

Universidad Ricardo Palma

FACULTAD DE INGENIERIA



Dinamica de Aguas Subterranas

**Determinación de Velocidad Horizontal y Dirección
de Flujo con Trazadores Isotópicos**

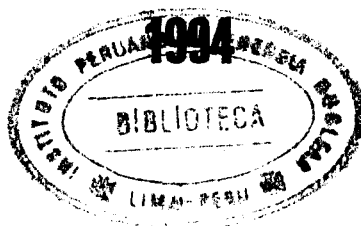
TESIS

Para optar el Título Profesional de :

INGENIERO CIVIL

Primo Julián Vásquez Collantes

Lima - Perú



DEDICATORIAS

- * A mis padres agricultores por temperamento, por placer y por constitución, enamorados de su tierra madre, aislados en sus campos, vigilando ellos mismos sus cosechas, llenaron poco a poco sus corazones del amor a la tierra y a sus hijos.

A mis hermanos y en especial a **Victor**, **Mary**, **Yolanda** y a mi cuñada **Juana**. Quienes me brindaron su apoyo incondicional.

** A la tierna poesía,
concentrado en el pequeño y
diminuto cuerpo de JULIAN
GUSTAVO ADOLFO; gestor
principal de la presente obra.

AGRADECIMIENTOS

- Al CONCYTEC por el apoyo económico para realizar el presente proyecto de investigación.

- Al INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR por brindarme sus instalaciones para realizar mis ensayos y por permitir mi estancia como Tesista.

- A los Ingenieros:
 - RUBÉN ROJAS M.
 - CARLOS SEBASTIAN C.
 - GUIDO ARROYO
 - JOSÉ MAGUINA L.

Por haberme guiado de manera muy amable y profesional; poniendo a disposición sus altos conocimientos científicos; al servicio del presente proyecto.

Mi agradecimiento al Ing. Cesar
Gonzales L. por sus recomendaciones
y asesoramiento de la presente
Tesis.

PROLOGO

Los isótopos tanto radiactivos como estables se han convertido en una herramienta de trabajo para los hidrólogos de muchos países y es muy común el uso de técnicas isotópicas en muchos campos de la ciencia y la técnica. Sin embargo nuestro país permanece hasta ahora profano en el desarrollo de estas técnicas. Es por esta razón que he decidido unirme al esfuerzo del INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR, por hacer conocer los beneficios que ofrece la aplicación de la tecnología nuclear en el campo de la hidrología subterránea y desterrar de alguna manera el miedo subjetivo que se tiene en hacer uso de la tecnología nuclear. ENERGÍA NUCLEAR, RADIATIVIDAD no son sinónimos de desastre muerte y desgracia, si estos son utilizados racionalmente, al contrario es la solución al problema de déficit de energía, soluciones a problemas muy complejos de ingeniería, medicina, etc.

En esta primera parte trato de explicar lo más detalladamente posible la metodología y la obtención de resultados a fin de que esto le sirva a otros profesionales como punto de partida para el desarrollo de otras investigaciones o aplicaciones.

DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN
DE FLUJO CON RADIOTRAZADORES

TITULO

DETERMINATION OF VELOCITY AND DIRECTION OF GROUND
WATER FLOW BY MEANS OF RADIOTRACERS

RESUMEN

La técnica se basa en la inyección de un radiotrazador en un pozo y la posterior observación del cambio de concentración de él en el sistema. La rápida o lenta desaparición del trazador indica velocidades altas o bajas respectivamente, las cuales pueden evaluarse en forma cuantitativa. El cambio de posesión del trazador con el tiempo, indica la dirección de flujo subterráneo que lo arrastra en solución.

Para realizar dicha investigación se ha dividido el trabajo en dos partes principales, primero el trabajo de laboratorio y el segundo trabajo de aguas subterráneas.

INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

I.1.-	OBJETIVOS	1
I.2.-	GENERALIDADES	1
I.2.1.-	Conceptos.	1
I.2.1.1.-	Componentes nucleares.	
I.2.1.2.-	Definición de nucleídos.	3
I.2.1.3.-	Definición de isótopos.	4
I.2.1.4.-	Isótopos estables y radiactivos.	4
I.2.1.5.-	Radiactividad artificial y natural.	5
I.2.1.6.-	Período de semi- desintegración.	8
I.2.1.7.-	Vida media.	8
I.2.1.8.-	Unidad de actividad.	9
I.2.1.9.-	Relación entre actividad y masa.	10
I.2.1.10.-	Integración de la radiación con la materia.	11

I.3 TRAZADORES

I.3.1.-	Trazador.	15
I.3.2.-	Definición de trazador ideal.	15
I.3.3.-	Trazador no isótopico.	19
I.3.4.-	Trazador isótopico.	21

CAPITULO II

INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

II.1.-	INTRODUCCION	50
II.2.-	CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS.	51
II.2.1.-	Porosidad.	52
II.2.2.-	Permeabilidad.	53
II.2.3.-	Transmisibilidad.	54
II.2.4.-	Producción específica y Retención específica.	55
II.2.5.-	Coefficiente de almacenamiento	56
II.3.-	MOVIMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	57
II.4.-	VELOCIDAD DE DESCARGA, VELOCIDAD DE FILTRACIÓN Y VELOCIDAD REAL.	61
II.5.-	MOVIMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CERCA DE POZOS.	63

II.6.-	COEFICIENTE DE PERTURBACIÓN DINÁMICA	64
--------	--------------------------------------	----

CAPITULO III

MÉTODOS

III.1.-	INTRODUCCIÓN.	67
III.2.-	TRAZADORES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS.	69
III.3.-	VELOCIDAD HORIZONTAL.	71
III.3.1.-	Método del tiempo de tránsito.	72
III.3.2.-	Método de dilución.	73
III.3.2.1.-	Principio básico	73
III.3.2.2.-	Técnicas experimen- tales.	78
III.3.2.3.-	Descripción de la técnica.	80
III.3.2.4.-	Causas de error y limitaciones.	82
III.3.3.-	Métodos de bombeo	84
III.3.3.1.-	Principio Básico.	84
III.4.-	Dirección de Flujo	88
III.4.1.-	Introducción	88
III.4.2.-	Principio del Método de transporte de dilución	89
III.4.3.-	Técnicas de Medición	89

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES GENERALES DE SEGURIDAD Y MANEJO DE FUENTES RADIATIVAS.

IV.1.-	INTRODUCCIÓN.	92
IV.2.-	CRITERIOS BÁSICOS PARA LA APLICACIÓN.	96
IV.3.-	SISTEMA DE LIMITACIONES DE DOSIS.	98
IV.4.-	CONTROL REGLAMENTARIO.	99
IV.5.-	CONSIDERACIONES GENERALES DE SEGURIDAD.	102
IV.6.-	SEGURIDAD PARA EL PÚBLICO.	103
IV.7.-	SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES.	104
IV.8.-	SEGURIDAD EN TRANSPORTE.	105
IV.8.1.-	Transporte del trazador al punto de realización.	106
IV.8.2.-	Transporte de muestras	106
IV.8.3.-	Transporte de equipo experimental contaminado hasta el laboratorio.	106
IV.8.4.-	Seguridad en situaciones de emergencia.	107

CAPITULO V

V.1.-	INTRODUCCIÓN.	109
V.2.-	CRITERIOS BÁSICOS PARA LA APLICACIÓN.	109
V.2.1.-	Velocidad horizontal	110
V.2.2.-	Dirección y sentido de flujo.	111
V.3.-	SELECCION DE TRAZADOR NO ISOTOPICO	111
V.4.-	SELECCION DE METODO	112
V.4.1.-	Velocidad	112'
V.2.2.-	Dirección y sentido de flujo.	111
V.5.-	PROTECCION RADIOLOGICA	113
V.5.1.-	Aspectos generales	113
V.5.2.-	Clasificación de los riesgos radiologicos.	113
V.5.3.-	Protección contra la radiación interna, prevención y descontaminación.	113
V.5.4.-	Reglas prácticas para evitar la contaminación.	118
V.5.5.-	La descontaminación	119
V.5.6.-	Protección contra la irradiación	

	externa	122
V.5.7.-	Cálculo de blindajes	128
V.5.8.-	Administración de la protección radiologica	131
V.5.9.-	Consideraciones de Seguridad	134
V.2.2.-	Dirección y sentido de flujo.	111

CAPITULO IV

IV.1.-	HIPOTESIS.	136
VI.2.-	PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACION	137
VI.3.-	ENSAYOS DE LABORATORIO.	137
VI.3.1.-	Objetivos	137
VI.4.-	ENSAYOS DE LABORATORIO.	137
VI.4.1.-	Prueba de ataque	138
VI.4.2.-	Prueba de adsorción.	140
VI.4.3.-	Pruebas en el simulador resultados y conclusión	151
VI.5.-	CALIBRACION DE EQUIPOS.	185
VI.6.-	PRUEBA DE VELOCIDAD.	187
VI.6.1.-	Objetivos	187
VI.6.2.-	Equipos y materiales	187
VI.6.3.-	Determinación de la velocidad	

	con rodamina	188
VI.6.4.-	Determinación de la velocidad	
	con I-131	189
VI.6.5.-	Conclusiones	192
VI.6.5.-	Recomendaciones	193
VI.7.-	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PREVIAS	
	A LA APLICACION DE CAMPO	194
VI.7.1.-	Introducción.	194
VI.7.2.-	Estimación de la actividad	
	a utilizar.	194
VI.7.3.-	Cálculo del tiempo máximo de	
	exposición	196
VI.7.4.-	Cálculo de blindajes	199
VI.8.-	PRUEBA DE CAMPO.	202
VI.8.1.-	Introducción	203
VI.8.2.-	Datos generales del lugar	
	de aplicación	203
VI.8.3.-	Campo de investigación	205
	VI.8.3.1.- Introducción.	205
	VI.8.3.2.- Velocidad Horizontal	206
	VI.8.3.3.- Dirección y sentido	
	de flujo.	211
	VI.8.3.4.- Conclusiones y	
	Recomendaciones	214
VII.-	BIBLIOGRAFIA	219

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

I.1. OBJETIVO.-

Efectuar un análisis de las posibilidades de desarrollar un método alternativo poco conocido en nuestro país; para la determinación de los parámetros hidrodinámicos de un acuífero tales como VELOCIDAD HORIZONTAL, DIRECCION Y SENTIDO DE FLUJO haciendo uso de trazadores radiactivos (HIDROLOGÍA ISOTOPICA).

I.2 GENERALIDADES

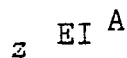
I.2.1 CONCEPTOS

I.2.1.1 COMPONENTES NUCLEARES

El átomo está formado por electrones y núcleos; RUTHERFORD descubrió estos últimos. Los núcleos, cuyos radios típicamente son del orden de 10^{-12} a 10^{-13} cm. (en comparación con 10^8 cm. para el radio atómico), no son entidades elementales. Reducidos al volumen nuclear están confinados los componentes nucleares, que

consisten en protones y neutrones, y que en conjunto se conocen como nucleones. El protón y el neutrón tienen casi la misma masa el primero lleva una carga eléctrica positiva mientras que el neutrón es eléctricamente neutro. En consecuencia, un átomo neutro contiene el mismo número de protones y electrones. Un núcleo se puede identificar especificando el símbolo químico del elemento así como el número de protones Z y el número total de neutrones A .

Se utiliza para los núcleos la notación.



Donde:

Z Número Atómico, se define como el número de protones existentes en el núcleo, es una característica química de cada elemento; y en el átomo eléctricamente neutro su valor es igual al número de electrones orbitales existentes.

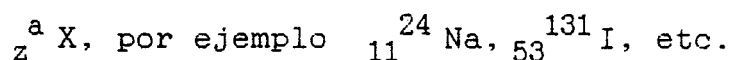
A Número de Masa, indica la suma de neutrones y protones existentes en el núcleo.

EI Símbolo químico del elemento

I.2.1.2. DEFINICIÓN DE NUCLIDO

Cada núcleo atómico queda caracterizado por el número de neutrones y protones que posee, cualquier variación en unos de estos dos significa un cambio de especie atómica caracterizado por contener un número de neutrones y protones, así como una misma energía de enlace de estas partículas.

La representación de los núcleos se hace de la forma siguiente:



X Símbolo químico.

La diferencia $A - Z$ es el número de neutrones existentes. Sin embargo, puesto que cada elemento químico se caracteriza por que todos sus átomos tienen en su núcleo un mismo y definido número de protones, el valor de Z va implícito en el símbolo químico. Por esta razón se utiliza, más frecuentemente la fórmula abreviada de representación, A_Z . Basta escribir ${}^{131}\text{I}$, para saber que el número atómico o número de protones ha de ser 53, por que de lo contrario, no se trataría del elemento yodo. Otra forma muy usada para representar a un núclido es escribiendo su nombre completo por ejm: cobalto 60, estroncio 90, americio

241, etc.

I.2.1.3. DEFINICIÓN DE ISÓTOPO

Se llaman isótopos a todos aquellos núclidos que tienen un mismo valor de Z pero distintos de A , es decir el mismo número de protones y distinto el de neutrones. Por ejemplo todos los átomos de yodo tienen en su núcleo 53 protones ($Z=53$) pero el número de neutrones ($N=A-Z$) puede ser distinto. Así para el yodo 128, $N=75$, para el yodo 126, $N=76$, etc. Todos estos núclidos son isótopo de yodo y a todos le corresponde un mismo lugar en el sistema periódico (ISÓTOPO viene del griego ISO = igual, mismo, TOPOS= lugar). Los distintos isótopos de un elemento varían en la masa del núcleo. Sin embargo como el número de protones es idéntico también lo será su configuración electrónica y por tanto, sus propiedades químicas. En cambio las propiedades que radican en el núcleo son distintas.

I.2.1.4 ISOTOPOS ESTABLES Y RADIATIVOS

El número de núclidos que se conoce de todos los elementos asciende a más de 1,300. Pero sólo una parte de ellos (274 corresponde a 81 elementos) permanecen en la naturaleza sin alterarse durante largos períodos de tiempo. A estos núclidos se les llama estables.

Los isótopos de uranio, radio, torio, polonio, etc. no son estables, a pesar de encontrarse en la naturaleza debido a que se transforman en núclidos de otros elementos mediante la emisión de radiaciones. La velocidad de transformación puede ser medida por el hombre. Lo mismo sucede a otros muchos isótopos que se producen artificialmente. Los isótopos que se comportan de esta manera reciben el nombre de isótopos radiactivos o radioisótopos. Son fuerzas de enlace del núcleo son en definitiva, las responsables de la estabilidad o radiactividad de los núclidos.

I.2.1.5 RADIATIVIDAD ARTIFICIAL Y NATURAL

Dentro de los isótopos radiactivos hay algunos que se encuentran en la naturaleza y se llaman isótopos radiactivos naturales. Los restantes tienen que producirse artificialmente por irradiación de núclidos estables con partículas atómicas en los reactores nucleares o aceleradores de partículas (ciclotrón, acelerador de Van der Graaf etc.). En dicha irradiación se consigue modificar la configuración de los núcleos estables en lo que se refiere al número de neutrones, al número de protones sólo al nivel energético dando lugar a isótopos radiactivos artificiales.

En la actualidad se conocen unos 1,030

radioisótopos, de los cuales sólo unos 60 son naturales. Estos últimos con número de masa mayor de 209 y número atómico mayor de 83. El ^{40}K y TRITIO (^3H) son radioisótopos naturales muy interesantes para ciertos estudios de hidrología.

I.2.1.5.1 TIPOS DE RADIACIÓN

Tres principales tipos de radiación pueden ser emitidos durante el proceso de decaimiento radiactivo:

a) **ALPHA (α).**- Núcleo de helio cargado positivamente fácilmente absorbido por unos cuantos centímetros de aire, donde se produce ionización intensa.

b) **BETA (β).**- La masa de la partícula beta es igual que la del electrón. Su carga eléctrica puede ser de una unidad elemental negativa (negatrón) o positiva (positrón).

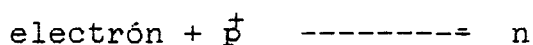
La emisión de las partículas β negativa se presentan en núclidos estables del mismo elemento. La emisión de positrones se presenta en núclidos con número de neutrones que los núclidos estables del mismo elemento.

Las partículas β pueden atravesar capas de aire de

varios metros de espesor, dependiendo de su energía. En el agua su penetración es en el orden de milímetros.

c) **GAMMA** (γ).--Los rayos gamma no tienen masa ni carga eléctrica. Se trata de fotones o cuantos de energía del mismo tipo que los rayos X, rayos ultravioleta etc.

La emisión de rayos gamma es un fenómeno que tiene lugar como consecuencia de la emisión de partículas alpha y beta y de la desintegración por captura electrónica, consiste en lo siguiente. Muchos núclidos estables del mismo elemento se desintegran por este proceso; un electrón generalmente de la capa K es captada por el núcleo dando lugar al proceso:



De esta forma se compensa, así mismo el defecto de neutrones. El hueco que ha quedado en la capa K, se rellena con un electrón más externo y, como consecuencia, se emite el rayo X característico del elemento.

En estas formas de desintegración sucede siempre que el núclido hijo resultante se encuentra excitado, es decir, con un contenido de energía en el núcleo

mayor que el correspondiente a su estado fundamental o normal. El paso de un estado a otro se realiza mediante la emisión de un rayo gamma. En esta emisión no se modifican los valores de Z y A, sino sólo el nivel energético del núcleo.

I.2.1.6 PERÍODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN

El período de semidesintegración se define ($t_{1/2}$) como el tiempo necesario para que la actividad A_t sea la mitad de la actividad inicial A_0 . Por tanto, se tiene:

$$\frac{A_0}{A_t} = 2e^{-\lambda t_{1/2}} \quad \text{y} \quad \ln 2 = -\lambda t_{1/2}$$

Expresión que relaciona la constante de desintegración con el período de semidesintegración.

I.2.1.7 VIDA MEDIA

No debe confundirse el concepto de vida media con el período de semidesintegración. La vida media (T) es, como indica su nombre, el valor medio del tiempo que tardan en desintegrarse los diferentes átomos radiactivos. Como es fácil demostrar, la vida media

equivale a la inversa de la constante de desintegración, es decir:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}$$

Al cabo de un tiempo igual a T, la actividad de una muestra se reduce a la fracción 1/e de su valor inicial.

I.2.1.8 UNIDAD DE ACTIVIDAD

La unidad de actividad es el CURIO (Ci). Se define como la actividad de una muestra en la que se desintegran $3,7 \times 10^{10}$ átomos por segundo. Como submúltiplos se emplean el milicurio (mCi) y el microcurio (μ Ci)

$$1\text{Ci} = 10^3 \text{ mCi} = 10^6 \mu\text{Ci}$$

A la actividad existente en una muestra referida a la unidad de peso o volumen del material donde se encuentra el radioisótopo se la denomina actividad específica (μ Ci/litro, μ Ci/gr., etc).

I.2.1.9 RELACIÓN ENTRE ACTIVIDAD Y MASA

El peso en gramos que se necesita de un radio isótopo para tener una actividad de 1Curio puede deducirse, fácilmente a partir de la ecuación fundamental de la radiactividad, para ello, escribiremos dicha ecuación en la forma:

$$A = \frac{0.693}{t_{1/2}} N; \text{...de...donde...} N = A \frac{t_{1/2}}{0.693}$$

A = desintegraciones/segundo

Si se tiene en cuenta que 1 átomo-gramo, H, de cualquier elemento o núclido hay $6,02 \times 10^{23}$ átomos (número de Avogadro), el peso de un solo átomo será $H/6,02 \times 10^{23}$ y el de los N átomos:

$$P = \frac{A t_{1/2} H}{0.693 * 6.02 * 10^{23}} \text{.....gramos}$$

Así por ejemplo, para I^{131} , en el que $t_{1/2} = 8.06$ días y H es, aproximadamente, igual a 131, resulta que un Curio equivale a $8,09 \times 10^{-3}$ gr.

Cuanto mayor es el período de semidesintegración, tanto menor es la probabilidad de desintegración de los átomos siendo preciso un mayor número de ellos para tener la actividad de 1 Curio

I.2.1.10 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA

En esta parte vamos a exponer los principales fenómenos de interacción que tienen lugar entre las radiaciones, tanto corpusculares como electromagnéticas, y la materia que encuentran a su paso.

La radiación emitida por los radionucleidos entran en colisión con los átomos del medio que atraviesan originando en ellos una serie de modificaciones, a la vez que ellas se producirán otros efectos que dan lugar, en definitiva, a una variación de energía y eventualmente a un cambio en sus direcciones de desplazamiento. En cada colisión la radiación, por una parte cede energía a la materia y, por otra parte, ésta sufre modificaciones al absorber dicha energía. Las colisiones pueden tener lugar con los núcleos atómicos o con los electrones orbitales, siendo diferente en ambos casos los fenómenos derivados de la interacción. Es obvio que las interacciones dependen de la energía de las radiaciones y de la

naturaleza de la materia.

Hay que distinguir entre los fenómenos que producen las partículas alfa y beta y los debido a la radiación gamma, ya que las primeras se diferencian de los rayos gamma en que tienen masa y carga eléctrica.

a) IONIZACION

Cuando una partícula cargada atravieza un medio ambiental cualquiera, puede entrar en colisión con los electrones atómicos de este, perdiendo en el choque una parte se su energía.

Esta energía la reciben dichos electrones, y si no de ellos recibe una cantidad de energía mayor a la que mantiene unido, saldrá despedida, quedando el átomo con una carga positiva es decir, convertido en un ion positivo. Este fenómeno recibe el nombre de ionización, y la energía necesaria para que tenga lugar la expulsión de un electrón se llama energía de ionización.

En cada ionización se producen, pues, dos iones el electrón liberado de carga negativa y el átomo de carga positiva. Muchos de los electrones expulsados del átomo tienen energía suficiente para, a su vez, producir

nuevos pares de iones, es decir para liberar electrones de otros átomos a esta nueva ionización se le llama ionización secundaria.

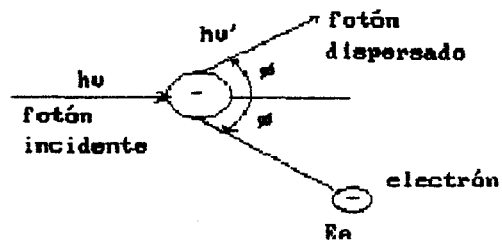
b) **EXCITACION**

Cuando la energía transmitida al electrón de un átomo es insuficiente para que pueda escapar del mismo, el electrón pasará a ocupar el nivel superior de energía pasando a una orbita más alejada del núcleo. Esta transmisión de energía se conoce con el nombre de excitación. El electrón excitado tiende a volver a ocupar su posición primitiva emitiéndose la diferencia de energía entre el estado excitado y el inicial, fundamental en forma de radiación electromagnética.

c) **EFEECTO FOTORLECTRICO**

El efecto fotoeléctrico es el fenómeno de interacción más probable para fotones de energía comprendida entre varios Mev y 0.1Mev. Este proceso de interacción, el fotón comunica toda su energía, de una sola vez, a una electrón de una orbita interna del átomo. Si la energía del foton es $h\nu$, y la energía que mantiene ligado al electrón en us orbita es E_e , este es expulsado del átomo con una energía igual a $h\nu - E_e$. Se comprende que este tipo de interacción exige que la

energía del fotón sea



mayor que la de enlace del electrón, es decir $h\nu > E_e$. Al electrón expulsado se le denomina FOTOLECTRON. El hueco dejado por este se rellena con un electrón más externo emitiéndose el correspondiente rayo X característico. El efecto fotoeléctrico predomina con materiales de elevado número atómico y fotones de baja energía.

d) EFECTO COMPTON

El efecto compton se produce por interacción de los fotones con electrones de órbitas externas, es decir, con electrones poco ligados al átomo. El electrón sale expulsado del átomo con una determinada energía cinética.

