producción Nacional	Costo (\$/mCi ††)
$^{82}\text{Br}$	$\text{NH}_4\text{Br}$	solución acuosa	35.5 hr.	Gamma	0.322(6), 0.375(24) 0.520(74), 0.279(22) 0.245(100)	14.6	si	si	2000
$^{82}\text{Br}$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$	líquido	"	Gamma	"	"	"	"	2000
$^{131}\text{I}$	$\text{NaI}$	solución acuosa	8.3 d.	Gamma	0.72(3), 0.64(3), 0.28(5) 0.36(60+1% IC, 0.08(2+4% IC).	2.2	"	no	140
$^{131}\text{I}$	Trioleína	líquido	"	Gamma	"	"	"	"	140
$^{113m}\text{In}$	$\text{InCl}_3$	solución acuosa	104 m.	Gamma	0.255(2%) 0.393(67+33% IC)	1.7	"	no	400
$^{60}\text{Co}$	Co-EDTA	"	5.2 a.	Gamma	1.332(100) 1.173(100)	13.2	no	no	—
$^{24}\text{Na}$	$\text{NaHCO}_3$	"	15 hr	Gamma	2.57(100) 1.37(100)	18.4	si	si	2000
$^{99m}\text{Tc}$	$\text{TcO}_4^-$	"	6 hr.	Gamma	0.142(1), 0.14(99+1% IC) 0.002(0%+99% IC)	—	si	no	1000

\* -  $\Gamma = R - \text{cm}^2/\text{hr-mCi}$

†† - Disminuye con el no. de mCi

## V.- SEGURIDAD RADIOLOGICA EN LA MEDICION

Todas las sustancias radiactivas y las radiaciones son potencialmente peligrosas. Si estas sustancias se encuentran fuera del organismo, pueden dar lugar a lo que se llama irradiación externa del personal y, si se encuentran en el interior, a la irradiación de ciertos órganos. Por lo tanto, la higiene radiofísica trata de la forma en que se lleva a cabo el manejo de sustancias radiactivas o de otros tipos de fuentes de radiación, sobre los métodos necesarios para la prevención y el control de estos riesgos.

Las radiaciones producen diferentes efectos al interactuar con la materia, estos pueden ser de tipo físico, biológico o químico. Los efectos biológicos que producen las radiaciones se deben al parecer a la ionización que éstos producen en los átomos del tejido con el cual interaccionan.

La dosis máxima que una persona ocupacionalmente expuesta puede recibir es de 2.5 mRem/h en cuerpo total y 15 veces más a las manos, en 8 horas diarias y semana de 5 días, lo que equivaldría a recibir 5 Rems/año. La persona que reciba una dosis alta en un tiempo corto deberá permanecer alejada del trabajo con material radiactivo hasta completar el tiempo necesario.

En cualquier tipo de trabajo que se lleve a cabo con material radiactivo, deberán observarse entre otras, las siguientes indicaciones:

1.- Se trabajará con las actividades y energías del radioisótopo más bajas posibles.

2.- Se portarán dosímetros de torax y anillos como mínimo, además de guantes y bata.

3.- Se tendrá a la mano un monitor

4.- Se cuidará de no sobrepasar las dosis permisibles establecidas por los organismos de seguridad mundial.

Cada tipo de radiaciones requiere de tener cuidados específicos y conocer sus alcances o poder de interacción con la materia.

Radiación alfa.- No representa mucho en una fuente externa, pero sí en una fuente dentro del organismo, debido a su penetrabilidad.

Radiación beta.- Aunque puede detenerse fácilmente su penetración, es más grande que el de la radiación alfa.

Radiación Gamma.- Es la más penetrante de las tres y ofrece mayor peligro, en fuentes fuera del cuerpo, pero es menos peligrosa en fuentes ingeridas.

Los factores utilizados como medida de protección para las radiaciones son:

- 1.- Distancia
- 2.- Blindaje
- 3.- Tiempo de exposición

#### MEDIDAS DE SEGURIDAD A DIFERENTES ESCALAS

Los riesgos de exposición a las radiaciones durante las mediciones a escala piloto y laboratorio podrían considerarse como mínimos, ya que la actividad manejada es mínima, la exposición a esta actividad se puede resolver por distancia a dicha fuente que es una de las medidas de protección contra la radiación.

Para el manejo de material radiactivo a estas escalas se tienen que seguir las medidas de seguridad:

- 1.- Utilizar bata y dosímetro, además de guantes de hule para que en caso necesario, las manos no se contaminen.
- 2.- El lugar de trabajo debe evitarse que se contamine, utilizando para ello una cubierta para poner todo el material utilizado.
- 3.- El material de vidrio utilizado así como frascos, toallas de papel, después de utilizarse deben de dejarse en un lugar previamente determinado para su descontaminación o contar con un lugar para desechos radiactivos.
- 4.- Contar siempre con un monitor para rastrear posibles lugares contaminados por material.
- 5.- Enviar siempre los desechos radiactivos al departamento correspondiente para su adecuada eliminación.