El efecto compton predomina con fotones de energía intermedias y por tener lugar con electrones poco ligados al átomo, es independiente del número atómico

del elemento con el que se produce la interacción.

I.3 TRAZADORES

I.3.1 TRAZADOR

Con el nombre de trazador se designa en general, a cualquier producto que incorporado en la masa de una sustancia, permite investigar el comportamiento de ésta en un determinado proceso físico o químico. Nosotros nos referimos a trazadores utilizados para investigar el movimiento del agua. El uso de trazadores en hidrología es muy antiguo. Se han utilizado tipos muy diversos de trazadores unas veces, adicionados expresamente al agua por el hombre, y otros aprovechando determinadas sustancias incorporadas en estas como consecuencia de procesos naturales o de vertidos accidentales.

I.3.2 DEFINICION DEL TRAZADOR IDEAL

Un trazador ideal para usos hidrológicos debería cumplir los siguientes condiciones:

- 1) El comportamiento del trazador en el medio que se va a investigar debe ser idéntico al agua, es decir, el trazador y el agua deben desplazarse a

la misma velocidad (fidelidad del marcado). Esta condición exige, a su vez, las siguientes:

- a) El trazador no debe experimentar con el agua reacciones químicas que puedan interferir en su identificación posterior.
 - b) No debe reaccionar químicamente con los materiales del medio.
 - c) No debe ser adsorbido por los materiales sólidos del medio.
 - d) En el caso de trazadores iónicos, no deben producirse fenómenos de intercambio con los átomos del mismo tipo existentes en el medio.
 - e) La cantidad de trazador a utilizar para una experiencia no debe modificar de forma significativa, la densidad, viscosidad o temperatura del agua a fin de que no se produzcan alteraciones en el flujo natural.
 - f) Los fenómenos de dispersión y difusión del trazador deben ser iguales a los correspondientes a la moléculas de agua.
- 2) Si se trata de un trazador que debe ser adicionado expresamente en el agua; esta no debe contener nada del mismo o solo una concentración tan baja que no interfiera en los resultados.
 - 3) Si se aprovecha como trazador una sustancia existente en el agua como consecuencia de un

proceso natural o accidental ajeno al hidrólogo, su concentración no deberá modificarse durante el fenómeno en estudio por interacción con los materiales solidos del medio.

- 4) Debe ser fácilmente soluble en el agua.
- 5) Permitir factores de dilución muy elevados es decir, con una cantidad de trazador razonablemente, pequeña, han de poder marcarse volúmenes muy grandes de agua.
- 6) En muchos casos, es condición importante que le trazador necesario pueda medirse in situ es decir sin que sea necesario llevar a cabo toma de muestras. El equipo de medida debe ser robusto, barato y de reducidos dimensiones.
- 7) No debe contaminarse el medio durante largos períodos de tiempo, a fin de que no interfieran con otras experiencias futuras.
- 8) Debe ser de bajo costo, de fácil manipulación e inocuo para los seres vivos.

No existe un trazador que cumpla a la perfección todas estas condiciones, pero unos se acercan a ella más que otra. Debido a la gran diversidad de problemas para los que se utilizan trazadores, no es posible seleccionar un trazador universal que se adapte, satisfactoriamente a todos ellos. En líneas generales, se pueden distinguir dos situaciones distintas, según

que se trate de aguas superficiales o aguas subterráneas. En el primer caso, las condiciones exigidas al trazador son más suaves, debido al escaso contacto existente entre el agua y los materiales sólidos del medio a las facilidades existentes para las tomas de muestras y, en algunos casos, a las velocidades tan elevadas de los flujos y, por tanto, a la corta duración de los ensayos. Son numerosos los trazadores isotópicos y no isotópicos, que dan buenos resultados con aguas superficiales.

En cambio, cuando se trata de aguas subterráneas que circulan a través de medios porosos siguiendo trayectorias tortuosas, las condiciones exigidas al trazador son muy severas. Ello es motivado por las siguientes razones:

- a) La posibilidad de retención del trazador por los materiales sólidos del medio es muy elevado, debido por una parte, al íntimo contacto del agua con estos materiales y, por otra, a la lentitud de los flujos existentes.
- b) Los cambios motivados en la velocidad del agua por la desigual distribución del tamaño de los poros y de las fuerzas de rozamiento en el interior de los mismos ocasionan una dispersión longitudinal y transversal del trazador, que no coincide,

exactamente con la experimentada con las moléculas de agua. Ello ocasiona diferencias en el transporte de ambos productos, que pueden llegar a ser significativas cuando el flujo de agua es pequeño.

- c) Diferencias de transporte se ocasionan también como consecuencia de la difusión molecular y osmótica del trazador.

I.3.3 TRAZADORES NO ISOTOPICOS

Dentro de los trazadores no isotópicos más utilizados, podemos diferenciar dos tipos distintos:

- a) Trazadores denominados químicos.- tales como, cloruro sódico, fenoles, ácido bórico, detergentes, etc.
- b) Colorantes.- entre los que cabe citar la flouresceina, dicromato potásico, rodamina B, eosina, rojo del Congo, azul de metileno, anilina y algunos otros. Todos ellos presentan el inconveniente, sobre todo cuando se trata de investigaciones subterráneas, de provocar contaminaciones duraderas. La única forma que tiene el trazador de salir del medio es a través de las corrientes de agua. En realidad sólo los trazadores radiactivos son auto extingüibles.

Dentro de grupos de trazadores químicos, es el ion cloruro el que ofrece mayor interés. Su retención por los materiales sólidos es prácticamente inexistente, por lo que en este sentido, constituye un trazador ideal. Su determinación analítica en muestras de agua es simple y, por otra parte puede medirse in situ por técnicas conductimétricas. Presenta en cambio el inconveniente de encontrarse siempre en el agua; debido a lo cual es fácil llegar a resultados erróneos. Cuando su concentración natural es algo elevada, se precisa añadir grandes cantidades de trazador, alterándose considerablemente la densidad del agua, con el consiguiente riesgo de formación de flujos anómalos.

Dentro de los colorantes, el dicromato potásico se utiliza con cierta frecuencia para aforar corrientes superficiales. Mediante la técnica calorimétrica basada en la reacción con la difenil-carbocida, pueden determinarse concentraciones de dicromato del orden de 2×10^{-3} ppm (mg/lt)². Presenta el riesgo de ser reducido, parcialmente, a cromo trivalente por las sustancias reductoras del agua. La flouresceina es el colorante más usado. A simple vista pueden detectarse concentraciones de 0,1 ppm y, con un FLOUROMETRO, hasta menos de 2×10^{-3} ppm². Tiene el inconveniente de descomponerse con cierta facilidad por la acción de las arcillas, materia orgánica y óxido de hierro.

En general, los colorantes tienen una acción muy limitada cuando se trata de aguas subterráneas. No pueden medirse in situ e interaccionan fácilmente con los materiales sólidos del medio. Por otra parte, su limitada solubilidad en el agua obligaría, en muchos casos a tener que utilizar grandes volúmenes de solución trazadora.

I.3.4 TRAZADORES ISOTOPICOS

Pueden clasificarse en cuatro grupos

- a) Trazadores radiactivos artificiales
- b) Trazadores activables
- c) Trazadores radiactivos naturales
- d) Isótopos estables.

A. TRAZADORES RADIATIVOS ARTIFICIALES

Son radioisótopos obtenidos en forma artificial generalmente por medio de un reactor nuclear y que se detectan en el agua a través de las radiaciones que emiten. De los cientos de isótopos radiactivos existentes sólo unos pocos son aptos para su uso en hidrología.

Además de las características ya mencionadas, válidas para cualquier trazador los radioisótopos deben

cumplir requisitos referentes al tipo de radiación emitida y al período de semidesintegración.

En general es conveniente efectuar ensayos en laboratorio antes de decidirse a usar tal o cual trazador. El único que puede usarse sin ningún tipo de pruebas es el tritio (^3H) isótopo del hidrógeno y por lo tanto constitutivo del agua natural reuniendo así las propiedades del trazador ideal. Sin embargo su uso está limitado, ya que por ser un isótopo ambiental, es utilizado en datación y estudio de tipos de agua y cualquier inyección artificial del mismo alteraría las características naturales del acuífero con lo cual los resultados de dichos estudios carecerían de validez. Otro inconveniente del tritio es la dificultad que representa para su detección la que debe ser hecha en laboratorio y con equipo costoso.

A.1 ENSAYOS EN LABORATORIO

Los resultados de las pruebas de laboratorio deben tomarse con precaución dado que pueden diferir en mucho con respecto a los reales óptimos en el terreno. Por lo general estas pruebas tienen un valor comparativo permitiendo relacionar el comportamiento de un trazador frente a una misma probeta muestra del estrato o sedimento por

el cual escurrirá el trazador.

A.2 PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION

El semiperíodo debe ser compatible con el tiempo que media entre la producción del radioisótopo y la finalización de la experiencia incluyéndose entre estos dos instantes una serie de operaciones que se detallaran a continuación.

Como primer paso debe obtenerse el trazador, el cual se produce, por lo general, por medio de un reactor nuclear mediante el proceso de irradiación, esto es sometido a algún elemento estable, convenientemente seleccionado, a un flujo neutrónico.

Como consecuencia de este proceso pueden producirse otros radionucleidos no deseados de periodo corto debiendo aguardarse entonces algún tiempo para que estos radioelementos decaigan a valores despreciables de actividad.

Luego es necesario, a veces, efectuar algún proceso químico para separar el trazador y llevarlo a alguna forma apta para la experiencia a desarrollar. Normalmente también deben realizarse una o más diluciones hasta obtener un volumen.

Según el tipo de aplicación puede seguir una operación de marcado (por ejemplo en estudios de movimiento de sedimentos es necesario marcar el material natural con el radioisótopo); o bien pasar directamente a la inyección.

Finalmente también deben considerarse los tiempo de traslado hasta el lugar de trabajo y de duración de la experiencia propiamente dicha. Este último puede evaluarse a partir de consideraciones Teórico - Prácticas. Por ejemplo podría aplicarse la Ley de DARCY a partir de valores estimados de permeabilidad del terreno.

Como ya se mencionó el período del trazador debe ser lo suficientemente largo como para cubrir todas estas fases, sin embargo tampoco conviene tomar nucleídos de períodos excesivamente extenso por que la contaminación del medio durará mucho tiempo invalidando experiencias futuras y pudiendo crear problemas del tipo radiosanitarrio.

A.3 DETECCION

Otro punto a considerar es el tipo de radiación emitida y el sistema de detección empleado.

Los emisores α no se utilizan debido a las dificultades para su detección. En cuanto a los emisores β de alta energía tales como el ^3H el ^{14}C y ^{35}S solo pueden medirse con instrumental especial de laboratorio (detección por centelleo líquido. En cambio los emisores β de alta energía tales como el ^{32}P pueden ser detectados "in situ" y con instrumental de bajo costo (GEIGER - MULLER).

Finalmente los emisores γ son los más utilizados debido a que pueden ser detectados con gran facilidad y elevada eficacia.

Los detectores G.M. son muy utilizados debido a su robustez mecánica y a su disponibilidad en diversas situaciones. Además entregan un pulso de salida de gran amplitud, resultando fácil construir sondas con varios tubos conectados en paralelo. Sus inconvenientes son, baja eficiencia e incapacidad para discriminar energías.

Los detectores de centelleo tienen la gran ventaja de poseer muy alta eficiencia permitiendo además discriminar energías con lo cual podrían realizarse experiencias con varios trazadores en forma simultánea.

Cualquiera sea el método y el dispositivo empleado para detectar, es preciso considerar la sensibilidad de medición, es decir la capacidad para determinar pequeños valores de actividad diferenciándolos del fondo. En este sentido es adecuado el empleo de dos parámetros denominados concentración mínima detectable y concentración mínima medible.

El primero determina la mínima cantidad de trazador necesaria para que el detector pueda diferenciarlo del fondo natural indicando su presencia pero sin cuantificarlo con exactitud suficiente.

Para este caso se considera que la actividad medida debe ser como mínimo doble que la desviación estandar de esa mínima medición cuando se necesitan resultados cuantitativos la actividad medida debe ser por lo menos diez veces la desviación estandar. La cantidad de trazador para este caso determina el valor de la concentración mínima medible.

A partir de las condiciones impuestas se deducen las siguientes expresiones matemáticas

$$C.M.D = \frac{2.8}{F} \sqrt{\frac{nf}{t}} \dots (\text{condicion} \dots n=20n)$$

$$C.M.D = \frac{14}{F} \sqrt{\frac{nf}{t}} \dots (\text{condicion} \dots n=100n)$$

Siendo:

n = Actividad medida neta (c/s)

nf = Actividad de fondo (c/s)

t = Tiempo de medición

F = Factor de calibración del detector
(c/s/ $\mu\text{ci}/\text{m}^3$).

Las concentraciones estarán dadas en $\mu\text{ci}/\text{m}^3$.
En cuanto al factor de calibración del detector.

A.4 DETECTORES DE RADIACION

Los efectos de la interacción de las radiaciones con la materia puede ser utilizados para medir y cuantificar algún parámetro de una fuente radiactiva, generalmente su actividad.

Ahora bien son pocos los instrumentos que miden actividades absolutas por lo cual se trabaja casi siempre con actividades relativas o

actividades medidas tal que:

$$A_m = c A$$

Siendo C la eficiencia del sistema de medición empleado. La eficiencia que depende del tipo de detector, del nucleído a medir y de la geometría empleada (posiciones relativas de fuente y detector), relaciona las actividades reales y medida.

Si se determina experimentalmente el valor de la eficiencia para ciertas condiciones de medición y determinado isótopo, pueden luego hacerse mediciones absolutas del mismo isótopo en iguales condiciones.

Cuando el detector empleado entrega pulsos, éstos son contados por un sistema electrónico durante un tiempo dado y, en este caso, la actividad medida se expresa en cuentas/minuto o cuentas/segundo y la eficiencia se miden en cuentas/desintegración siendo inferior a la unidad.

En el siguiente cuadro se sintetizan los tipos más comunes de detectores indicando para qué

tipo de radiación son más aptos. La clasificación está hecha en base al estado del medio en que se produce la interacción

TIPO DE DETECTOR	TIPO DE RADIACION
<p>INTERACCIÓN EN GASES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cámara de ionización - Geiger - Muller - Contadores proporcionales - Tubos de F_3B - Tubos de 3He 	<p>α, β energías medias</p> <p>β energías altas, γ</p> <p>α, β</p> <p>Neutrones térmicos</p> <p>Neutrones térmicos y epitérmicos</p>
<p>INTERACCION EN SOLIDOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detectores de centelleo - Detectores semiconductores 	<p>I, Na (Tl) (γ energías altas)</p> <p>F, Ca (Eu) (γ energías bajas)</p> <p>I, Li (Eu) (neutrones térmicos)</p> <p>Ge-Li (γ energías altas)</p> <p>Si-Li (γ energías bajas)</p>
<p>INTERACCION EN LIQUIDOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detección por centelleo líquido. 	<p>(β energías bajas)</p>

En este estudio se analizarán en particular los detectores de radiación γ y neutrones dado que son los que revisten más importancia desde el punto de vista de los trazadores radiactivos y del perfilaje de pozos.

A.5 DETECTORES DE RADIACIÓN GAMMA

Tanto las cámaras de ionización como los contadores proporcionales son capaces de detectar presencia de rayos γ ; sin embargo, estos elementos son empleados preferentemente para la medición de partículas cargadas en aplicaciones de laboratorio.

Los detectores más aptos para trabajos de campaña son los tubos Geiger Muller y los cristales de centelleo, los cuales serán descritos con más detalle en los puntos siguientes.

En cambio, los detectores de semiconductores requieren una infraestructura especial y por ello son destinados a aplicaciones de laboratorio en las que es necesario efectuar espectrometría con elevada resolución (por ejemplo, análisis por activación neutrónica).

A.6 DETECTORES GEIGER MULLER

En la figura 1 se muestra el diagrama de conexiones de un tubo Geiger y su circuito asociado. El mismo consiste en un cilindro lleno

de gas con un electrodo exterior (cátodo) que va al polo negativo. El gas de llenado puede ser un gas inerte aunque modernamente se prefieren los halógenos. En el primer caso se trabaja con tensiones del orden de los 800 V a 900 V y en los últimos entre 350 V y 450 V.

La forma de operar es la siguiente: cuando una partícula β o un fotón γ ingresan en el volumen sensible del tubo puede ionizar uno a más átomos del mismo. Los iones así formados viajarán hacia los electrodos atraídos por el campo eléctrico produciendo ionizaciones secundarias durante su desplazamiento. El diseño del tubo es tal que un sólo par de iones primario es capaz de ionizar todo el gas. La cantidad de iones recolectados por los electrodos, y la corriente circulante por el circuito externo, es función de la tensión aplicada, llegándose a un valor de ésta en que todos los iones son recogidos haciéndose máxima la corriente de salida y manteniéndose constante e independiente de la tensión aplicada. Para elevadas diferencias de potencial se producirán arcos eléctricos a través del tubo y la corriente de salida crecerá rápidamente pudiendo destruirse el tubo. La figura 2 representa

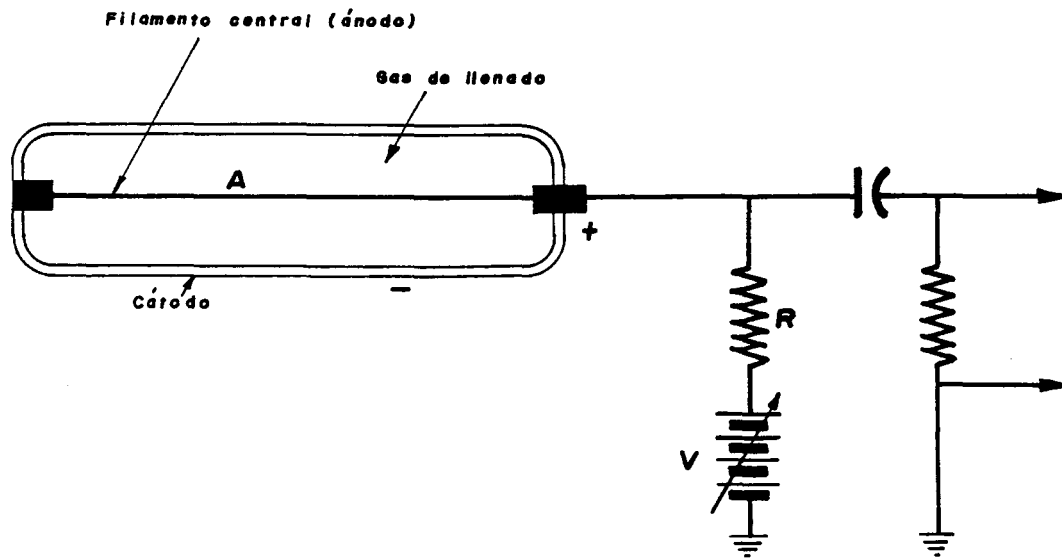


FIG-1 Esquema del funcionamiento del detector Geiger Müller o proporcional

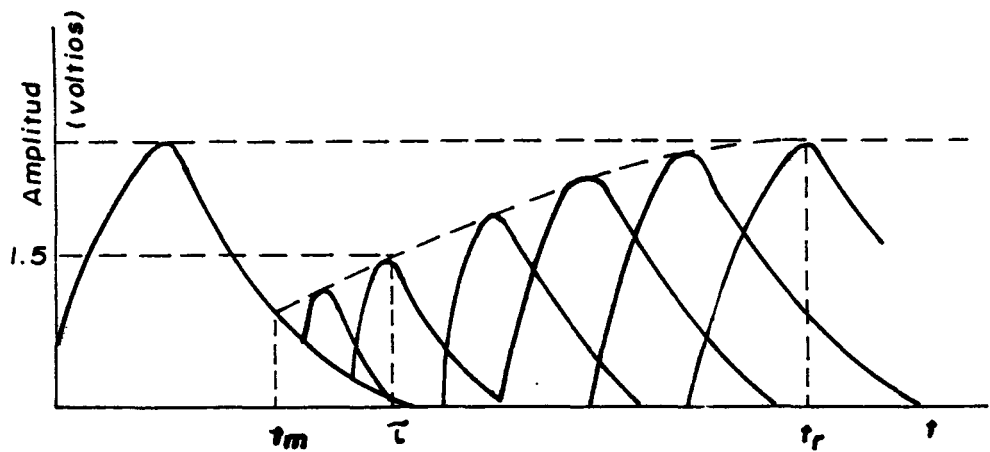


FIG-2 Impulsos de un contador Geiger: t_m =tiempo muerto; t_r =tiempo de recuperación del contador; tiempo muerto del sistema - detector

gráficamente la curva característica de un tubo G.M.

Con referencia a la figura 2 se observa que la corriente entregada por el tubo circulará por el resistor R, por la fuente de tensión y por el propio tubo. Como consecuencia, el punto A, que en reposo se hallaba a un potencial V, varía rápidamente en sentido negativo a causa de la caída de tensión en R. Este flanco es transferido al amplificador por medio del capacitor C, el cual posteriormente se descargará exponencialmente con una constante del tiempo RC.

El pulso de salida será entonces exponencial, según se observa en la figura, negativo y de amplitud fija e independiente de la radiación incidente, pero la frecuencia de repetición será proporcional a la actividad a medir.

Si un fotón incide sobre el tubo en el instante en que el gas se encuentra ionizado, no podrá ser detectado perdiéndose así parte de la información. Este efecto es, evidentemente, más pronunciado cuanto más altas sean las actividades con que se trabaje. Por lo tanto debe mediar un tiempo mínimo entre dos sucesos consecutivos para

que sean tomados como eventos independientes. Este lapso, consecutivo como "tiempo muerto", es uno de los parámetros característicos del detector y constituye una limitación para la medición de fuentes muy activas.

Los tubos Geiger son muy aptos para medir emisores β puros, tal como el fósforo - 32 (^{32}P) pero en cambio son poco eficientes para radiación γ (1% al 3% de eficiencia).

A.7 DETECTORES DE CENTELLEO

Existen ciertos materiales que tienen la propiedad de emitir luz visible o ultravioleta cuando la radiación interacciona con ellos. Este efecto se denomina centelleo y el material que lo produce, centellador.

Para la detección de radiación γ se utilizan extensamente los cristales de ioduro de sodio activados con talio, I Na (Tl). Normalmente son cilíndricos con diámetros que van desde 0,5 a 3 pulgadas y alturas de .,25 a 2 pulgadas para aplicaciones normales aunque se fabrican cristales mayores para ciertos usos especiales.

Cuando un fotón ingresa en el cristal puede interaccionar con los átomos del mismo. Si sufre efecto fotoeléctrico toda su energía es transferida al cristal, sucediendo lo mismo si interacciona por efecto Compton y luego por fotoeléctrico. En cambio si escapa del cristal después de interaccionar sólo entrega a éste parte de su energía (figura 3). En la formación de pares la energía absorbida dependerá de las interacciones que realicen el electrón y el positrón como así también los rayos γ de aniquilamiento.

Los electrones devolverán su exceso energético al cristal emitiendo radiaciones de longitud de onda visible. El número de fotones emitidos es función lineal de la energía en exceso.

Los cristales suelen estar cubiertos en su superficie lateral y en una de sus caras por una funda de aluminio mientras que la restante está adosada a un fotomultiplicador. Este elemento, esquematizado en la figura 4, es una válvula electrónica que transforma los fotones producidos por el cristal en impulsos eléctricos.