En cuanto a la medición a escala industrial, se utilizará una actividad que estará en función del volumen a medir y teniendo cuidado de no sobrepasar los límites máximos permisibles.

El equipo de inyección de radiotrazadores semiautomático evita la exposición a las radiaciones protegiéndose por distancia.

Por ser un equipo semiautomático se tienen que hacer algunas manipulaciones para la colocación del radioisótopo así como inyección del mismo. Manipulaciones que son mínimas en su tiempo de exposición.

## VI.- ANALISIS ECONOMICO

El costo de la técnica estará en función de la lejanía del centro de operación y se necesitaría dos días para efectuar el trabajo, - mas el tiempo de traslado.

### GASTOS CONSIDERADOS

#### Materia prima:

##### Radioisótopo

<sup>131</sup> I --30 mCi	\$ 140/mCi	\$ 4,200
---------------------------	------------	----------

#### Servicios personales:

1 Profesionista	1150/día	2,500
1 Técnico	765/día	1,530
1 Chofer	520/día	1,040

#### Viáticos:

3 personas	645/día-hombre	3,780
------------	----------------	-------

#### Gastos indirectos:

(Depreciación de equipo y mobiliario 10% de gastos directos)	717
--	-----

Prima de ayuda a la investigación (15% gastos totales)	2,065
--	-------

<b>COSTO TOTAL:</b>	<b>\$ 15,832</b>
---------------------	------------------

Al costo total de la técnica hay que agregar la transportación - del personal y equipo que estará en función de la lejanía del sitio a - estudiar con respecto al Centro Nuclear.

## VII.- CONCLUSIONES

La técnica de dilución isotópica es un método para la medición de volumen por medio de técnicas nucleares, más no la única solución a un problema de medición de tal.

Una de las ventajas de esta técnica es su sencillez en la operación, además de que el equipo utilizado no es muy sofisticado y en el ININ se cuenta con ellos.

Otra ventaja es la precisión cuya magnitud es función de la forma de manejo del material radiotrazador.

Entre sus desventajas podemos anotar que no es un método de medición continua. Otra es que en mediciones de volúmenes demasiado grandes se debe de esperar un tiempo considerable para hacer el mezclado correcto del radiotrazador, que nos retrasaría en el caso de que ese volumen se quisiera utilizar de inmediato.

Esta técnica es recomendable sólo en el caso de que no se pueda utilizar otro método, ya que para diferentes mediciones hay poca disponibilidad de radioisótopos, además que el costo de la técnica se elevaría en razón al lugar de medición, costo que es recuperable en el caso de que el líquido medido fuera de alto valor y requiera de una buena precisión en su calibración, para ser utilizado sin desperdicio.

## RECOMENDACIONES

Para un trabajo a escala industrial es conveniente seguir algunas indicaciones que nos permitirían efectuar una buena medición, teniendo desviaciones mínimas en el resultado final.

- 1.- Cuando se tienen actividades muy altas, aunque pueden ser registradas, hay un margen de error debido al tiempo muerto del equipo, por lo que a la muestra de alicuota inyectada, hacerle una dilución previa para luego ser contada, pues la concentración del radioisótopo aquí es generalmente muy alta.
- 2.- Conservar la geometría de detección constante
- 3.- Utilizar de preferencia el mismo equipo de detección durante una medición.
- 4.- El material y equipo utilizado debe estar libre de contaminaciones previas por material radiactivo.



VIII.-

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

- 1).- GARDNER AND ELY "RADIOISOTOPE MEASUREMENT  
APPLICATION IN ENGINEERING"  
REINHOLD DUBLISHING CORPORATION USA 1967
- 2).- BRODA AND SCHONFELD "THE TECHNICAL APPLICATION OF  
RADIOACTIVITY"  
ED. PERGA MON PRESS. GERMANY 1966
- 3).- G. RODRIGUEZ A. "ALGUNAS APLICACIONES DE LOS RADIOTRA-  
ZADORES A PROCESOS INDUSTRIALES"  
TESIS 1973, ITRV.
- 4).- P. ESTRADA, G. RODRIGUEZ A.  
"MEDICION DE CAUDALES MEDIANTE RADIOTRAZADORES"  
REPORTE 1979-1980 ININ.
- 5).- MANUAL DE COSTOS ININ 1980.
- 6).- SPIEGEL, "ESTADISTICA"  
SERIE SCHAUM.  
Mc GRAW - HILL