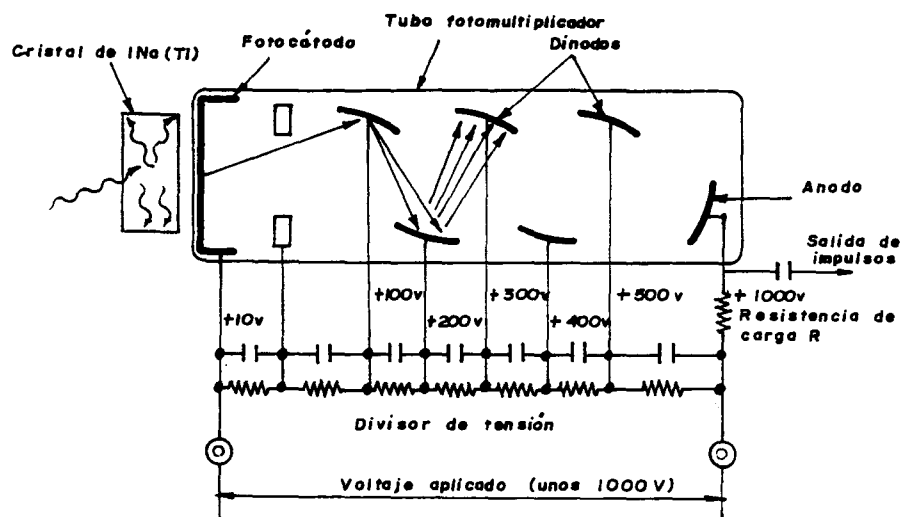


FIG 3

Esquema de un detector de centelleo

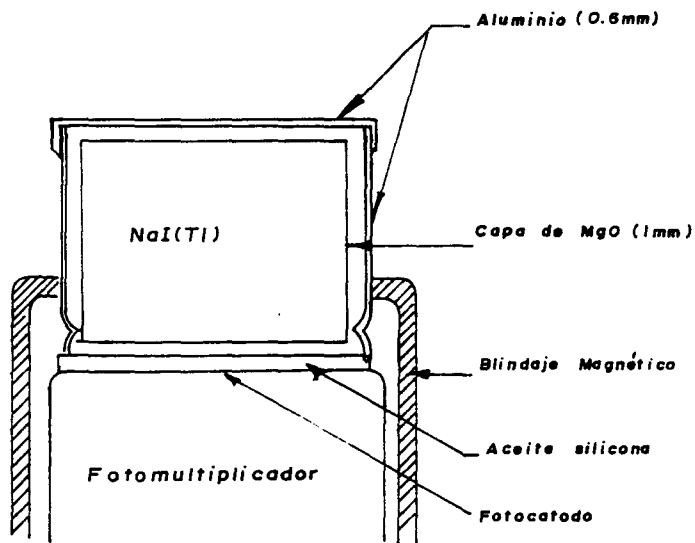


FIG 4

Acoplo de un cristal de NaI(Tl) a un fotomultiplicador

El fotomultiplicador consta de un cátodo fotosensible, un conjunto de plaquetas llamadas dínodos y un ánodo, estando el conjunto encerrado en una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío.

Para su operación normal el ánodo se conecta a una fuente de alta tensión (700 V a 900 V), los dínodos a potenciales decreciente logrados por medio del divisor de tensión integrado por los resistores R_1 a R_8 , y el cátodo a masa (cero volt).

Al incidir los fotones sobre el fotocátodos, éste emite electrones, los cuales son atraídos y acelerados por el primer dínodo. Al chocar contra éste se produce un efecto de emisión secundaria mediante el cual cada electrón primario desprende del dínodo al menos dos electrones. Estos a su vez son acelerados por el potencial más positivo del segundo dínodo repitiéndose el proceso. Finalmente el ánodo recibe un número considerable de electrones que depende del potencial aplicado y del número de dínodos (hasta catorce), produciendo una corriente que a su vez se transformará en un pulso según lo visto en el punto anterior. La amplitud del pulso es directamente proporcional a

la energía de la radiación γ incidente.

De lo dicho surge que la principal ventaja de los cristales de centelleo es su capacidad de discriminar energías lo cual permite identificar radioisótopos por medio de algún instrumento electrónico apropiado (espectrómetro). A esto se suma la elevada eficiencia que poseen (valor típico 40% para un cristal de $1\frac{1}{2}$ x 2 pulgadas y radiación de 500 KeV) para detección de radiación γ .

A.8 CALIBRACIÓN DEL DETECTOR

Si se sumerge un detector en un medio isótropo y homogéneo con una actividad específica conocida ($\mu\text{Ci}/\text{m}^3$) puede determinarse en forma teórica la cantidad de energía absorbida por el detector y en base a ésta la relación entre actividad medida y la concentración de actividad del medio.

La constante de calibración así obtenida resulta ser función de los coeficientes de atenuación del medio y el detector de las dimensiones y eficiencia de éste y del isótopo a

medir. Además depende del volumen de la esfera, con centro en el detector que se considere. Ahora bien a partir de un cierto radio el sistema se comportará como un volumen infinito resultando la energía tomada por el detector casi independiente de cualquier aumento posterior de ese radio (X). Esto se logra cuando se cumple que $\mu_0 x > 5$ siendo μ_0 el coeficiente lineal de atenuación del medio (en general agua) en que se encuentra el detector.

En forma práctica puede determinarse la constante de calibración introduciendo el detector en un recipiente de dimensiones mayores que la esfera de radio infinito y midiendo en un instrumento electrónico con condiciones de actividad C obteniéndose una lectura de actividad A_m , el factor de calibración F estará dado por:

$$F = \frac{A_m}{C} \left[\frac{c/s}{uc_i/m^3} \right]$$

En general, para disminuir errores es conveniente tomar para la calibración una alícuota de la actividad que se empleará en la experiencia de manera que la actividad medida en ambos casos sea del mismo orden de magnitud.

A.9 TRAZADORES DE EMPLEO MAS FRECUENTE

A continuación se mencionarán algunos radioisótopos cuyas características los hacen aptos para ser empleados como trazadores en hidrología.

- TRITIO (^3H).-Se lo suele usar como agua tritiada. Es un emisor β puro de baja energía (20 Kev) con un período de 12,4 años sigue perfectamente el movimiento del agua pero según se mencionó, su uso está algo restringido para no interferir con investigaciones posteriores de datación de agua. Tiene las ventajas de ser barato, fácilmente adquirible y poco tóxico; además es de fácil almacenamiento (no requiere grandes blindajes).

- CROMO-51 (^{51}Cr).- Es empleado como una sal o como complejo orgánico Cr-EDTA (cromo-etilendiaminotetracitico). Desintegra por captura electrónica emitiendo radiación γ de 0,32 Mev. No existe en el agua natural y, si el complejo está bien preparado es poco retenido. Es muy apto para aguas subterráneas y su período de 27.8 días lo hacen adecuado para la mayoría de experiencias.

- IODO-131 (^{131}I).- Es empleado como INa o IK con esas sustancias como portador. Es emisor β (energías de 0.61 Mev y 0.8 Mev) y γ (energías de 0.36 Mev y 0.64 Mev). No existe en el agua natural y es retenido escasamente por el terreno salvo en aquellos muy arcillosos. Los diferentes estados de oxidación que presenta constituyen un inconveniente si existen agentes oxidantes en el medio en especial en aguas ácidas por ello es conveniente Además del portador agregar tio sulfato . Su período de 8 días lo hace apto para experiencias de menos de 30 días de duración. Es de fácil transporte.

- BROMO 82 (^{82}Br).- Es empleado como BrNH_4 . Es emisor de β (energía 0.45 Mev) y τ (energía de 0.55 Mev y 1.47 Mev). No existe en el agua natural y es muy poco retenido por el terreno, salvo medios arcillosos (aunque esta caso es menos que el IODO). Es muy apropiado para aguas subterráneas aunque su corto período (36 hr) limita su empleo. Tiene el inconveniente de requerir pesados blindajes para su transporte.

- COBALTO 60 (^{60}Co).- Se lo emplea como $\text{K}_3(\text{CN})_6\text{Co}$. Es emisor β (energía 0,32 Mev) y γ

(energía 1,17 Mev y 1,33 Mev). Tiene un buen comportamiento en aguas subterráneas aunque es retenido en suelos arcillosos o silíceos. Su período de 5,2 años es un poco largo aunque bueno para largas experiencias. Requiere blindajes importantes que dificultan su manipulación. Para experiencias cortas puede usarse el ^{58}Co de similar comportamiento; emisor β y τ de 0.81 Mev y período de 71 días.

Finalmente pueden mencionarse los siguientes radioisótopos de frecuente uso en aguas superficiales y en experiencias cortas:

SODIO 24 (^{24}Na), CALCIO 45 (^{45}Ca), FOSFORO 32 (^{32}P), PLATA 110 (^{110}Ag) y ORO 198 (^{198}Au).

A.10 VENTAJAS Y LIMITACIONES

Las ventajas de los trazadores radiactivos son:

- 1) Posibilidades de detección aun en muy bajas concentraciones (alta sensibilidad).
- 2) Posibilidad de medición "in situ", con o sin contacto físico con el medio y sin interferencias de otros componentes del acuífero activos o inactivos.
- 3) Necesidad de poca cantidad de trazador con lo

cual se evita el manipuleo de grandes recipientes y se altera poco el medio en estudio.

4) Escasa contaminación del medio tanto del punto de vista radiológico como químico.

5) Posibilidad de marcar grandes volúmenes de agua.

6) El acuífero puede considerarse no contaminada luego de haber transcurrido varios períodos de semidesintegración. Obviamente esta ventaja se pierde cuando se trabaja con nucleídos de período largo.

Desventajas:

1) A veces el equipo de detección suele ser caro aunque actualmente se fabrican sistemas electrónicos portátiles, de bajo costo y de alta confiabilidad.

2) El manejo a veces puede ser complicado requiriendo personal especialmente entrenado y medidas de seguridad radiológica.

3) Es necesario disponer de un permiso para su uso otorgado por la autoridad competente.

4) A veces la disponibilidad es escasa. Por otra parte los nucleídos de período corto no puede almacenarse por largo tiempo.

B. TRAZADORES ACTIVABLES

En este caso se utiliza un compuesto químico no radiactivo pero que contiene algún elemento fácilmente detectable por análisis por activación.

El análisis por activación es una técnica de análisis químico elemental que permite la determinación y cuantificación de un elemento. Se basa en la producción y medida de la actividad inducida en una muestra mediante el bombardeo de la misma con neutrones provenientes de una fuente apropiada tal como un reactor nuclear. Los núcleos presentes en el blanco capturan neutrones, en mayor o menor medida, transformándose en inestables. A través de la medición de radiación emitida por esta muestra- ahora activa- pueden no solo identificarse sus elementos constitutivos sino también efectuar un análisis cuantitativo. La actividad inducida en la muestra depende de la masa de la misma de los elementos que la componen, del flujo neutrónico a la que es sometida y del tiempo de irradiación, siendo esta última la variable de control que permite regular la actividad a obtener. La expresión matemática general de activación es la siguiente.

$$A = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t})$$

Siendo:

A = Actividad productiva

N = Número de átomos del núcleo bombardeado (cm^2)
 = Constante de desintegración del nucleído a producir (h^{-1}).

t = Tiempo de irradiación (hrs)

ϕ = Flujo neutrónico ($\text{neut}/\text{cm}^2 \text{ s}$).

La medición de la muestra activada se efectúa por medio de espectrometría gamma realizada generalmente, con detectores de Ge-Li y analizadores multicanal. Ambos de elevado costo. Por este método pueden determinarse la mayoría de los elementos químicos en cantidades mínimas que varían entre los 10^5 gr. a 10^{12} gr.

Por lo tanto el empleo de trazadores activables requiere las siguientes etapas: primero el trazador debe llevarse a una forma química adecuada para que no sea absorbido por el medio, luego la experiencia propiamente dicha con sus operaciones extremas de inyección y extracción de muestras. Posteriormente la irradiación a la que sigue un proceso de separación radioquímica para luego realizar la medición como ya se indicó. Juntamente con la muestra se irradia un patrón de masa conocida y, dado que la actividad inducida es proporcional a la masa, pueden, por comparación

obtenerse resultados cuantitativos.

B.1 SELECCIÓN DEL TRAZADOR ACTIVABLE

Por su puesto debe llenar, en lo posible, las condiciones exigidas para un trazador ideal pero además reunir ciertas características que son propias de este método.

Son muy importantes las propiedades nucleares tales como abundancia isotópica del nucleido precursor y sección eficaz de captura neutrónica dado que la actividad producida es directamente proporcional a ambas. El período de semidesintegración debe ser lo suficientemente largo como para permitir efectuar todas las operaciones, necesarias entre los instantes de finalización de la irradiación y realización de la medición. La energía emitida es también importante siendo preferible los emisores γ de alta energía.

Como elementos utilizables de uso general pueden citarse los siguientes: BROMO-IODO, MANGANESO, INDIO, IRIDIO, ARSENICO, EUROPIO Y DISPROSIO.

B.2 ALGUNAS APLICACIONES

El empleo de trazadores activables resulta especialmente indicado para estudiar el movimiento de sedimentos y residuos sólidos. Mediante esta técnica investigadores italianos estudiaron el movimiento de arenas en la playa MONDELLO en Palermo, Sicilia utilizando PLATA como trazador. La posterior toma de muestras en diversos puntos y su medición permitió obtener una buena información sobre la dirección y velocidad del movimiento. Es de destacar que dado el peligro de contaminación en esa zona altamente poblada era importante el uso de un radioisótopo como trazador.

- También mediante el empleo de trazadores activables se ha determinado el punto de ubicación mas adecuada para el emplazamiento de la descarga de los residuos de la ciudad de NORUEGA DE TRONHEIM, utilizando indio para un estudio de transporte y difusión en vientos. Se tomaron muestras dentro de un radio de más de 20 Km. y se analizaron por activación neutrónica. En este caso dada, la cantidad de datos y el número de parámetros a evaluar la información debió procesarse por computadora.

B.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES

Como ventaja pueden citarse las siguientes:

- 1) Desaparición de los inconvenientes de la vida limitada (período de semidesintegración) del trazador para experiencias largas.
- 2) Precio reducido
- 3) Ausencia de riesgo radiológico para los usuarios del agua.
- 4) Facilidad de transporte no requiere blindajes
- 5) Facilidad de manipulación durante la inyección y toma de muestras.

Las desventajas son las siguientes.

- 1) Contaminación duradera del medio no pudiéndose repetir las experiencias con el mismo trazador.
- 2) Elevado costo de irradiación.
- 3) Necesidad de instrumental de elevada complejidad y alto precio.
- 4) Imposibilidad de medir "in situ".

C. TRAZADORES RADIATIVOS NATURALES

Todas las aguas existentes en la naturaleza llevan, o bien disueltas, o bien formando parte de su estructura molecular, sustancias radiactivas. Algunas de ellas pueden utilizarse como trazadores naturales.

Se pueden enumerar cuatro orígenes distintos de estos componentes del agua:

- 1) Miembros de tres cadenas radiactivas (^{235}U , ^{238}U y ^{232}Th) y los radioisótopos naturales ^{40}K y ^{87}Rb , existentes en la corteza terrestre pueden encontrarse en solución en las aguas bajo estudio.
- 2) Algunos isótopos que se producen en la alta atmósfera por la acción de la radiación cósmica sobre los gases allí existentes. Este tipo de radiación libera neutrones a un promedio de 2.6 neutrones/cm².s y estos a su vez reaccionan con el nitrógeno, oxígeno, carbono y gases nobles produciendo radioisótopos como el ^3H , ^{14}C , ^{10}Be y ^{26}Al entre los cuales se incorporan a las aguas a través de precipitaciones pluviales.
- 3) Moderadamente las explosiones nucleares han incorporados a la atmósfera gran cantidad de radionucleídos. Entre los que se cuentan productos de fusión del ^{235}U tales como el ^{90}Sr , el ^{137}Cs y el ^{144}Ce que no tienen gran importancia desde el punto de vista de los trazadores. En cambio si resultan considerables las grandes cantidades de ^3H y ^{14}C liberadas por las explosiones termonucleares a partir de 1952.
- 4) Por último puede considerarse la contaminación local de las aguas a través de la evacuación de

desechos radiactivos. En este caso su uso como trazadores resulta meramente accidental.

De estas cuatro fuentes de radioisótopos en las aguas naturales la más importante es la citada en segundo término dada la gran aplicación del tritio y del carbono 14 (ambos emisores β^- de baja energía) para estudios de origen de agua y datación. Estos temas no serán tratados en esta reseña.

D. ISOTOPOS ESTABLES

Si bien en este caso no se trata de elementos que son radiactivos en el momento de extracción de muestras (trazadores radiactivos artificiales ó naturales) o que se transformarán en radiactivos para ser detectados (trazadores activables), los isótopos estables del agua suelen ser considerados, tradicionalmente, en la misma categoría que aquellos.

La molécula de agua esta constituida en una enorme proporción (997.680 ppm) por $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ pero también existen, aunque con una abundancia muy baja, moléculas integradas con los isótopos naturales estables ^2H $^1\text{H}^{16}\text{O}$ hay un contenido de 320 ppm y para $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ de 2,000 ppm. Estas proporciones son valores promedio variando según los distintos orígenes de aguas. Las moléculas

que contienen oxígeno 18 y deuterio son ligeramente mas pesados que las normales y por lo tanto su desplazamiento a través del ciclo hidrológico resulta distinto produciendose el fraccionamiento de la tres.

Las concentraciones de oxígeno 18 y deuterio en una muestra de agua dependen de su historia anterior desde que salió del océano. En este comportamiento característico convierten a los isótopos estables del agua en excelentes trazadores numerosos problemas hidrológicos. Este punto tampoco será tratado aquí en más detalle.

CAPITULO II

INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

II.1 INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas constituyen parte del ciclo hidrológico y son aguas que por percolación se mantienen en movimiento a través de estratos geológicos capaces de contenerlas y permitir su circulación.

Se llaman acuíferos aquellas formaciones geológicas capaces de contener agua y de permitir su movimiento a través de sus poros, cumpliendo dos funciones importantes:
a) almacenar agua b) conducirla.

Este movimiento del agua a través de un acuífero no se realiza necesariamente en forma idéntica en toda su extensión, ya que ello es dependiente de las propiedades y características del acuífero. Esto conduce a considerar la isotropía o anitropía de los acuíferos.

Dependiendo de la presencia o ausencia de una masa de agua, los acuíferos se clasifican en libres o confinados.

ACUIFEROS LIBRES

Son aquellas formaciones en las cuales el nivel del agua esta confinada entre dos estratos impermeables y sometida a presiones mayores que la presión atmosférica.

La figura (5) muestra un corte esquemático de acuífero libres y confinados.

En los acuíferos libres los niveles de la masa de agua dependen principalmente de cambios de volumen de agua almacenada.

En los acuíferos confinados los cambios de elevación dependen primordialmente de cambios en la presión más que de los cambios de volúmenes almacenados.

La línea piezométrica de un acuífero confinado es una línea imaginaria que coincide con el nivel de la presión hidrostática. En el caso de acuíferos confinados cuya línea piezométrica está por encima del terreno se presentan los casos de pozos saltantes que brotan a la superficie.

II.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUIFEROS

La propiedad de los acuíferos de contener y conducir agua, está gobernada por varios factores; porosidad,

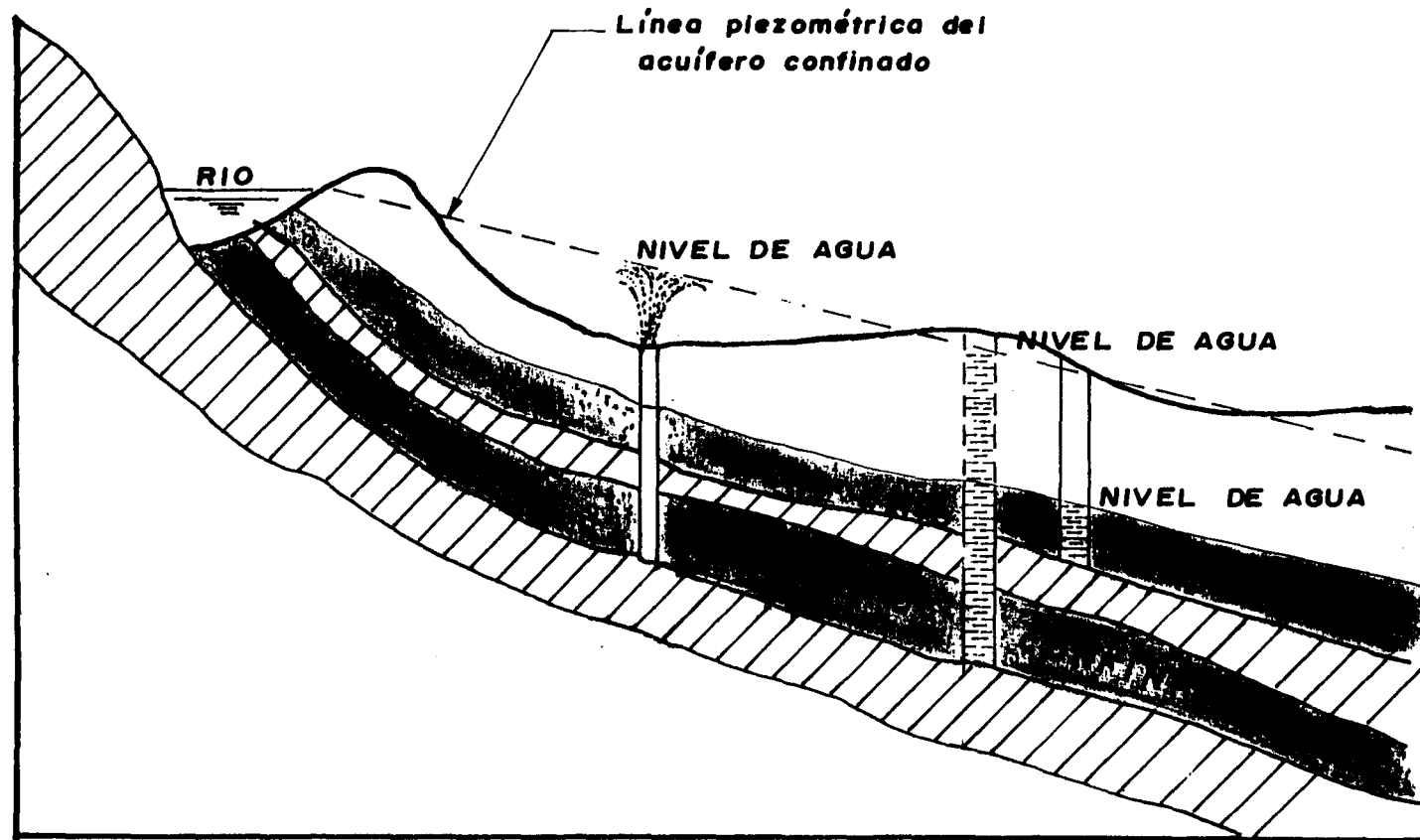


FIG-5 Corte esquemático de estratos acuíferos libre y confinado

permeabilidad, transmisibilidad, producción específica y coeficiente de almacenamiento.

El conocimiento de estas características permite hacer una evaluación de la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro de agotarlo:

II.2.1 POROSIDAD

Por lo general, las rocas no son completamente sólidas, sino que poseen gran cantidad de grietas o espacios intergranulares. El conjunto de estas aberturas o intersticios es lo que se llama porosidad.

Cuando estos poros están interconectados entre si existe la posibilidad de movimiento de agua. Esto nos indica que la porosidad por si sola no define la existencia de un acuífero; ya que se precisa además de la interconexión de los intersticios.

La porosidad es una medida del contenido de vacíos o intersticios y se expresa como un porcentaje del espacio vacío respecto al volumen total.

$$P = \frac{a}{V_t} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

P = porosidad

a = volumen de vacíos

Vt= volumen total.

La porosidad está afectada por los siguientes factores:

- a) Grado de compactación de material
- b) Forma y arreglo de las partículas
- c) Gradación de las partículas, pero es independiente del tamaño de las mismas.

La porosidad varía de 0 a 50 %, dependiendo de los factores mencionados.

II.2.2 PERMEABILIDAD

Un estrato geológico con cierto grado de porosidad; podrá contener eventualmente agua en su interior, pero si los espacios vacíos o intersticios no están interconectados; esta agua no circulará. Esta propiedad de las rocas de permitir o no el flujo de agua es lo que se llama permeabilidad.

Esta permeabilidad o libertad de movimiento del agua a través de un material poroso, depende de:

- a) tamaño de las partículas
- b) Forma de las partículas

- c) Gradación del material y
- d) Viscosidad.

Se define el coeficiente de permeabilidad o permeabilidad de un material, como el volumen de agua que pasa en la unidad de tiempo; a través de una sección de acuífero de área unitaria y en condiciones de temperatura de 60°F (15°C).

La permeabilidad tiene dimensiones de velocidad m/día o m³ / día / m².

II.2.3 TRANSMIBILIDAD

Es una medida de la capacidad del acuífero para conducir o transmitir agua y se define como el volumen de agua que pasa en la unidad de tiempo, a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario y a una temperatura de 60°F.

$$T = K \times m \dots\dots\dots(2)$$

donde:

T = Transmisibilidad

K = Permeabilidad

m = Espesor del acuífero

La transmisibilidad se expresa en m³ /día/m.

II.2.4 PRODUCCIÓN ESPECÍFICA Y RETENCIÓN ESPECÍFICA

Si llenamos un recipiente con un material poroso completamente seco y luego añadimos agua hasta saturar dicho material no será posible recuperar por medio de drenaje la cantidad total de agua añadida, ya que parte del agua quedará adherida al material granular por atracción molecular y tensión superficial.

El volumen de agua retenido dividido por el volumen total del material poroso y expresado como porcentaje, se llama retención específica

$$Re = \frac{a_1}{V_1} \times 100 \dots\dots(3)$$

Donde:

- a_1 = Volumen de agua retenida
- V_1 = Volumen total
- Re = Retención específica.

La retención específica es mayor en arenas finas que en gravas y arenas gruesas.

De la misma manera, producción específica es la cantidad o volumen de agua que puede ser extraído.

$$P_e = \frac{a_d}{V_1} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

Siendo:

a_d = Agua drenada

P_e = producción específica.

De lo anterior se deduce que la porosidad es la suma de la producción específica la retención específica.

$$P = P_e + R_e \dots\dots\dots(5)$$

II.2.5 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

El coeficiente de almacenamiento de un acuífero se define como el volumen de agua que es drenada por área unitaria, cuando la presión hidrostática desciende una unidad.

En el caso de acuíferos libres una disminución de 1 metro de presión equivale a un descenso unitario de la columna de agua; luego, coeficiente de almacenamiento y producción específica son iguales. En cambio en acuíferos confinados una disminución en la presión hidrostática se traduce en un aumento de presión en los estratos superiores sobre el acuífero.

Como consecuencia de ello, el agua se expande en pequeña cantidad y el acuífero se contrae por el peso de los estratos superiores sobre el acuífero. El cambio de volumen resultante es sumamente pequeño; de allí que los coeficientes de almacenamiento para este tipo de acuíferos son relativamente bajos.

II.3 MOVIMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El natural movimiento de aguas subterráneas es usualmente laminar. Una característica de flujo laminar es que la velocidad es proporcional a la gradiente hidráulica. La relación es conocida como la ley de DARCY. Fue DARCY quien investigó las características del flujo del agua a través de filtros formados precisamente por materiales terrosos, lo cual es particularmente afortunado para la aplicación de los resultados de la investigación a la mecánica de suelos.

Trabajando con dispositivos de diseño especial, esencialmente reproducidos en el esquema de la figura (6), DARCY encontró que para velocidades suficientemente pequeñas, el gasto queda expresado por:

$$Q = \frac{d_v}{d_t} - K A i \dots \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} \right) \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

A = Es el área total de la sección transversal del filtro.

i = gradiente hidráulico del flujo, medido con la expresión.

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L} \dots\dots\dots(7)$$

En cualquier punto del flujo la altura piezométrica h es la carga de la elevación Z del punto, más la carga de presión en dicho punto (p/γ_w). La carga de velocidad se desprecia en razón de la pequeñez de la velocidades que el agua tiene a través del medio poroso. La diferencia $h_1 - h_2$, representa la pérdida de energía sufrida por el flujo en el desplazamiento L ; esa energía perdida se transforma en calor. Hablando con mayor precisión, debería escribirse.

$$h = z + \int_{p_0}^p \frac{dp}{\gamma_w} \quad (8)$$

En donde γ_w es alguna función de la presión entre un valor inicial p_0 y el valor p , a la altura Z . Sin embargo no es grave ignorar la variación del peso específico respecto a la distribución de presión, considerando a γ_w constante.

Notesé que en la figura (6), por ejemplo, el agua fluye de un punto a menor presión a otro mayor y es que la carga hidráulica total es suma de los dos factores mencionados y no solo de la presión, es claro que en el flujo horizontal el gradiente de la presión sí será proporcional al gradiente hidráulico y el flujo tendrá que ocurrir en el sentido de las presiones descendentes.

La ecuación de continuidad del gasto establece que:

$$Q = Av \dots\dots\dots(9)$$

Siendo:

A = Area del conducto y

v = la velocidad del flujo.

Llevando esta expresión a la ecuación (6), se deduce que

$$v = ki \dots\dots\dots(10)$$

O sea, que en el intervalo en que la ley de darcy es aplicable, la velocidad del flujo es directamente proporcional al gradiente hidráulico; esto indica que, dentro del campo de aplicabilidad de la ley de DARCY, el flujo en el suelo es laminar. Darcy construyó sus filtros de arenas finas, generalmente, de lo cual se deduce que ya en

estos suelos el flujo del agua es laminar, por lo menos mientras las cargas hidráulicas no sean excesivas. En suelos mas finos (mezclas de limos o arcillas puras) el agua circula a velocidades aun menores, por lo que con mayor razón, el flujo también será laminar. De hecho las investigaciones realizadas a partir de la publicación de la ley de DARCY, indican que esa ley sólo es aplicable a suelos de partículas no muy gruesas, quedando, desde luego, excluidas las gravas limpias, cantos rodados etc.

En las ecuaciones anteriores, relacionadas con la ley de DARCY, aparece una constante física de proporcionalidad, k , llamado el coeficiente de permeabilidad del suelo. En cualquiera de esas ecuaciones y en especial en la 10, puede verse que sus unidades son las correspondientes a una velocidad (téngase en cuenta que i es un concepto adicional).

Esto se ha utilizado para definir en términos simples el coeficiente de permeabilidad de un suelo como la velocidad del agua a través del mismo, cuando está sujeta a un gradiente hidráulica unitaria ecuación (10). Es obvio que en el valor numérico de k se reflejan propiedades físicas del suelo y en cierta medida ese valor indica la mayor o menor facilidad con que el agua fluye a través del suelo, estando sujeto a un gradiente hidráulico dado. Esta facilidad a su vez depende de toda una serie de propiedades

físicas del suelo y también de algunos factores, tales como temperatura y otros.

II.4 VELOCIDAD DE DESCARGA, VELOCIDAD DE FILTRACIÓN Y VELOCIDAD REAL

Considérese un filtro de suelo figura (7), análogo al de la figura (6). Se representa al suelo dividido en esta situación el área disponible para el paso del agua en la ley de DARCY. Si el flujo es establecido, sin embargo, debe tenerse el mismo gasto en el tubo libre que en el suelo; por lo tanto, teniendo en cuenta la condición de continuidad, puede escribirse:

$$A_v v_1 = Av$$

por lo tanto

$$v_1 = \frac{A}{A_v} v \quad \dots\dots\dots(11)$$

considerando al filtro un espesor unitario normal al papel, se tiene:

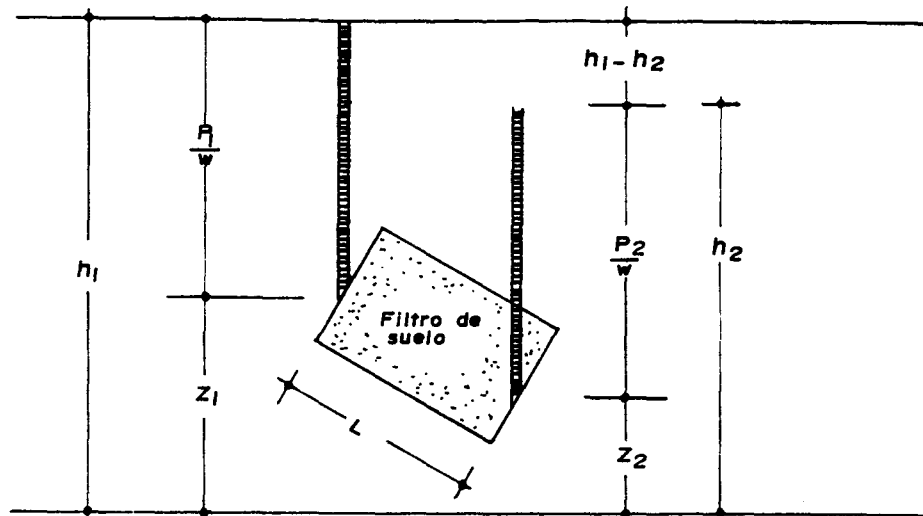


FIG-6 Esquema del dispositivo experimental de Darcy.

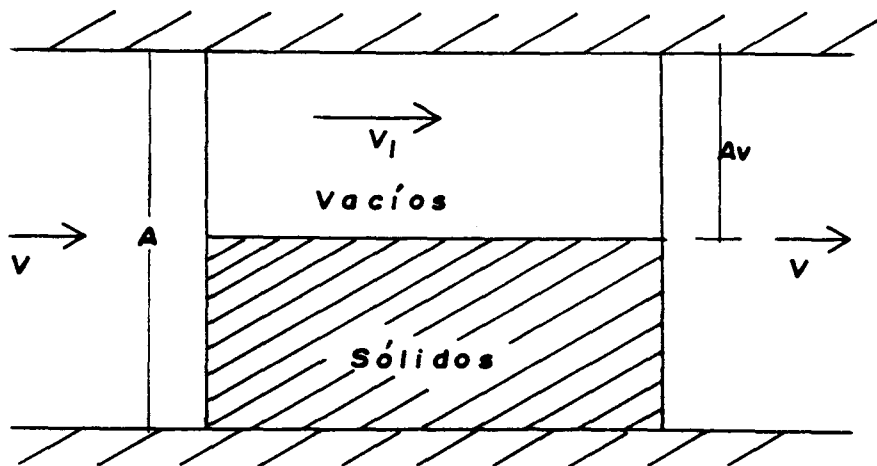


FIG-7 Esquema que ilustra la distinción entre la velocidad de descarga y de filtración

$$\frac{A}{A_v} = \frac{1}{n} = \frac{1+e}{e}$$

por lo tanto

$$v_1 = \frac{1+e}{e} v \quad \dots\dots\dots(12)$$

La velocidad v que se deduce directamente de la ley de DARCY, se llama velocidad de descarga o, simplemente, velocidad. La velocidad v_1 que toma en cuenta la existencia de una fase sólida impermeable, se llama velocidad de filtración y es la velocidad media de avance del agua en la dirección del flujo.

Sin embargo, en la obtención de la velocidad de filtración se supuso que el agua tenía una trayectoria recta al pasar a lo largo del filtro, por lo cual no representa la velocidad con la que el agua se está moviendo. El agua no recorre una longitud L al atravesar el suelo, sino una línea sinuosa o irregular de longitud L_m . Entonces si v_2 es la velocidad media real, podrá escribirse:

$$v_2 = v_1 \frac{L_m}{L} = \frac{1+eL_m}{L} v$$

Una velocidad media más real podría encontrarse solamente si se conocen las variaciones del área de los poros en cada canal.

II.5 MOVIMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CERCA DE POZOS

El más común acceso a un acuífero es un pozo o una red de pozos, el término pozo puede alcanzar a términos como barrenos contador de filtros, pozos de observación etc. Ello es asumiendo que el pozo es explotado con un tamiz cilíndrico y con paquetes de gravas y pases de la artesa del acuífero al lecho confinado. En orden a obtener movimiento de agua en arena libre la construcción del pozo tendrá las siguientes condiciones:

- 1) Perfecta elección de la grava.
- 2) Perfecta elección del tamiz del mismo modo la abertura de estas ranuras es ligeramente menor que la menor medida de la grava.

En un acuífero sin presión hidráulica el pozo causa una distorsión de las líneas paralelas del flujo original paterno. En las líneas horizontales de flujo de aguas subterráneas en el pozo es confinado por dos líneas de corriente del cual la separación de ambos es un múltiplo del diámetro del pozo Fig 8. Este valor α relaciona la descarga

específica V_w la artesa del pozo de diámetro $2r_1$ con la velocidad de filtración V_f anchura de la artesa $2ar_1$ en el acuífero.

$$V_w = \alpha V_f \dots\dots\dots(13)$$

II.6 COEFICIENTE DE PERTURBACIÓN HIDRODINÁMICA α

Según la ecuación (13), el coeficiente α expresa la relación entre los caudales de agua que circulan a través de una misma sección del piezómetro y del acuífero, respectivamente. La perturbación hidrodinámica creada por el piezómetro ha sido investigada exhaustivamente por W. DORST. Las líneas de flujo alrededor del piezómetro tienen la forma que se ilustra en la figura (9) para los casos de un piezómetro con revestimiento exterior de arena o gravilla, y sin dicho revestimiento. En el caso de ausencia de revestimiento, la relación V_w / V_f de la ecuación (13) es igual a la relación a/d indicada en la figura (9).

Puesto que el agua que penetra en el interior del piezómetro tiene que pasar a través del relleno de arena o gravilla y de las paredes del entubamiento, resulta lógico que el caudal Q que circula por el piezómetro sea función de

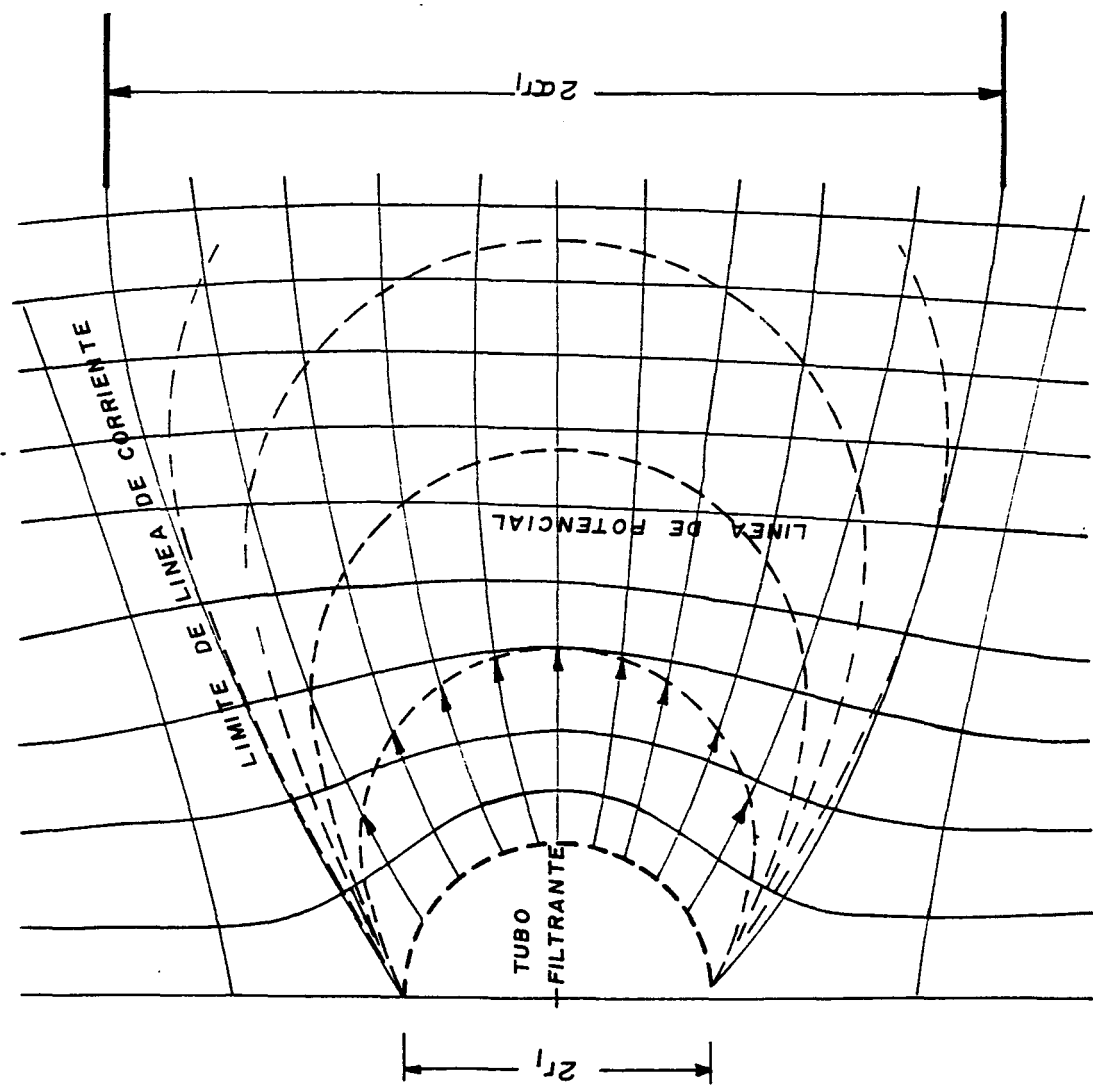


FIG-8 Distorsión del flujo paterno de aguas subterráneas, en el plano horizontal, para un pozo con tubo filtrante de diámetro $2r_1$.

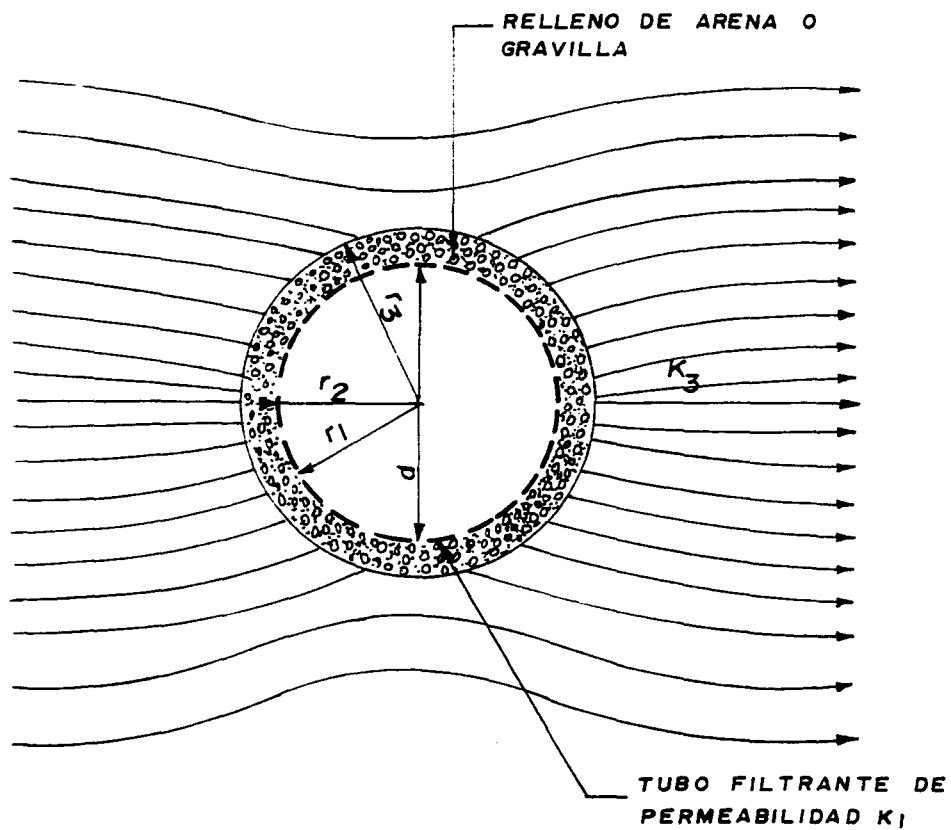
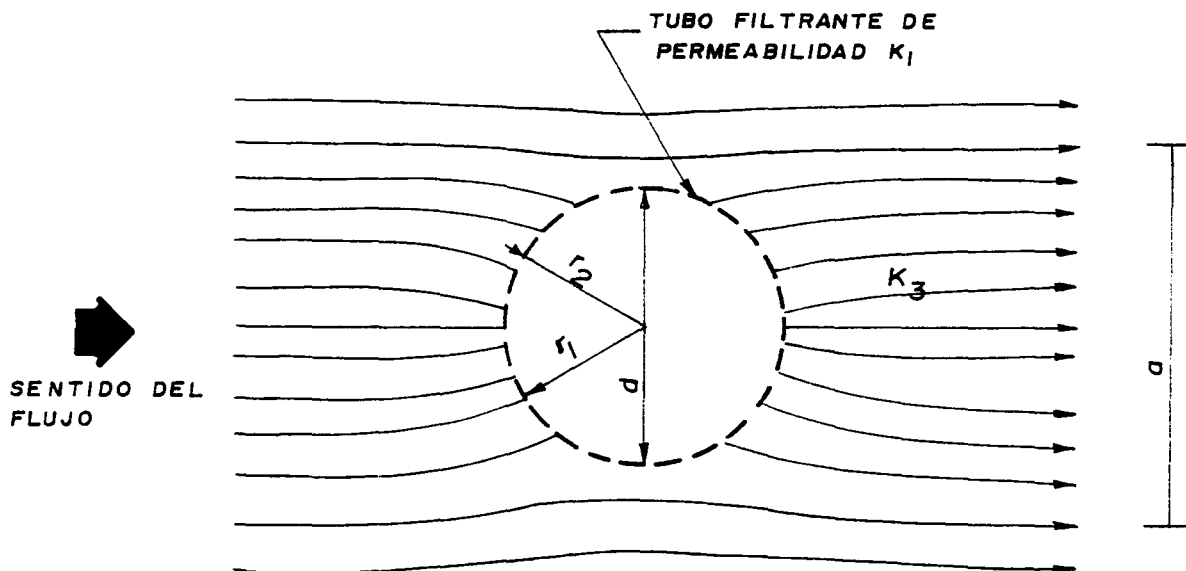


FIG-9 Líneas de flujo de agua en las proximidades de un piezómetro

las permeabilidades de ambos cuando el relleno y el entubamiento son uniformes, α viene dado por la expresión:

$$\alpha = \frac{8}{\left(1 + \frac{K_3}{K_2}\right) \left[1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} + \frac{K_2}{K_1} \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right)\right] + \left(1 - \frac{K_3}{K_2}\right) \left[\frac{r_1^2}{r_2^2} + \frac{r_2^2}{r_3^2} - \frac{K_2}{K_1} \left(\frac{r_1^2}{r_2^2} - \frac{r_2^2}{r_3^2}\right)\right]} \quad \dots(14)$$

En ausencia de relleno se tiene $r_2 = r_2$ y $K_2 = K_3$, con lo cual la ecuación anterior se simplifica, obteniéndose la ecuación de OGILVI.

$$\alpha = \frac{4}{1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} + \frac{K_3}{K_1} \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right)} \quad \dots\dots\dots(15)$$

Si no existe tubo filtrante, se cumple $r_1 = r_2$ y, por tanto $\alpha = 2$. Normalmente, los radios r_1 y r_2 suelen ser muy parecidos, debido a lo cual la relación $(r_1 / r_2)^2$ difiere poco de la unidad. Por consiguiente, si el tubo filtrante tiene una permeabilidad mucho mayor que la del medio, es decir, $K_1 \gg K_3$ el valor de α se aproxima a 2. Las ecuaciones (14) y (15), son válidas sólo para flujo laminar. En regimen turbulento, el valor de α es algo menor que el

dado por estas ecuaciones.

Basándose en la ecuación (14), se ha representado en la figura (10), la variación de α en función de K_3 / K_2 para diferentes valores de r_2 / r_1 y , a la inversa, siendo fijos r_1 / r_2 y r_2 / r_3 . De la misma forma, en la figura (11) se representa la variación de α en función de la relación r_2 / r_1 , para diferentes valores de K_3 / K_1 .

El coeficiente α puede determinarse en el laboratorio, reproduciendo en un permeámetro las condiciones existentes en el campo.

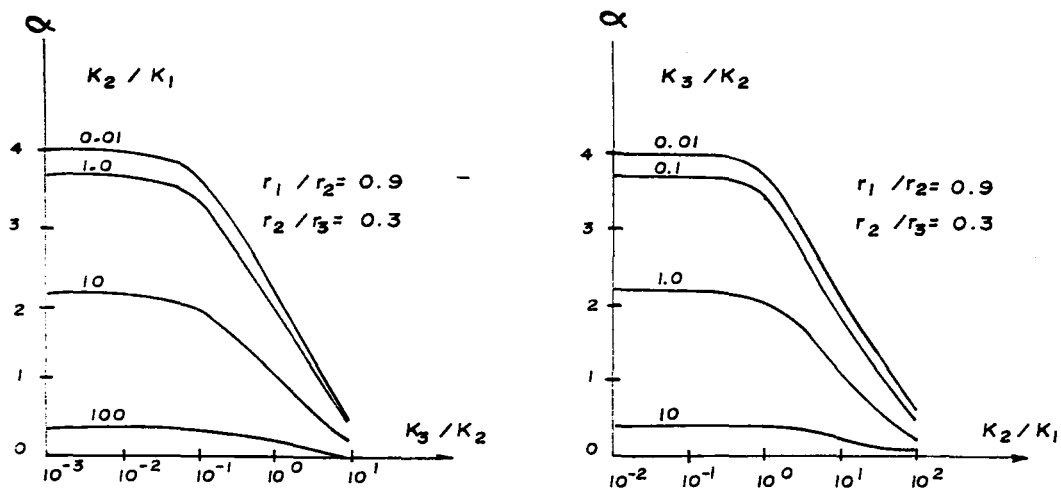


FIG-10 Variación del coeficiente α en función de la relación K_3/K_2 para diferentes valores de la relación K_2/K_1 y a la inversa, manteniendo fijos los parámetros r_1/r_2 y r_2/r_3

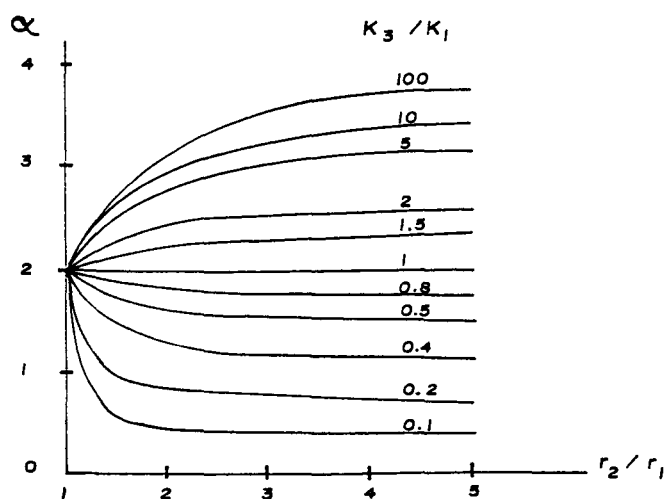


FIG-II Variación del coeficiente α en función de la relación r_2/r_1 para diferentes valores de K_3/K_1

CAPITULO III

MÉTODOS

III.1 INTRODUCCIÓN

Las técnicas utilizadas en hidrología subterránea difieren, sensiblemente, de las empleadas en hidrología superficial. Ello es debido principalmente a que las leyes que rigen el comportamiento de las aguas subterráneas son básicamente, distintas las correspondientes para aguas superficiales. En dichas leyes intervienen nuevos parámetros, cuyo conocimiento es imprescindible para definir la naturaleza del acuífero y establecer el modelo hidrológico que permita deducir el comportamiento dinámico del agua. De estos parámetros unos son característicos del medio: composición mineralógica, estructura interna, densidad, porosidad, permeabilidad, transmisibilidad, etc. Otros se refieren exclusivamente, al agua: VELOCIDAD Y SENTIDO DE DESPLAZAMIENTO, etc. La dinámica de aguas subterráneas se caracteriza por los dos factores siguientes:

- a) El papel preponderante desempeñado por el medio. El contacto y, por tanto, la posibilidad de interacción entre el agua y los materiales sólidos del medio es

mucho mayor que en las aguas superficiales.

Este íntimo contacto hace que numerosas sustancias que se comportan como excelentes trazadores para aguas superficiales, no den buenos resultados con aguas subterráneas incluso, un determinado trazador puede proporcionar resultados buenos o malos dependiendo de la naturaleza del medio.

- b) La gran lentitud con que se produce el desplazamiento del agua. Como es sabido las aguas subterráneas tienen velocidades comprendidas entre cero y varios metros por día en acuíferos de materiales no consolidados y, sólo raramente, sobrepasan los 100 m/día en regiones muy carstificadas. Debido a ello, las experiencias realizadas con trazadores expresamente adicionados tienen que ser necesariamente muy locales. Para poder llevar a cabo estudios con trazadores que afecten a zonas amplias, es preciso recurrir a los trazadores naturales contenidos en el agua.

La investigaciones de cualquier problema de hidrología subterránea exige, normalmente, la aplicación de numerosas técnicas y la colaboración de personas de diversas especialidades. Cualquier dato considerado aisladamente tiene un valor limitado aunque se haya obtenido con gran precisión. Solo mediante el acopio de un elevado número de datos y observaciones

puede llegarse a una solución acertada del problema. Las técnicas nucleares no constituyen una excepción a esta norma general debiendo ser considerada como nuevas herramientas de trabajo a disposición del hidrólogo, que, en unos casos, le permita obtener una información no asequible por otras técnicas y, en otros, la conducirán a la obtención de unos datos, asequibles también por técnicas convencionales, pero siguiendo un camino más simplificado o más exacto.

III.2 TRAZADORES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

El criterio para un trazador ideal debe ser físicamente indistinguible desde las aguas subterráneas, ello no debe reaccionar químicamente con el agua y el acuífero y esta introducción no debe alterar el flujo paterno. Se ha mencionado ya, anteriormente los inconvenientes que presentan ciertos trazadores no isotópicos cuando se trata de aguas subterráneas por lo tanto nos limitaremos a mencionar algunas recomendaciones a tener en cuenta en la elección del trazador isotópico. La elección del trazador radioisotópico debe satisfacer estos requerimientos. Ello debe ser obtenido en buena actividad específica, será fácil de mezclar con el agua y su introducción sumará una masa despreciable al sistema de aguas subterráneas de este modo evitaremos efectos de densidad. Los rayos gamma emitidos por los núclidos ^{82}Br (como solución NH_4Br), ^{51}Cr (como complejo

EDTA), ^{58}Co y ^{60}Co (como $\text{Co}(\text{CN})_6$), ^{131}I (como solución NaI) y ^{99}Tc son mostrados como trazadores satisfactorios en hidrología. El agua tritiada es considerada como el más ideal trazador hidrológico, pero ello emite solamente radiación β .

Un trazador emisor de rayos gamma es detectado en muy baja concentración fuera del pozo. Estos pueden ser detectados simultáneamente cuando varios trazadores son usados. El detector adecuado es el GEIGER MULLER y contador de escintilación el cual es fabricado para pozos.

Para la detección de ^3H (tritio) y trazadores activables debe recogerse muestras de agua, para analizar los en el laboratorio.

La elección del trazador radiactivo depende del número de técnicas y consideraciones de seguridad. En ciertos casos las consideraciones técnicas pueden imponer ciertas o muchas restricciones o limitaciones con el tipo y cantidad de radioisótopos que pueden ser usados debido a las consideraciones de seguridad. Por ejemplo, ello puede ser necesario para ser usadas debido a las consideraciones de seguridad. Por ejemplo, ello puede ser necesario para evitar el uso de agua tritiada, ello significará prevenir aplicaciones subsecuentes de métodos basados en la concentración natural del tritio.

En cualquier caso el trazador radiactivo preferido tendrá una vida media comparable con la esperada duración de la observación. Inútilmente la larga vida del isótopo contaminará el agua creando un persistente peligro para la salud e interfiriendo con subsecuentes experimentos.

Apropiados factores de seguridad serán aplicados para tomar en consideración el conocimiento preciso de los parámetros que gobiernan la dispersión subterránea del material radiactivo. Esto requiere la identificación de la senda crítica de la artesa con el cual la radionucleído alcanzará al hombre y la certeza de que la concentración está debajo del valor máximo permisible en ese lugar. Las consideraciones de un manejo seguro pueden poner un límite superior para su uso en experimentos de larga escala.

Por estas razones el hidrólogo asegurará el mismo el uso de otra sustancia no radiactiva como colorantes o sales, y no encontrará necesidad para estos problemas. Sin embargo; el temor subjetivo para los radioisótopos no será controlable.

III.3 VELOCIDAD HORIZONTAL

Según la ecuación de DARCY sabemos que:

$$V = Ki$$

donde:

$V =$ es la velocidad de filtración.

Para determinar la velocidad de filtración por medio de esta última ecuación, es preciso conocer el gradiente hidráulico y la permeabilidad del acuífero. El primero de estos parámetros es fácil de determinar en la práctica con elevada precisión, si se dispone de un número suficiente de piezómetros o pozos de observación. Pero la determinación exacta de la permeabilidad es como se sabe bastante difícil, requiriéndose la realización de costosos ensayos de bombeo, que no siempre conducen a resultados satisfactorios. Las técnicas de laboratorio basadas en el empleo de permeámetros sólo proporcionan buenos resultados en casos aislados, debido a la dificultad de obtener testigos inalterados y representativos.

Los métodos mas directos para determinar la velocidad de filtración son, ciertamente, los basados en el empleo de trazadores, tales como:

- 1) Método del tiempo de tránsito
- 2) Método de dilución
- 3) Método de Bombeo.

III.3.1 MÉTODO DEL TIEMPO DE TRANSITO

Consiste simplemente, en inyectar el trazador en un piezómetro a otro piezómetro situado a una distancia

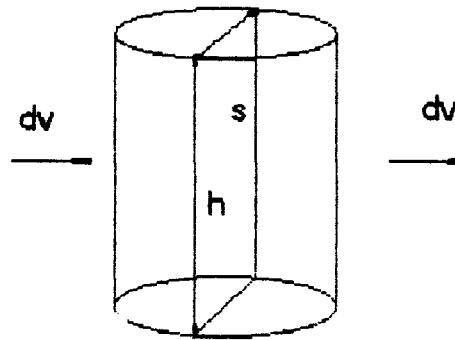
conocida. Si no se conoce con exactitud el sentido del desplazamiento del agua, es preciso disponer de una serie de piezómetros alrededor del punto de inyección para que el trazador pueda ser localizado en alguno de ellos. Por otra parte debido a la lentitud con que se desplazan, normalmente las aguas subterráneas los piezómetros de observación tienen que situarse muy cerca del de inyección para que el tiempo de tránsito sea razonablemente corto. Sobre este método no insistiremos mucho, debido a sus escasas posibilidades.

III.3.2 MÉTODOS DE DILUCIÓN

III.3.2.1 PRINCIPIO BASICO

El fundamento de este método fue expuesto por primera vez, por O.J. KOCHERIN, en 1916. después el método fue desarrollado más ampliamente por otros autores.

En un principio se utilizaron como trazadores soluciones salina; principalmente ClNa . Pero el método permaneció un tanto olvidado durante muchos años por que estos trazadores no resultaban del todo satisfactorios.



Con la posibilidad de utilizar trazadores radiactivos, el método ha recobrado importancia. Los desarrollos más recientes del mismo, empleando este tipo de trazadores son muchos pero desgraciadamente aún no están a nuestro alcance.

Supongamos que un tramo de la columna de agua de un piezómetro de altura h y diámetro d se inyecta una cierta cantidad de trazador, dando una concentración C .

Se supone que se cumplen las siguientes condiciones:

a) El flujo de agua que circula a través del piezómetro es estacionario.

b) en el volumen $V_0 = \frac{\pi d^2}{4} h$ del tramo considerando, la distribución del trazador se conserva homogénea,

es decir, en cualquier momento, la concentración en todos los puntos de este volumen es la misma.

- c) La salida del trazador del volumen V_0 solo tiene lugar como consecuencia del flujo horizontal de velocidad q_v .

En tales condiciones, la concentración del trazador en V_0 disminuye, en función del tiempo según la ecuación diferencial:

$$\frac{d_c}{d_t} = -\frac{c}{V_0} \frac{d_v}{d_t}$$

Pero q_v / d_t representa el caudal de agua Q que circula a través de la sección $S = h.d$, es decir:

$$\frac{d_v}{d_t} = Q = V_s . h . d$$

Siendo V_s la velocidad del agua que circula a través de la sección S . De ambas expresiones se deduce:

$$-\frac{d_c}{c} = \frac{V_s . h . d}{V_0} d_t$$

Integrando se tiene

$$-\ln C_t - \frac{V_s \cdot h \cdot d}{V_o} + \ln C_o$$

de donde

$$\ln \frac{C_t}{C_o} = \frac{V_s \cdot h \cdot d}{V_o} t$$

y, por tanto,

$$\frac{C_t}{C_o} = e^{-\frac{V_s \cdot h \cdot d}{V_o} t} \dots\dots\dots(16)$$

Siendo C_o la concentración inicial y C_t la existente al cabo de un tiempo t .

La velocidad V_s se relaciona con la velocidad en el acuífero V_t por la expresión:

$$V_s = \alpha V_t$$

Siendo α un coeficiente que es necesario introducir debido a la perturbación hidrodinámica ocasionada por el piezómetro. El valor de α es:

$$\alpha = \frac{Q}{Q_a}$$

Donde Q es el caudal de agua que circula a través de una sección del acuífero igual a S .

Por otra parte, sustituyendo en la ecuación (16) los valores de V_0 y V indicados anteriormente, se obtiene:

$$\frac{C_t}{C_0} = e^{-\frac{4\alpha t V_t}{\pi d}} \dots\dots\dots(17)$$

De esta expresión, es fácil deducir que el tiempo $t_{1/100}$, necesario para que la concentración del trazador en V_0 se reduzca al 1 por 100 de su valor inicial ($C_0/C_t = 100$), viene dado por:

$$t_{1/100} = \frac{3.62d}{\alpha V_t} \dots\dots\dots(18)$$

Esta es una fórmula práctica que permite determinar V_t en función de $t_{1/100}$. El valor de α se

discute por el capítulo II.6.

III.3.2.2 TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Las condiciones experimentales que se encuentran en la práctica, pueden variar mucho de unos casos a otros. Factores importantes deben tenerse en cuenta con vista a la realización de los ensayos, son los siguientes:

- a) El sondeo puede encontrarse o no entubado interiormente. En caso afirmativo, el tubo colocado deberá encontrarse ranurado en la zona del acuífero que se desea investigar. Datos importantes del entubamiento que deben conocerse son los diámetros externo e interno y el porcentaje de la superficie perforada.
- b) Si el espacio existente entre el tubo filtrante y las paredes internas del sondeo se ha rellenado de grava o arena, es fundamental conocer la granulometría y los diámetros de este relleno.
- c) La existencia de flujos verticales en el interior del sondeo suele conducir a resultados erróneos. Dichos flujos pueden originarse cuando el sondeo pone en comunicación a dos acuíferos con diferente nivel piezométrico o a un acuífero artesiano con una capa permeable ajena al mismo. Como norma

general debe investigarse la posible existencia de flujos verticales.

- d) Una amplia información sobre la estructura y grado de homogeneidad del acuífero es muy importante con vistas a elegir las zonas más adecuadas para efectuar los ensayos y para saber a posterior hasta que punto los resultados obtenidos son extrapolables y representativos.

La técnica experimental más aceptada últimamente es la que se ilustra en la figura 12. El volumen de medida V_0 queda acotada por dos dispositivos de cierre que en el caso de la figura, se accionan con aire comprimido. En el centro de este volumen se encuentra un detector GEIGER MULLER o de centelleo. El trazador radiactivo puede inyectarse por diferentes procedimientos. Unas veces se utiliza una especie de jeringa accionada por un motor. En otros casos, se emplea un sistema electromecánico que, al ser accionado, rompe una ampolla de vidrio que contiene el material radiactivo. También puede efectuarse la inyección a través de un tubo plástico que llega hasta la superficie. Los cierres están previstos para evitar el transporte del trazador para eventuales corrientes verticales o por difusión en sentido vertical. Un agitador, accionado eléctrica o mecánicamente asegura que la concentración del trazador en V_0 sea uniforme en

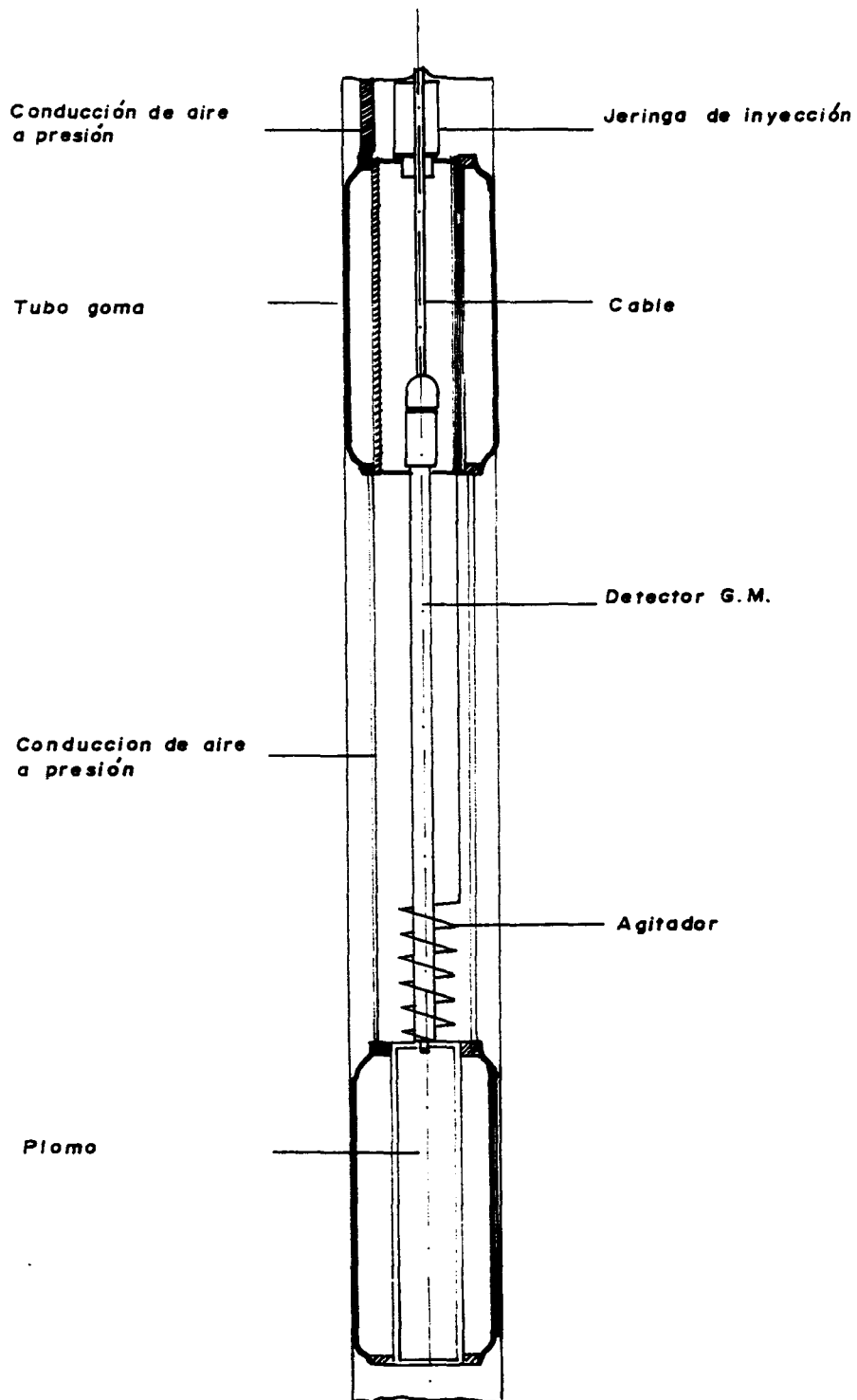


FIG-12 Sonda moderna para determinar velocidad de flujo subterráneo

todo momento, condición que es importante para que se cumpla la ley exponencial de dilución.

Una vez inyectado el trazador en el volumen de medida, su concentración se determina, de forma continua o periódica, durante un tiempo suficiente para que quede bien definida la ley de dilución expresada por la ecuación (17). Dicho tiempo puede variar entre solo unos minutos y algunas horas o, incluso, días en casos excepcionales, dependiendo de la velocidad V_t y del diámetro del piezómetro. La solución del volumen de medida se agita periódicamente, para mantener una concentración uniforme.

III.3.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

a) **Marcado instantáneo de toda la columna piezométrica.**

El marcado instantáneo de toda la columna piezométrica se lleva a cabo cuando se trata de investigar sondeos totalmente desconocidos. La investigación del trazador se lleva a cabo como se muestra en la figura (13). Se introduce hasta el fondo del sondeo un tubo plástico, sección interna conocida, abierto por ambos extremos y se vierte en el, por su parte superior una cantidad de solución radiactiva,

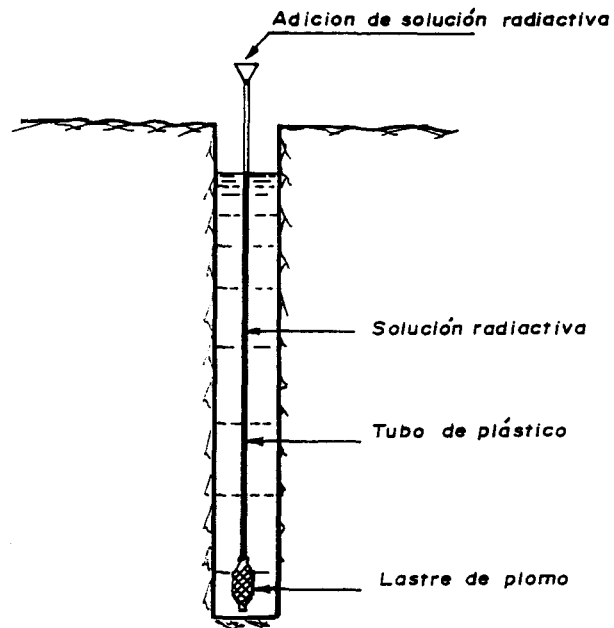


FIG-13

Esquema del método de inyección de trazador para marcado instantáneo de toda la columna piezométrica

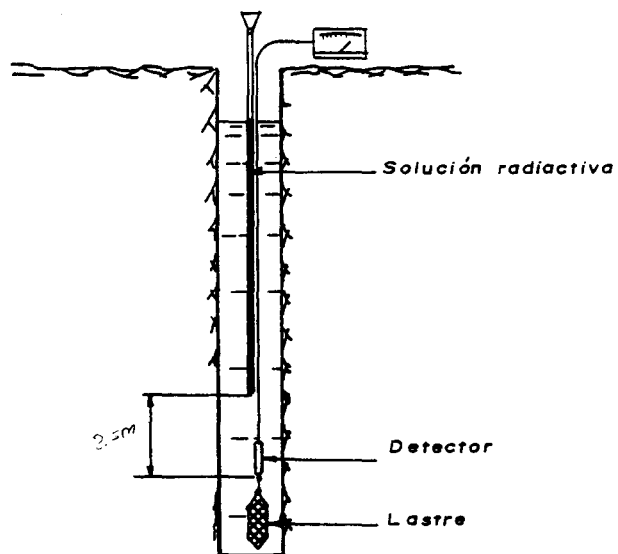


FIG-14

Esquema del método empleado para marcado en tramos sucesivos de toda la columna piezométrica

igual al volumen interno de dicho tubo, limitado entre el fondo del sondeo (o extremo inferior del tubo) y el nivel freático (que coincide con la altura alcanzada por el agua en el interior del tubo). Este volumen marcado desplaza totalmente el agua contenida en el interior del tubo. A continuación se extrae del sondeo el tubo plástico; lentamente y con velocidad uniforme con lo cual toda la columna piezométrica queda marcada, con una distribución del trazador aceptablemente uniforme. con lo cual toda la columna piezométrica queda marcada, con una distribución del trazador aceptablemente uniforme.

La medida del trazador se lleva a cabo simplemente, por introducir en el sondeo de un detector GEIGER MULLER. Las medidas se repiten periódicamente, desplazando el detector en tramos de 1,2 o 5 metros, según los casos, y realizando lecturas hasta que la concentración del trazador ha descendido suficientemente en todos los puntos del sondeo.

b) Marcado en tramos sucesivos de toda la columna piezométrica.

Esta clase de marcado se realiza cuando como resultado de una rápida desaparición del trazador en todo el sondeo o parte se el no imputable a flujos

verticales.

La técnica de trabajo empleado en tales casos se ilustra en la figura (14). Dentro del sondeo se introducen solidarios el detector y el tubo de inyección, el cual va unido al cable del detector por medio de cinta autoadhesiva. El extremo inferior, abierto, del tubo de inyección se dispone, por ejemplo, a 2,5 metros por encima del detector. A continuación, se llena de solución radiactiva el tubo de inyección y se eleva lentamente el conjunto detector-tubo de inyección unos 5 metros. De esta forma se marca un tramo de sondeo de esta misma longitud y el detector queda situado en el centro de dicho tramo. Una vez terminadas las medidas por haber descendido suficientemente la concentración del trazador, puede realizarse el marcado de un nuevo tramo de la misma forma que antes, prosiguiéndose de esta manera hasta estudiar la longitud deseado de la columna piezométrica.

III.3.2.4 CAUSAS DE ERROR Y LIMITACIONES

Aun cumpliéndose ciertas condiciones, la técnica está expuesta a numerosas causas de error. Entre ellas podemos citar, como más importantes las siguientes:

- 1) Acumulación de materiales impermeabilizantes alrededor de las paredes de sondeo durante la perforación del mismo por ejemplo materiales bentoníticos tan frecuentemente utilizados.
- 2) Falta de uniformidad en las dimensiones y permeabilidad del relleno de arena o gravilla.
- 3) El volumen de agua desplazado por el detector en el volumen de medida facilita, en cierto modo, la dilución del trazador. No obstante, esta influencia es pequeña si el diámetro del detector es solo la tercera parte o cuarta del diámetro interno del piezómetro.
- 4) El trazador que ha abandonado el volumen de medida no debe influir de modo significativo en la respuesta del detector. En otras palabras, la contribución del trazador existente en la proximidades del piezómetro a la respuesta del detector debe ser depreciable.
- 5) Causas importantes de error pueden ser todos aquellos fenómenos ajenos al flujo natural que ocasionan una dilución del trazador inyectado en el volumen de medida, tales como:
 - a) Flujos verticales del piezómetro a los cuales

ya nos hemos referido.

- b) Salida del trazador por efecto de la agitación.
 - c) Difusión a través del tubo filtrante
 - d) Formación de flujos de convección por efecto de gradiente de concentración o de temperatura.
 - e) Circulación del trazador por osmosis.
- 6) Las heterogeneidades del medio pueden dar lugar a que el coeficiente α no tenga un valor constante para todo el espesor del acuífero.

III.3.3 MÉTODO DE BOMBEO

III.3.3.1 PRINCIPIO BÁSICO

El principio básico de este método es muy simple. en un pozo sometido a recarga artificial, para eliminar el efecto de posibles flujos verticales, se inyecta una cierta cantidad de trazador de una forma puntual o bien a lo largo de toda la columna de agua para obligar al trazador a penetrar en el acuífero. A continuación, se deja tiempo T . como consecuencia el bombeo de este pozo a un caudal Q . Por medida continua o periódica de la radiactividad de agua, se determina la curva de

recuperación del trazador inyectado. Aceptando una simetría cilíndrica del bombeo, la distancia media recorrida por la nube del trazador se calcula por la expresión

$$s = \frac{Q \cdot t}{\pi r^2 b} \dots\dots\dots(19)$$

es decir

$$v_m = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi b s}}$$

Siendo t el tiempo transcurrido desde el comienzo del bombeo hasta el punto de la curva de recuperación, que mas adelante discutiremos. El cociente r_m/T proporciona la velocidad de desplazamiento del agua. Para que este método tenga válidez debe cumplirse las siguientes condiciones:

- 1) Las líneas de flujo que conducen al pozo de bombeo tiene que ser radiales. Para que esto se cumpla, es preciso que la velocidad inducida por el bombeo a la distancia r sea

mucho mayor que la del flujo natural del agua. Dicha velocidad V disminuye al aumentar r según la expresión

$$V = \frac{Q}{2\pi r b s}$$

Por tanto la distancia r tiene que ser suficientemente pequeña para que esta condición se cumpla.

- 2) El volumen del cono de depresión creado por el bombeo debe ser pequeño comparado con el volumen del cilindro $\pi r^2 b$, figura (15). En caso contrario no se cumple la ecuación (19). esta condición exige que el espesor del acuífero b sea menor que la distancia r .
- 3) La porosidad eficaz y la permeabilidad del acuífero en el cilindro considerado deben ser uniformes.
- 4) El pozo de bombeo tiene que penetrar la totalidad del acuífero, es decir, debe llegar hasta el zócalo impermeable. De no ocurrir así, deberá tenerse en cuenta el caudal de agua que afluye al pozo por debajo del fondo del mismo con líneas de flujo no radiales. Algunos autores han demostrado

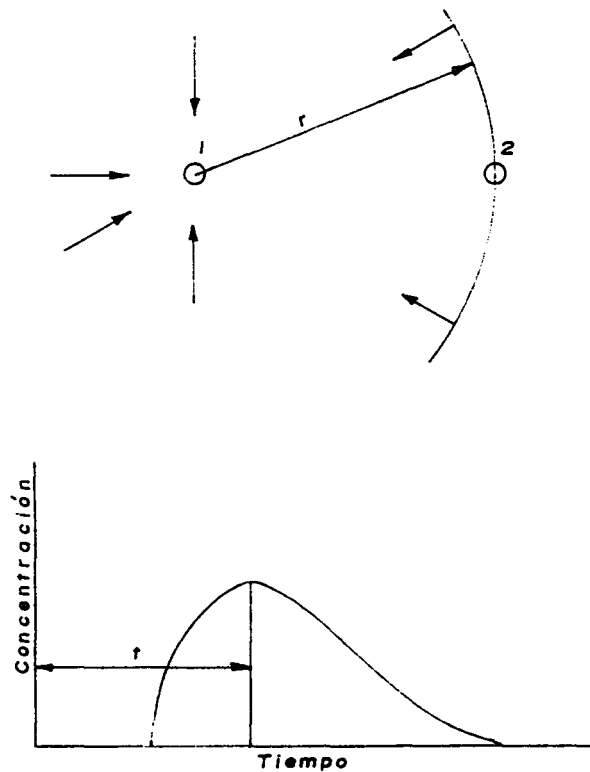
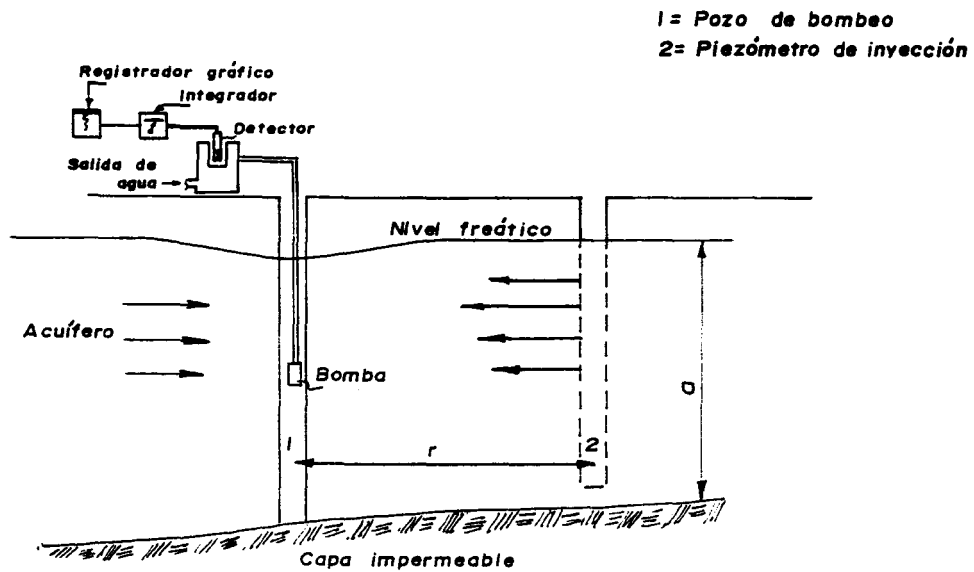


FIG-15

Esquema ilustrativo del procedimiento para la medida de la velocidad horizontal y porosidad eficaz de un acuífero homogéneo.

experimentalmente, que este efecto puede corregirse sustituyendo en la ecuación (19) el término b por la expresión: $h + 2r/3$; siendo h la penetración del pozo en el acuífero medida desde el nivel freático. La conexión es sólo aproximada.

- 5) Los diámetros del pozo de bombeo y del piezómetro deben ser despreciable comparados con r .

Algunos autores definen el tiempo t como el transcurrido hasta el instante correspondiente al máximo de la curva de recuperación figura (15). Pero esto, que en el caso de la determinación de la porosidad eficaz parece correcto no lo es tanto para el presente caso, debido a la dispersión del trazador y a la simetría radial del bombeo. Para comprender mejor el fenómeno, supongamos que el trazador se inyecta en el pozo a un caudal constante durante un largo período de tiempo. El agua marcada circulará de acuerdo con la trayectoria indicada en la figura (16). Al llegar a cabo el bombeo, la cantidad recuperada de trazador por unidad de volumen de agua bombeada disminuye continuamente en función del tiempo por efecto de la simetría radial. Para cada volumen V extraído de agua las cantidades recuperadas de trazador se representan en la figura por las superficies $S_1, S_2, S_3, \text{ etc.}$

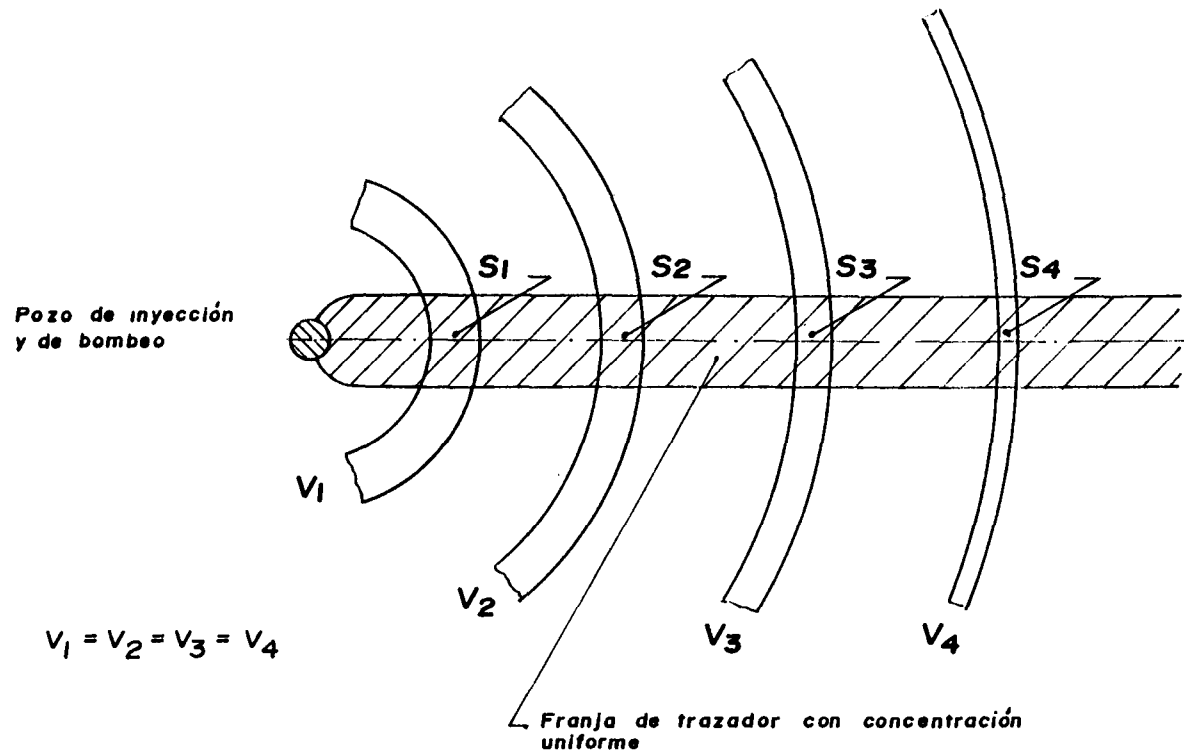


FIG-16 Esquema que pone de manifiesto el efecto de la simetría radial en la recuperación del trazador mediante bombeo

En el caso que nos ocupa, el trazador inyectado experimenta una cierta dispersión en su recorrido a través del acuífero. Por tanto cuando se realiza el bombeo, las fracciones de trazador más cercanas al pozo se diluyen con una cantidad menor de agua que las más alejadas y la curva de recuperación no representa, fielmente la distribución del trazador en el acuífero. El valor real de t deberá ser, de acuerdo con lo expuesto, mayor que el obtenido considerando el máximo de la curva de recuperación. M. BOROWCZYK recomienda utilizar para t el tiempo medido hasta el momento de la recuperación de 50 por 100 de la cantidad total recuperada de trazador, prolongando el bombeo hasta que termine la salida de este. Se tiene en cuenta el hecho de que usualmente una parte del trazador no se recupera debido a quedar retenido por los materiales del medio.

III.4 DIRECCIÓN DEL FLUJO

III.4.1 INTRODUCCIÓN

La dirección y sentido de la componente horizontal del flujo de aguas freáticas se obtiene, normalmente a través de los mapas de isopiezas. La elaboración de estos mapas exige disponer de un elevado número de piezómetros de observación, en los que se mida con exactitud la cota a que se encuentra el nivel freático.

Cuando no se dispone del suficiente número de piezómetros o cuando el gradiente hidráulico no puede determinarse con exactitud suficiente por ser demasiado pequeño, puede ser de utilidad las técnicas basadas en el empleo de trazadores radiactivos. Lo mismo sucede cuando, por existir dos o más acuíferos, el nivel freático existente no corresponde al acuífero que se desea investigar.

III.4.2 PRINCIPIO DEL MÉTODO DE TRANSPORTE DE DILUCIÓN

Si se inyecta un trazador en un segmento de un pozo aquel será transportado en la dirección del flujo horizontal por el movimiento natural del agua. Midiendo posteriormente la concentración del trazador en las paredes del pozo por medio de un dispositivo adecuado, se podrá determinar la dirección del flujo que corresponderá a la zona de mayor acumulación del trazador.

III.4.3 TÉCNICA DE MEDICIÓN

El transporte de dilución es introducido como una técnica de adsorción. Para ello se usa un trazador adsorbible. Este trazador tiene la propiedad de acumulación cercana en la periferia del pozo y en la

dirección del flujo, el cual optimiza la resolución del diagrama polar.

La actividad requerida para la inyección puede variar desde 5 a 250×10^5 Bq, y depende del flujo del pozo en investigación. La inyección no será necesariamente seguida de la detección, esto puede ocurrir días más tarde.

La principal desventaja de este método es la contaminación de los instrumentos. Sin embargo pueden usarse trazadores no adsorbibles. El aislamiento de la sección del pozo, para la inyección es no necesariamente una condición.

La más común prueba para medir la dirección de flujo es usando un detector colimado como el mostrado en la figura (17). El colimador es formado por un escudo acanalado, con un espesor excéntrico de plomo. Esta abertura es girada dentro del pozo 360° en ambos sentidos por un motor incorporado en el sistema o por un sistema articulado desde la superficie de modo que al girar se lea la dirección en el diagrama. La orientación de la abertura del colimador puede ser averiguado por algún mecanismo mecánico o por el uso de un giroscopio.

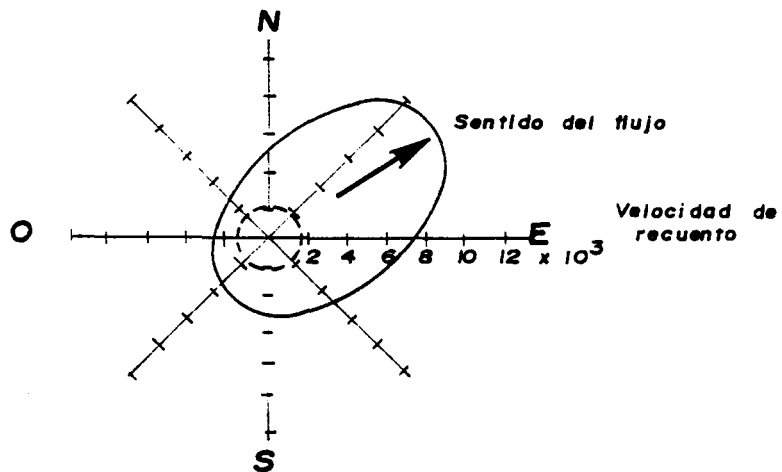
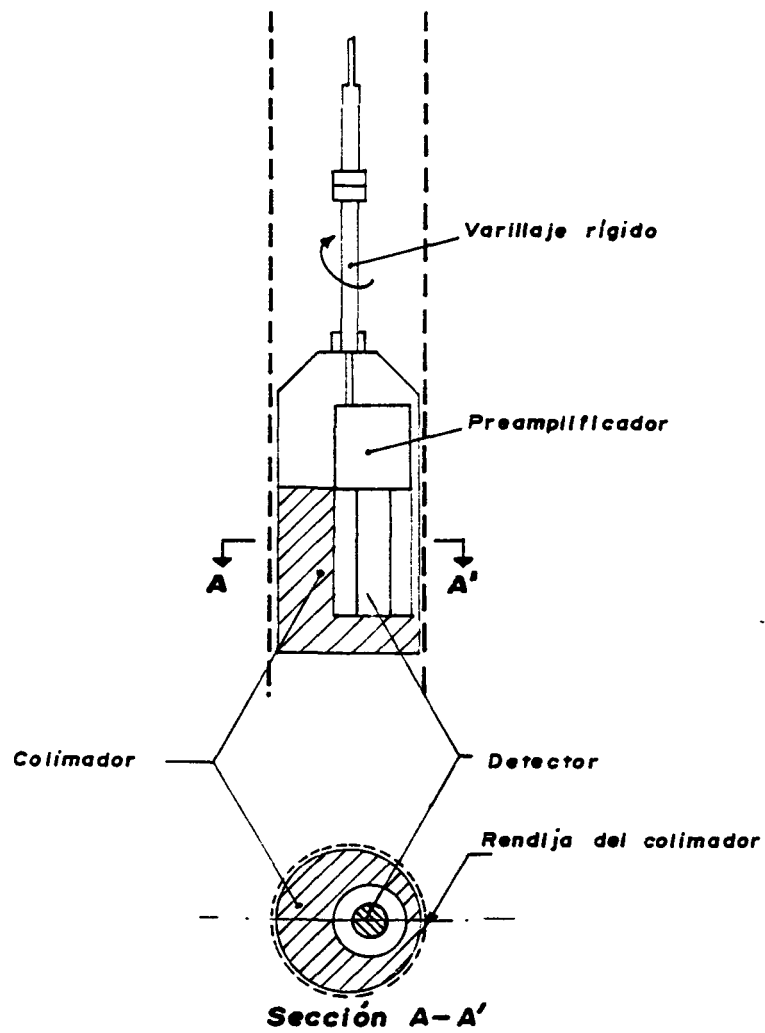


FIG-17 Medida del sentido del desplazamiento de las aguas subterráneas empleando un detector colimado, especialmente diseñado

Un método más amplio es usando un artefacto cilíndrico el cual el trazador radiactivo (o no radiactivo) es preferencialmente adsorbido en la dirección del flujo. Del mismo modo la distribución direccional puede ser medido utilizando una técnica basada en la impresión de una película fotográfica. Para ello, al cabo de cierto tiempo de inyectado el trazador, se introduce en el piezómetro un sistema que consiste básicamente, en un cilindro de plomo a cuyo alrededor se ha dispuesto una película fotográfica adecuada. Después de unas horas la película se ha impresionado en la zona correspondiente a la situación del material radiactivo.

El revelado del mismo refleja la orientación de la nube de trazador fijada en la pared del sondeo. Existen muchas otras variantes de esta técnica las cuales no mencionaremos por que usan el mismo principio.

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES GENERALES DE SEGURIDAD Y MANEJO DE FUENTES RADIATIVAS

VI.1 INTRODUCCION

Las técnicas isotópicas usadas en investigaciones hidrológicas pueden ser divididas en dos principales categorías.

- 1) Aquellos que implican el análisis y medida de radioisótopos presentes en el medio ambiente.
- 2) Aquellos que implican soltar en el medio ambiente radioisótopos los cuales sirven como trazadores.

La segunda categoría es la que nos interesa ¿como? es la principal pregunta de radioprotección. Las aplicaciones típicas de radiotrazadores son en aguas subterráneas, medición de flujo en rios estudio de movimientos de sedimentos, etc. Para ello es importante informarse acerca de las técnicas aplicadas anteriormente. Ello es esencial para el manejo y para soltar sustancias radiactivas en el medio ambiente que no impliquen algunas exposiciones innecesarias o exposiciones elevadas de personas, que son

directamente involucrados con la investigación o miembros del público.

El propósito del presente capítulo, es servir como guía en alguna de las consideraciones que rigen en la elección de medidas de seguridad y precauciones conmensurables con la extensión tipo y cantidad de radionucleído seleccionado para investigaciones particulares. Una vez que ha sido decidido la técnica del radiotrazador. Ello no intenta discutir los méritos de las técnicas radiactivas versus métodos convencionales; esta discusión se hará en otros capítulos.

La finalidad de este capítulo es recomendar los requerimientos a adoptar en investigaciones particulares. Las recomendaciones planteadas son aplicadas a investigaciones de larga escala de una naturaleza compleja, para investigaciones de pequeña escala mucha de las precauciones recomendadas y aún más de equipos pueden ser no necesarias. Estos puntos deben ser manejados claramente, con inteligencias; para evitar sobre todo interpretaciones no razonables e innecesario gasto que pueda amilanar al investigador.

A continuación algunos términos empleados:

- **RADIACION IONIZANTE.**- R a d i a c i ó n
electromagnética fotones de rayos x o de rayos

gamma, o radiación corpuscular capaz de producir ionización al atravesar la materia.

- **FUENTE.**- Aparato o sustancia capaz de emitir radiaciones ionizantes.
- **NUCLIDO.**- Especie atómica caracterizada por su número másico, su número atómico y cuando sea necesario, por su estado energético.
- **RADIOACTIVIDAD.**- Número de desintegraciones espontáneas por unidad de tiempo.
- **ACTIVIDAD ESPECIFICA.**- Número de desintegraciones por unidad de tiempo y por unidad de masa de materia.
- **RADIOTOXICIDAD.**- Toxicidad atribuible a las radiaciones emitidas por una sustancia radiactiva en el organismo.
- **RADIACIÓN EXTERNA.**- Radiación que recibe el organismo desde fuentes externas.
- **RADIACIÓN NATURAL.**- La radiación natural puede ser:
 - a) Una radiación externa de origen extraterrestre (rayos cósmicos) o una radiación externa de origen terrestre (como las emitidas por los radioisótopos presentes en la corteza terrestre y en el aire).
 - b) Una radiación interna (por ejemplo las emitidas por los radioisótopos ^{40}K y ^{14}C que presentan un pequeño porcentaje de potasio y

carbono y que con componentes normales del organismo, y otros isótopos como el ^{226}Ra , el ^{232}Th y sus productos de desintegración, provenientes del medio ambiente).

- **ZONA VIGILADA.**- Zona especialmente definida en la cual se controla la exposición individual de los trabajadores, y que está bajo vigilancia de una persona técnicamente competente y responsable de la aplicación de normas pertinentes de protección radiológica.
- **EXPERTO COMPETENTE.**- Autoridad nacional o internacional con jurisdicción sobre las actividades de que se trata.
- **EXPOSICION DE URGENCIA.**- Exposición excepcional prevista en caso de urgencia o de necesidad imperiosa.
- **EXPOSICION ACCIDENTAL.**- Exposición imprevista que puede originar una irradiación o absorción de sustancia radiactivas superior al valor máximo admisible.
- **EXPOSICION ACCIDENTAL.**- Exposición imprevista, que puede originar una irradiación o absorción se sustancias radiactivas superior al valor máximo admisible.

UNIDADES

- CURIE: Unidad de radiactividad; cantidad de un nuclido radiactivo cualquiera cuyo número de desintegración por segundo de 3.7×10^{10} .
- RAD : Unidad de dosis absorbida; es igual a 100 ergios por gramo.
- REM : Dosis de radiación ionizante absorbida cuya eficacia biológica es igual a la de 1 Rad de rayos x, la dosis en Rem es igual a la dosis en Rad multiplicada por el factor correspondiente.

DOSIS

- **Dosis adsorvida** .- Cantidad de energía que una radiación ionizante transmitida a la unidad de masa de sustancia irradiada, en el punto considerado.
- **Dosis de importancia genética**.- La dosis de importancia genética recibida por la población es el promedio ponderado de la dosis en las gónadas, estableciéndose el coeficiente de ponderación en función del número probable de hijos que serán concebidos.

IV.2 CRITERIOS BASICOS PARA LA APLICACION

El uso de radiosótopos, como pozos o para otros campos

de aplicación, deben estar dentro de las consideraciones de salud y seguridad. Cumpliendo con las recomendaciones de la ICRP (International Commission on Radiological Protection) se debe tener en cuenta tres criterios básicos que gobernarán esta clase de usos:

- 1) **Justificación de la Metodología.**- Los beneficios resultantes de la aplicación serán suficientes para justificar los eventuales riesgos que puede resultar de la exposición de radiación ionizante (entiéndase que debe existir una necesidad extrema de recurrir a estas exposiciones).
- 2) **Optimización de las técnicas y procesos.**- Cuando se utilizan fuentes de radiaciones ionizantes se deberá deducir las dosis mediante medidas protectoras a un valor tan bajo como razonablemente se pueda alcanzar, tomando en cuenta los factores económicos, tecnológicos y sociales del país.
- 3) **Limitación de riesgo individual.**- Esto es llevado a cabo, controlando la dosis de radiación en un grupo de individuos, los cuales supuestamente han recibido gran dosis de radiación durante la práctica. Para estos propósitos el concepto de grupo crítico es introducido. Este grupo es elegido de manera representativa de los individuos que reciben los más altos niveles de dosis

durante la práctica particular.

IV.3 SISTEMA DE LIMITACION DE DOSIS

El sistema de limitación de dosis establece una diferencia entre radiación de trabajadores y miembros del público. Las recomendaciones de la ICPR establece lo siguiente:

Para exposición ocupacional, la dosis efectiva es limitado a 0.1 Sv en un período de 5 años (promedio anual de 0.02 Sv) con un límite de 0.05 Sv en cualquier año e incluido el límite anual en la dosis equivalente a la piel y manos de 0.5 Sv y para el globo del ojo de 0,15 Sv. El último es importante en relación con la radiación externa del cuerpo. En el caso de la radiación interna, el límite anual a admitirse es basado en un comite de dosis afectiva de 0.02 Sv. De este modo el límite anual de admisión (ANNUAL LIMITE OF INTAKE ALI) para cualquier radionucleído es obtenido dividiendo el promedio anual de dosis efectiva límite (0.02 Sv) por la comisión de dosis efectiva, $E_{(50)}$, resultante de la admisión de 1Bq de estos radionuclidos.

Para miembros del público, los valores previos tienen que ser reducidos por un factor de 10. Este valor reducido es para aplicarlo al grupo crítico de la población.

También el mismo miembro individual del público podría ser expuesto con o dosis efectiva anual equivalente cercanos a límite para periodos prolongados (varios años), ello será prudente para tomar medidas para resitringir su vida media de dosis efectiva equivalente hasta valores correspondientes al promedio anual de 1 mSv (0,1 Rem).

IV.4 CONTROL REGLAMENTARIO

Ello debe ser puntualizado para la aplicación de radioisótopos para propósitos hidrológicos que requieren la posesión y uso de actividades de materiales radiactivos los cuales son potencialmente dañinos para la salud, por lo tanto, serán regulados. Esta clase de aplicaciones serán llevados a cabo principalmente por personas o grupos de trabajadores que tengan licencia para estos campos específicos de actividad (práctica). Esta licencia es otorgada por la autoridad competente (En nuestro país LA AUTORIDAD NACIONAL competente para supervisar y fiscalizar el uso de materiales radiactivos es el INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR). Para el licenciamiento los candidatos deberán cumplir los siguientes requisitos:

- I) Un razonable grado de formación teórica en protección radiológica, y obviamente en hidrológia.

II) Experiencia práctica en el campo para el cual la licencia es requerida.

III) Equipamiento básico para medición de radiactividad, y protección radiológica, incluyendo dosímetros, apropiado manejo de herramientas para materiales radiactivos, contenedores para transporte, sistemas de blindaje., etc son altamente requeridos.

Por otra parte, debido a la larga diversidad de aplicaciones y riesgos asociados, este licenciamiento, en general no puede cubrir todos los requerimientos de control y un control individual complementario de cada práctica u operación llevado a cabo por el consumidor puede ser necesario y será efectuada por la autoridad competente. Este control complementario es debido al hecho que algunos grupos de individuos pueden ser expuestos a radiaciones ionizantes en otras prácticas y la autoridad competente tiene una apropiada posición para evaluar el riesgo total que afectan a ellos.

Este control complementario puede ser llevado a cabo a diferentes niveles dependiendo del grado de riesgo de cada práctica u operación. tres categorías de control reglamentario son definidos por la norma básica de manejo.

CATEGORIA 1.- Licenciamiento Obligatorio

Cada práctica particular u operación debe ser autorizada en base a un estudio preliminar el cual puede incluir.

- I) Descripción y justificación del propósito del experimento.
- II) Descripción del procedimiento de operación y equipo necesario.
- III) Análisis del riesgo radiológico de los trabajadores y público en general.
- IV) Estudio de protección para situaciones de emergencia.

CATEGORIA 2.- Registro y Notificación

Este es un sistema de autorización general en el cual los detalles precisos pueden ser extraviados, pero para lo cual la autoridad competente tiene una apreciación general de la situación nacional.

CATEGORIA 3.- Excepción del control reglamentario.

Prácticas específicas u operaciones pueden ser exceptuadas del control anteriormente mencionado. La autoridad competente especificará las condiciones bajo la

cual al excepción es autorizada.

IV.5 CONSIDERACIONES GENERALES DE SEGURIDAD

Las especificaciones recomendadas e las normas básicas de seguridad para radioprotección, también regulará el uso de materiales radiactivos para propósitos hidrológicos. Sin embargo estos tipos de usos tienen características específicas el cual supone una particular interpretación de algunas de estas recomendaciones. Estas características son las siguientes:

- 1) Usualmente, los materiales radiactivos tiene que ser usados en campo abierto y la clasificación de áreas de trabajo tienen una diemensión diferente.
- 2) La técnica nuclear basada en el uso de radiotrazadores artificiales tiene frecuentemente corta duración (horas o días) y afectan pequeñas áreas (algunos kilómetros cuadrados o menos) y el experimento es único o raramente repetido en un corto plazo.
- 3) Los factores y parámetros que gobiernan la dispersión al soltar material radiactivo en el medio ambiente unicamente sera estimado en una forma aproximada. En muchos casos la determinación de estos parámetros constituye el objetivo del experimento.

IV.6 SEGURIDAD PARA EL PUBLICO

El principio básico a seguir es que la cantidad de radionucleídos presentes en el medio ambiente será limitado para que el máximo permisible de admisión anual para miembros del público no sean excedidos y esa exposición de radiación debe mantenerse tan bajo como sea posible, o practicable.

Muchos de los factores que gobiernan la dispersión de material radiactivo soltados en el medio ambiente no son conocidos. Sin embargo un cuidadoso estimado será hecho de la probable concentración en varios componentes, la variación de estas concentraciones con el tiempo y de la cantidad que pueden ser ingestados por miembros del público. Esto requiere la identificación de la senda crítica de la artesa el cual alcanzará al hombre y la identificación del grupo crítico de individuos de riesgo tamaño edad, hábitos de comidas etc. de éstos grupos son parámetros importantes a tomar en consideración.

Apropiados factores de seguridad serán aplicados tomando en consideración el carecimiento de conocimiento preciso de los parámetros pertinentes. En composición de estos estimados ello puede ser necesario a tomar en consideración cualquier inusual dieta y otro hábito de los miembros del público.

En todos los casos la cantidad de radionucleídos soltados en el medio ambiente se mantendrán a un mínimo, determinado por la sensibilidad del instrumento de medición. La vida media del trazador será suficientemente larga a fin de proveer la información deseada, pero no demasiado larga para evitar problemas de contaminación del medio ambiente. Además la forma química del trazador usado será estable en la artesa del medio ambiente, ello evitará descomposición en sustancias que puedan ser consumidos por el público.

IV.7 SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES

Todos las condiciones de seguridad consideradas en el laboratorio, deben ser considerados idénticos para aplicaciones en el campo. Sin embargo el campo de trabajo, impone algunas dificultades especiales. La sensibilidad del equipo portátil de monitoreo generalmente disponible no puede ser alta como el disponible dentro del laboratorio. además el blindaje que puede obtenerse en el campo puede ser menos efectivo que el obtenido en el laboratorio. A causa del alto nivel de radiación de fondo ello será más difícil de detectar la difusión de contaminación la cual puede afectar al trabajador. El estado del tiempo y otros factores físicos pueden disminuir la usual competencia de un trabajador, y no poder ejecutar un trabajo limpio y prudente. El vestido protector puede perder alguna eficacia cuando se usa en campo.

La identificación y clasificación de áreas de trabajo de acuerdo al nivel potencial de exposición, no puede hacerse en forma eficiente como en el laboratorio. Una especial atención será puesto en casos de experimentos donde un trazador radiactivo es soltado en el medio ambiente, este puede viajar largas distancias. En estos casos un control del área será definido en orden a evitar sobre exposiciones afectando a miembros del público.

Además, deben tomarse las siguientes disposiciones:

- i) Optimización de la operación para el cual una simulación puede ser necesario.
- ii) Control de exposición de radiación de los trabajadores usando dosímetros.
- iii) Monitoreo de personas, materiales y sitio de trabajo.
- iv) Vigilancia médica cuando la exposición anual de radiación podría exceder tres décimos del límite de dosis equivalente.

IV.8 SEGURIDAD EN TRANSPORTE

Las operaciones de transporte serán devididos en tres diferentes partes:

- 1) Transporte del trazador hasta el punto de

realización.

- 2) Transporte de muestras.
- 3) Transporte de equipo contaminado de retorno el centro o el laboratorio.

IV.8.1 TRANSPORTE DEL TRAZADOR AL PUNTO DE REALIZACION

El transporte debe seguir alguna reglamentación local o en su ausencia la reglamentación del ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA y ello debe ser acompañado por un STAFF de miembros de regulación los cuales observaran contenedores, rotulados, blindados y publicación.

IV.8.2 TRANSPORTE DE MUESTRAS

En general el transporte de muestras después del experimento del campo al laboratorio no involucrará ninguna dificultad a causa de actividades pequeñas que son exceptuadas para la regulación de transporte.

IV.8.3 TRANSPORTE DE EQUIPO EXPERIEMNTAL CONTAMINADO HASTA EL LABORATORIO

Antes del experimento con el trazador, se prepara el material de embalaje (incluyendo, contenedores

sacos, y blindaje) para el transporte del equipo contaminado después del experimento. Dependiendo de los niveles de radiación y contaminación, será necesario cumplir con los requerimientos de embarque del reglamento de transporte pertinente. Si medios normales de transporte son usados, ello requerirá su propio embalaje y rotulado; por otra parte si es posible usar un vehículo especial aprobado por el reglamento de transporte de materiales radiactivos.

IV.8.4 SEGURIDAD EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

La naturaleza y actividad de materiales radiactivos usados para propósitos hidrológicos no son aptos para producir accidentes catastróficos, desde el cual las pérdidas de vidas humanas pueden ser derivados. En realidad un accidente relacionado con el uso de radioisótopos en hidrólogia, jamás han sido reportados.

Sin embargo exposiciones altas para los trabajadores y miembros del público es posible. Alguna situación anormal será reportado a la autoridad competente (IPEN) quienes realizarán estas evaluaciones.

Posibles accidentes pueden ocurrir como resultados

de ciertas actividades, como la pérdida de material radiactivo o derramamiento de material radiactivo en el área de trabajo. En ambos casos se toman medidas para mitigar los efectos del accidente y retornar a las condiciones locales normales, tan pronto como sea posible.

CAPITULO V

SELECCIÓN DE TRAZADOR Y MÉTODO - PROTECCIÓN RADIOLOGICA

V.1 INTRODUCCIÓN

La investigación de muchos problemas hidrológicos requiere el uso de trazadores de trazadores artificiales. Los trazadores no radiactivos juegan un rol importante. Pero ellos no pueden resolver algunos problemas difíciles de trazadores en agua. Los trazadores radiactivos son los más apropiados cuando se requiere hacer la medida "in situ", y especialmente en casos de investigación en aguas subterráneas.

V.2 SELECCIÓN DEL TRAZADOR ISOTOPICO

Para nuestra experiencia se ha tenido en cuenta que el trazador reúna las siguientes condiciones:

- a) Ser medible y detectable en bajas concentraciones.
- b) Ser estable en el medio acuoso.
- c) Baja o ninguna toxicidad.
- d) Fácil producción en el REACTOR- RP-10 (RACSO).

- e) Ser emisor de radiación gamma, fácilmente detectable "in situ".
- f) Tener un período de vida media muy corta acorde con la duración de la experiencia.
- g) Para el caso de velocidad el trazador no debe ser retenido apreciablemente por los estratos subterráneos. sin embargo para el caso de dirección el flujo el trazador debe ser adsorvible y establecer intercambio iónico con la malla que se piensa utilizar.

V.2.1 VELOCIDAD HORIZONTAL

Se ha creído conveniente utilizar el radioisótopo I-131 por cumplir con las condiciones anteriormente descritas, y además por que en la bibliografía se tiene mayor información a cerca de sus beneficios en aguas subterráneas.

CARACTERÍSTICAS DEL ISÓTOPO

Isótopo blanco	: DIOXIDO DE TELANO (TeO_2)
Isótopo producto	: IODO - 131
Vida media	: 8.05 días
Radiación	: Gamma (0.36 Mev)
τ	: 0.225 Rm^2/hci

V.2.2 DIRECCIÓN Y SENTIDO DE FLUJO

Debido al principio de la técnica se ha tenido que seleccionar un trazador adsorbible, específicamente aquél que establezca intercambio iónico con la malla, y el único trazador asequible es el oro-198 en forma de cloruro aúrico.

CARACTERÍSTICAS DEL ISÓTOPO

Isótopo blanco	: ORO - 197
Isótopo producto	: ORO - 198
Vida media	: 2.695 días
Radiación	: Gamma (0.41 Mev)
τ	: 0.23 Rm^2/hci

V.3 SELECCIÓN DEL TRAZADOR NO ISOTOPICO

Se ha elegido un trazador no isotópico para la determinación de velocidad de flujo, que sea de fácil adquisición y bajo precio y el trazador que reúne estas condiciones es la sal.

La concentración de sal es función de la conductividad eléctrica y es un medio importante de investigación en hidrología. Su medida rápida y precisa no tiene ni dificultad de deducción ni aparellaje complicado.

La unidad de conductividad σ , es el (mho) ohmio⁻¹/cm ó Siemens por cm. como las conductividades se expresan como números mocrosiemens x cm.

V.4 SELECCIÓN DEL MÉTODO

V.4.1 VELOCIDAD

Se decidió utilizar el método de dilución (Marcado instantáneo, de toda la columna piezométrica) por las siguientes razones:

- La gran versatilidad de la aplicación, pues la técnica es aplicable en cualquier tipo de piezómetro.
- La elevada obtención de los resultados debido a que todo el piezómetro se investiga de una vez, obteniéndose un perfil del flujo natural.
- Bajo precio del equipo que se introduce en el piezómetro.

V.4.2 DIRECCIÓN Y SENTIDO DE FLUJO

Para esta investigación se hará una variación en la técnica debido a que no se cuenta con el equipo

adecuado. La inyección se realizará de manera similar al marcado total que se aplicará en la técnica de velocidad. Sin embargo aquí hay que afinar el método de aplicación con el ensayo de laboratorio.

V.5 PROTECCIÓN RADIOLOGICA

V.5.1 ASPECTOS GENERALES

Los riesgos radiactivos para nuestros sentidos son análogos al riesgo eléctrico: son insidiosos, por que son impalpables, invisibles, inodoros y no pueden ser descubiertos ni medidos sin aparatos especiales.

La protección radiológica ocupacional es la disciplina que coordina las investigaciones, trabajos y técnicas de radioprotección destinados a prevenir y minimizar la exposición a las radiaciones ionizantes de aquellos individuos que por su trabajo están sometidos a los riesgos radiactivos.

V.5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RIESGOS RADIOLOGICOS

Existen dos clases de riesgos radiactivos.

- La irradiación externa.
- La irradiación interna o contaminación.

Hay irradiaciones externas cuando el cuerpo humano está sometido a las irradiaciones emitidas por una fuente exterior (fuentes radiactivas o máquinas generadoras de radiación con protección insuficiente).

En este caso la acción nociva toma fin desde el momento que el individuo abandona el campo de irradiación. La dosis recibida es función de la intensidad de la radiación y del tiempo de exposición.

La contaminación del aire, de superficie o de un líquido por un aerosol o un gas radiactivo puede ocasionar irradiación externa del organismo si el radionucleído penetra al interior del mismo.

- **Por inhalación.**- En la forma de gas, aerosol o polvo, conducido dentro de los pulmones por el aire respirado.
- **Por ingestión.**- De radionucleidos disueltos en el agua de bebida o incorporado en los alimentos.
- **Por vía transcutánea.**- Para ciertos elementos como el tritio capaces de atravesar la piel.

Producida la incorporación del radionucleído, la irradiación interna se prolonga hasta la eliminación del mismo.

El tiempo requerido es función del período radiactivo y el período biológico del nucleído.

V.5.3 PROTECCIÓN CONTRA LA IRRADIACIÓN INTERNA PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN

La penetración de sustancias radiactivas en el interior del cuerpo, ocasiona la irradiación interna de una parte o de todo el organismo, dependiendo de las propiedades químicas de la sustancia incorporada.

El contacto físico con una fuente radiactiva se denomina contaminación, que será externa o interna según que la sustancia radiactiva haya o no penetrado en el organismo.

Si bien la contaminación externa es menos nociva igual resulta indeseable, por que generalmente constituye el paso previo a la incorporación de la sustancia radiactiva.

A diferencia de la irradiación externa la cual desaparece cuando se ha abandonado el lugar donde existe ese riesgo, la irradiación interna continua mientras subsiste el depósito radiactivo, cuya eliminación depende de los períodos físicos y biológicos del contaminante.

La utilización de equipos de protección individuales y de vestimenta especiales, tienen por objeto esencial impedir la contaminación de la piel y de prevenir la inhalación y la ingestión de radioelementos. Estos equipos no deben en ningún caso ser considerados como de uso normal para paliar la insuficiencia de una instalación.

Las sustancias radiactivas, al igual que otros tóxicos, pueden ganar entrada al interior del cuerpo por inhalación, ingestión o absorción.

1.- INHALACION

Ciertas sustancias radiactivas, que por encontrarse finamente divididas pueden hallarse en suspensión en el aire, formando aerosoles radiactivos, ingresan al organismo a través del aparato respiratorio.

Igualmente pueden hacerlo las sustancias radiactivas gaseosas, en forma de vapores y los sólidos en suspensión.

La protección individual de las vías respiratorias se materializa por el empleo de

aparatos respiratorios filtrantes (máscaras) con filtros mecánicos o químicos y los aparatos respiratorios aislantes, generalmente a circuito abierto donde el aire respirado proviene de una botella de aire comprimido.

2.- INGESTIÓN

La ingestión de bebidas y alimentos contaminados a la transferencia táctil de radioactividad a la boca producen una contaminación interna.

La contaminación de manos y dedos con los que se toman alimentos u objetos que se llevan a la boca, es una corriente de incorporación del material radiactivo a través del aparato digestivo.

Dentro de los lugares donde existe el riesgo de contaminación es de práctica el empleo de indumentaria especial; vestimenta enteriza, guantes, cubrezapatos, etc. que se utilizan con el objeto de interponer una barrera fácilmente descontaminable o desechable, entre cuerpo y contaminación.

3.- ABSORCIÓN

Algunas sustancias tienen la particularidad de difundir a través de la piel y de esta forma fijarse en el cuerpo, tal es el caso del agua tritiada que es absorbida por el organismo de igual forma que el agua ordinaria.

En el caso de poseer o producirse heridas cortantes, las sustancias radiactivas pueden incorporarse por contacto a través del torrente sanguíneo.

Las medidas de protección individual dependiendo de las características del contaminante. Para el agua tritiada se emplean prendas impermeables dependiendo también de la concentración de la misma en el aire para determinar el aislamiento a proveer al trabajador.

V.5.4 REGLAS PRACTICAS PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN

- No manipular con las manos desnudas.
- No pipetear líquidos por aspiración bucal.
- No fumar, comer y beber dentro de la zonas con riesgo de contaminación.
- No introducir dentro de estas zonas alimentos,

- bebidas, cigarrillos, cosméticos.
- Señalar los objetos contaminados con etiquetas normalizadas.
 - Lavarse las manos frecuentemente.
 - Proveer recipientes reservados para los residuos radiactivos.
 - No dejar subsistir una contaminación que puede ser fácilmente eliminada o en caso, contrario fijarla y descontaminarla lo más pronto posible.

V.5.5 LA DESCONTAMINACIÓN

Recibe tal denominación al proceso que consiste en eliminar la contaminación radiactiva del exterior del cuerpo superficies u objetos con el fin de remover el material radiactivo y evitar el posible ingreso por inhalación, ingestión o absorción al interior del cuerpo.

La descontaminación es siempre onerosa (en tiempo y dinero), por este motivo también debe tenerse mayor cuidado en no producir contaminaciones. Sin embargo, muchas tareas con material radiactivo producen inevitablemente un cierto grado de contaminación no obstante debe procurarse reducirlo al mínimo y evitar su propagación.

Se tiene tres tipos particulares de descontaminación, pero en todos ellos primero se define claramente los lugares contaminados evaluando la magnitud del medio de técnicas de monitoraje adecuado.

V.5.5.1 DESCONTAMINACIÓN DEL CUERPO

Los elementos primarios para eliminar la contaminación de las manos y otras zonas al descubierto de la piel son el agua y el jabón.

Debe frotarse cuidadosamente las zonas donde la contaminación sea elevada, pero esencialmente no forzar la descontaminación hasta el extremo de causar lesiones cutáneas por las que podría introducirse la sustancia radiactiva.

De no lograrse una descontaminación eficiente se utilizará sustancias especiales hasta remover el material radiactivo por completo cosa que no es siempre posible; por lo que en ciertos casos hay que conformarse con reducir el grado de contaminación por debajo de límites aconsejados.

En caso de contaminación que afecten heridas abiertas por cortes, pinchazos, etc, o en caso de contaminación interna, las medidas que se toman

deben aplicarse siempre bajo la supervisión médica.

V.5.5.2 DESCONTAMIAACION DE SUPERFICIES

La descontaminación en superficies de pisos, paredes mesadas, etc. de la zona de trabajo puede presentarse en forma suelta o bien más o menos fijas.

Mediante un monitoraje preliminar se determinará qué zonas poseen valores de actividad superficial superiores a los admisibles y se adoptarán los superiores a los admisibles y se adoptarán los recaudos necesarios para evitar que se extienda la contaminación a zonas limpias.

La contaminación suelta se elimina mediante aspiradoras previstas de filtros especiales, en los demás casos se prefiere procedimientos de descontaminación por vía húmeda, pudiendo emplearse soluciones jabonosas o descontaminantes especiales. En lo posible debe evitarse el uso de abrasivos para no producir rugosidades donde puede ocluirse el material radiactivo.

V.5.5.3 DESCONTAMIAACION DE OBJETOS

Elementos tales como ropas herramientas, equipos etc. que resultan contaminados son desechados definitivamente cuando "tiempo y esfuerzo" necesarios exceden el valor de estos materiales.

En los demás casos la remoción de materiales radiactivos se realiza mediante procedimientos particulares dependiendo del tipo de elemento y la naturaleza del agente contaminante. También en general valen las consideraciones hechas en el párrafo anterior.

Cuando se conoce que la contaminación proviene de isótopo de período corto, en muchos casos conviene almacenar provisionalmente el objeto contaminado para que su actividad se vaya extinguiendo naturalmente hasta alcanzar valores admisibles.

V.5.6 PROTECCIÓN CONTRA IRRADIACIÓN EXTERNA

Existen tres maneras de protección individual contra la irradiación externa, de aplicación única o concurrente.

1. Tiempo
2. La distancia
3. El blindaje

V.5.6.1 EL TIEMPO

a) Limitación del tiempo de exposición.

La dosis absorbida, proporcional a la duración de la exposición, puede limitarse disminuyendo esta última. Sin un trabajo dado debe ejecutarse dentro de un campo de radiación relativamente alto y son aplicables otros medios de protección, la preparación y repartición " en frío" de la operación, permite generalmente ejecutarla con rapidez.

b) Utilización del decaimiento radiactivo

El decaimiento radiactivo constituye un medio muy eficaz de protección contra la irradiación externa. Así, la protección contra la irradiación externa. Así, la actividad de una fuente se reduce en un factor vecino a 1000 después de un tiempo igual a 10 períodos de semidesintegración del radionucleido, sin embargo, es razonable esperar 30 días para el I-131, pero no podrá utilizarse este método para el Co-60 porque haría falta aproximadamente 53 años para obtener el mismo

resultado.

V.5.6.2 LA DISTANCIA

Este es un método de protección frecuente eficaz y económico para reducir la irradiación externa. La tasa de exposición (es decir la exposición por unidad de tiempo, de una fuente puntual 10 sea que emiten en todas direcciones) decrece según la inversa del cuadrado de la distancia (Ley $1/d^2$).

En un punto dado (a una distancia de la fuente) la tasa de exposición X (R/h) puede calcularse por la fórmula.

$$X = \frac{A \cdot \tau}{d^2}$$

donde:

A = actividad de la fuente

τ = constante específica de radiación
Rm² /hci.

d = distancia (m)

De dicha expresión puede deducirse lo siguiente:

Si llamamos X , la tasa de exposición correspondiente a una distancia de 10 cm. de la fuente a 20 cm. se tendrá una tasa de exposición de $x/4$, a 50 cm, $x/25$ a 100 $x/25$, etc.

En la práctica la protección contra irradiación externa, mediante la distancia se materializa por:

- a) El alejamiento de los operadores con relación a las fuentes.
- b) La utilización de herramientas especiales.
 - Telepinzas
 - Telemanipuladores más o menos complejos.
 - Robots telecomando.
 - Sistemas más rudimentarios donde la ingeniosidad permite frecuentemente encontrar una solución a los problemas.

Aún cuando la manipulación a distancia reduce considerablemente la tasa de exposición normalmente resulta mayores, como consecuencia de las dificultades de manipulación.

V.5.6.3 BLINDAJES

La interposición de materiales apropiados entre la fuente de radiación y las personas expuestas es también un método eficiente para controlar la exposición a las radiaciones externas. Los materiales blindantes se eligen en función del tipo de radiación, siendo muy variado los materiales o sustancias usadas corrientemente (el plomo, hormigón, agua, aluminio, parafina borada, etc.).

La determinación de los espesores necesarios exige que resulte conocida:

- La naturaleza de la fuente y el espectro de energía de la radiaciones emitidas.
- La tasa de exposición pretendida en el exterior de su emplazamiento y locales vecinos.

Caso de radiaciones alfa.

Siendo la radiación alfa poco penetrante, bastará para detenerla un blindaje de espesor ligeramente superior al alcance de dichas partículas en el material blindante.

Como ejemplo típico el alcance para partículas alfa del orden de 5 Mev es aproximadamente el siguiente.

Aire = 4 cm.

Agua = 70 μ .

Plomo = 20 μ .

Casos de radiaciones beta.

La protección contra la irradiación beta debe ser conocida bajo dos aspectos:

1. **El alcance máximo.**— El alcance de la partículas beta en la materia irradiada tiene un valor finito, que depende de la energía máxima de espectro y de las características de la sustancia irradiada.

Con gran aproximación, para los materiales livianos se cumple que el alcance lineal R de los electrones por la densidad δ del absorbente irradiado es una constante, independiente del material.

$$R_1 \cdot \delta_1 = R_2 \cdot \delta_2 \dots\dots\dots = \text{etc.}$$

Por lo tanto, conociendo el alcance R de los electrones en función de su energía para un determinado material puede obtenerse el valor correspondiente cualquier otro utilizando la relación:

$$R_2 = \frac{R_1 \delta_1}{\delta_2}$$

V.5.7 CALCULO DE BLINDAJES

La absorción de la radiación gamma es cuantitativamente diferente de la correspondiente a radiación β o α , mientras que estas radiaciones tienen a su alcance definido en el medio con que se propagan y en consecuencia pueden ser completamente absorbidas; la radiación gamma es solamente reducida en intensidad mediante el aumento de espesores de absorbentes y no puede ser completamente absorbida.

Consideremos, tal como se indica en la figura A, un haz de fotones que incide sobre un determinado material por el orificio circular de los dos colimadores C_1 y C_2 situadas a ambos lados del material absorbente. El detector D registrará aquellos rayos que consiguen atravesar el espesor del material absorbente. Cualquier rayo que interaccione puede

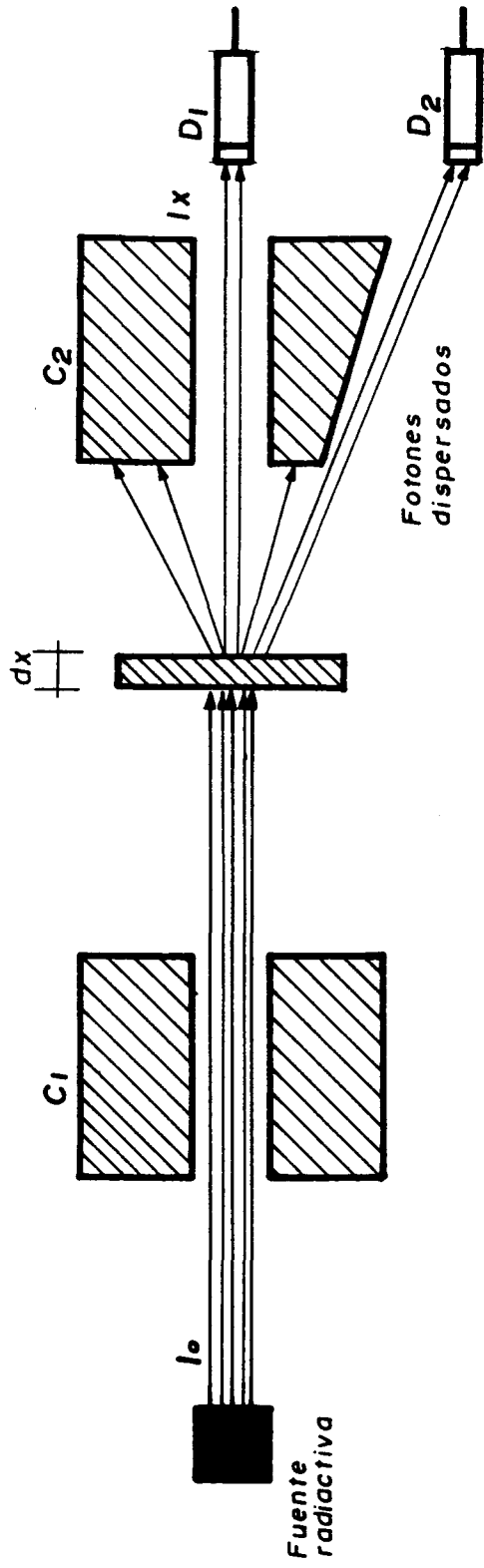


FIG-A Representación esquemática de la atenuación y dispersión de los rayos gamma.

quedar totalmente absorbido por el fenómeno FOTOELECTRICO, experimentar una pérdida parcial de energía, a la vez que un cambio de trayectoria (efecto COMPTON) o dar origen a dos fotones de aniquilamiento a través de la producción de pares. Pero en cualquier caso, los fotones secundarios originados salen en dirección distinta a la del haz incidente,. Este tipo de fotones son los que se registran en el detector D_2 .

Designemos por I_0 a la intensidad del haz de fotones al detector D_1 en ausencia del material absorbente ($dx=0$) y por I_x a dicha intensidad cuando en el camino del haz se ha interpuesto un espesor dx . La diferencia $I_0 - I_x = d_I$ dará el número de fotones que interaccionan con el material por unidad de tiempo. Como es evidente, d_I será tanto mayor cuanto mayores sean los espesores dx y la intensidad del haz I_0 . matemáticamente, d_I viene dado por la ecuación diferencial:

$$d_I = - \mu I_0 dx$$

Donde μ es una constante de proporcionalidad que recibe el nombre de Coeficiente de atenuación. Su valor depende de la energía de los fotones y de la naturaleza del material adsorbente y expresa la probabilidad de interacción de los fotones.

Integrando la expresión anterior entre 0 y x, se obtiene:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

La dimensión de μ tiene que ser la inversa de la tenga x. Si x viene dado en cm, μ lo es en cm^{-1} , llamándose entonces coeficiente de atenuación lineal. Si x se expresa en gr/cm^2 , μ lo será en cm^2/gr y, entonces se denomina coeficiente de atenuación másico.

En la tabla (V.1) se representa algunos ejemplos de coeficientes de atenuación.

TABLA (V.1)

COEFICIENTE DE ATENUACIÓN LINEAL EN cm^{-1} UNIDADES

ENERGÍA Mev	AGUA	HORMIGÓN	ALUMINIO	HIERRO	PLOMO
0.5	0.0966	0.204	0.227	0.651	1.64
1.0	0.0706	0.149	0.166	0.468	0.776
1.5	0.0575	0.121	0.135	0.381	0.581
2.0	0.0493	0.105	0.117	0.333	0.518
3.0	0.0396	0.0853	0.0953	0.284	0.477
4.0	0.0339	0.0745	0.0837	0.259	0.476
5.0	0.0301	0.0674	0.0761	0.246	0.483
8.0	0.0240	0.0571	0.0651	0.232	0.520
10.0	0.0219	0.0538	0.0618	0.231	0.554

TABLA V.1

V.5.8 ADMINISTRACIÓN DE LA PROTECCIÓN RADIOLOGICA

Las características generales de la administración de la protección radiológica, se indicaran en el presente capítulo.

El primer paso en la formulación de un programa de seguridad radiológica, es determinar la naturaleza y la magnitud de los riesgos para la salud y establecer los valores máximos admisibles para la dosis de irradiación y las concentraciones máximas admisibles de las sustancias radiactivas en el aire y en el agua. El riesgo de daños a la salud de las personas expuestas a irradiación a niveles no superiores a estos valores máximos admisibles, se considera que es aceptable. La COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLOGICA, se ha ocupado activamente de establecer y revisar periódicamente dichas dosis máximas admisibles y las concentraciones máximas admisibles (en el aire y en el agua). Al mismo tiempo recomienda que la exposición a la radiación debe reducirse siempre al menor valor prácticamente posible. Este conjunto de valores máximos admisibles tiene gran aceptación como base para el diseño de instalaciones y para la preparación de procedimientos prácticos compatibles con un riesgo aceptable para la salud.

El segundo paso para el desarrollo del programa se refiere al diseño de las instalación o de los dispositivos en los cuales se vaya a utilizar el material radiactivo. Mediante una atención cuidadosa el proyecto y a los detalles de realización de la construcción, se puede conseguir que la instalación posea un grado de seguridad considerable.

El proyecto de la instalación comprende la situación, blindaje y distribución de la zona de trabajo, y, al adoptar el diseño apropiado, hay que considerar muchos factores, como son: el tipo y la cantidad de sustancias radiactivas que se va ha manejar inicialmente, condiciones locales que podrían influir en la dispersión del material radiactivo y la población de las zonas inmediatas.

La seguridad de la operación dependerá, pues, en gran parte, del conocimiento de los riesgos existentes y de la habilidad y escrupulosidad en el uso de los dispositivos de protección. Por esta razón, el trabajador radiológico debe adiestrarse en la técnicas de protección radiológica. Puede adquirir este adiestramiento asistiendo a cursos o trabajando bajo supervisión de una persona calificada y de experiencia.

La persona responsable del programa de seguridad

radiológica en conjunto; debe establecer un sistema de inspección para comprobar si la organización funciona con eficacia y si los niveles de radiación se mantienen a valores mínimos practicables.

La inspección debe tener como objetivo comprobar que:

- a) Los trabajadores poseen, individualmente, la experiencia y el adiestramiento necesario para realizar su trabajo con seguridad y eficacia.
- b) Las características de seguridad inherentes a la instalación, dispositivo, o procedimiento, se utilizan apropiadamente.
- c) Las personas responsables de la seguridad radiológica están familiarizados con procedimientos de trabajo aprobado y con el grado de responsabilidad de cada miembro de la organización y desempeñar sus cometidos satisfactoriamente.
- d) Los registros adecuados de los exámenes mediciones e irradiaciones del personal se mantienen y no es probable que ninguna de las personas de la organización reciba una dosis superior a la admisible.

El éxito de un programa de seguridad radiológica

depende de la eficiencia de la organización de la seguridad y del adiestramiento individual de los trabajadores. Esta eficiencia puede mantenerse únicamente por un interés constante y una cuidadosa inspección en todos los niveles administrativos.

V.5.9 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

a) TRABAJADORES.-

Para el caso del presente proyecto de investigación, no es necesario requerimientos especiales debido a la baja actividad difundida. Sin embargo se dispondrá del tiempo mínimo necesario para el manejo del trazador que será inyectado. Usualmente un período de tiempo corto de 1 minuto será bastante suficiente.

En el caso de estas técnicas que vamos ha usar las recomendaciones especificadas en la sección IV-7 son validas.

b) MIEMBROS DEL PUBLICO.-

Debido a la baja actividad difundida y la baja velocidad del flujo subterráneo de esta práctica depende principalmente de la distancia entre el punto de inyección y el punto donde el agua es recuperado para consumo humano. Esta distancia es

normalmente largo en comparación con la velocidad de flujo, esto generaría que el tiempo que demora el trazador en salir sea largo (semanas o meses) y el decaimiento radiactivo sea tal que, el trazador tendrá una actividad similar al fondo radiactivo natural BACKGROUND; convirtiéndose así en inócua para cualquier ser vivo.

CAPITULO VI

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

VI.1. HIPÓTESIS

- a) La velocidad puede ser obtenida mediante la inyección de un trazador adecuado en un piezómetro y observar la disminución de su concentración en función del tiempo. La variación de la concentración dependerá principalmente de cualquier tipo de flujo que exista dentro del pozo y en menor escala de la difusión del trazador.

- b) Si en un tramo del piezómetro se realiza una inyección de un material radiactivo adecuado, el cual será transportado en la dirección correspondiente al flujo natural. Al cabo de cierto tiempo; la mayor parte del trazador habrá salido del piezómetro y se encontrará en una zona próxima a las paredes del mismo orientada según la dirección y sentido del flujo. Esta orientación se podrá determinar entonces con un

detector colinado.

VI.2. PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Primero realizaremos la prueba de dirección de flujo para luego hacer lo mismo con la velocidad horizontal (VER DIAGRAMA)

VI.3. ENSAYO EN LABORATORIO

Debido a la poca información que existe a cerca de estas técnicas, en nuestro país, a la inexistencia de antecedentes de la aplicación en mención, y a la variedad de casos que pueden presentarse en la práctica de estas técnicas no es posible dar normas fijas sobre el modo de llevar a cabo los trabajos. Es por ello que hemos creído conveniente realizar algunas pruebas de laboratorio.

VI.3.1 OBJETIVOS

- Establecer la actividad necesaria a ser utilizado en el campo. dato importante para la irradiación de la muestra.
- Comprobar la funcionalidad de la técnica.
- Determinar la concentración de ácido necesario

- para que el ORO-198 sea adsorbido por la malla.
- Determinar las condiciones de trabajo y de transporte del radioisótopo a tener en cuenta.
 - Determinar el número de malla a ser usado.
 - Establecer el tiempo necesario que debe permanecer la malla dentro del pozo.
 - Establecer las medidas de seguridad para el público y para el personal.

VI.4. DIRECCIÓN DEL FLUJO

VI.4.1 PRUEBA DE ATAQUE

Consiste en sumergir un pedazo de malla en solución de agua regia más agua; y observar como la malla es atacada.

VI.4.1.1 OBJETIVO

- Determinar la concentración máxima de ácido.

VI.4.1.2 EQUIPOS Y MATERIALES

- 2 vasos graduados de 3 lts.
- 2 pedazos de malla de 5c. x 5 cm.
- Acido clorhídrico
- Acido Nítrico.

VI.4.1.3 PROCEDIMIENTO

A) Se preparó agua regia de la siguiente manera:

1 volumen de ACIDO NÍTRICO

3 volúmenes de ACIDO CLORHÍDRICO

de tal manera que su volumen total sea aproximado 40 ml. o sea:

10 ml. de ácido nítrico

30 ml. de ácido clorhídrico.

B) Se preparó en dos vasos diferentes soluciones diferentes e iguales a:

(i) 20 ml de agua regia por 1980 ml de agua destilada.

(ii) 15 ml de agua regia por 3985 ml de agua destilada.

entonces sus concentraciones fueron para (i) y (ii) 1/100 y 0.5/100 respectivamente.

C) Se sumergió en cada vaso un pedazo de malla de 10 x 10 cm. y se dejó en contacto con la solución durante dos semanas.

VI.4.1.4 RESULTADOS

- La malla sumergida en la solución de 1/100, había sido destruida parcialmente.

- La malla sumergida en la solución de 0.5/100 fue atacada por la solución sin destruirla.

VI.4.1.5 CONCLUSIÓN

- Utilizaremos una concentración máxima del 0.5 /100 para evitar la excesiva composición de la malla.

VI.4.2 PRUEBA DE ADSORCIÓN

Consiste en colocar en un vaso con solución radiactiva, un pedazo de malla y observar la adsorción.

VI.4.2.1 OBJETIVOS

- Determinar en que tiempo la adsorción alcanza su máxima resolución.
- Determinar tentativamente la concentración de ácido para la cual la malla es atacada eficientemente.

VI.4.2.2 EQUIPOS Y MATERIALES

- Detector de centelleo sphymo stel
MODELO : SPP-2-NF
SERIE : 24
Nº : 3643

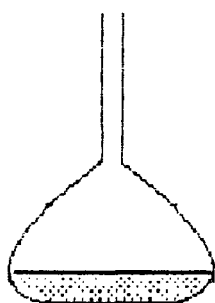
- Colimador 40 % atenuación
- Vasos graduados de vidrio (pirex)
- Malla
- Pinzas
- Ladrillos de plomo (5 cm. espesor)
- Ácido Clorhídrico
- Ácido Nítrico
- Oro
- Papel absorbente
- Guantes desechables
- Dosímetros
- 1 pipeta

VI.4.2.3 PROCEDIMIENTO

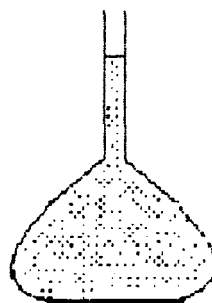
- Se mandó irradiar 30 mg de oro cuyas características fueron:
 - ISOTOPO BLANCO ORO - 197
 - ISOTOPO PRODUCTO ORO - 198
 - PERÍODO SEMIDESINTEGRACIÓN : 2.695 días
 - τ : 0.23 R_{mf}^2 /hci.
 - ACTIVIDAD : 30 mci.
 - DOSIS A CONTACTO : 15 mRem/hora.
 - HORA : 12.00 m.
- El oro irradiado fue transportado en un blindaje adecuado y colocado en un lugar

apropiado que existe en el laboratorio.

- Se procedió a diluir el oro en 10 cm^3 de agua regia, para ello el oro fue cogido con una telepinza y luego colocado en una pipeta con agua regia. todo esto fue realizado en 20 a 30 segundos aproximadamente; evitando así una exposición riesgosa.
- Cuando el oro fue totalmente diluido se procedió a echar agua hasta completar un volumen de 500 ml



**10 ml. de
ORO - 198
Diluido**



**500 ml. de solución
de ORO-198
DILUIDO + AGUA**

Luego a esta solución le llamaremos solución aúrica o solución **A** el cual tenía las siguientes características:

TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FECHA DE IRRADIACIÓN
FUE 5.4 DÍAS ENTONCES LA ACTIVIDAD SERÁ

$$A_f = A_o e^{-\lambda t}$$

donde:

A_f = Actividad final

A_o = Actividad inicial

λ = $\ln 2 \div$ Período de
semidesintegración ($t_{1/2}$).

t = Tiempo transcurrido.

Luego tenemos que:

$$A_o = 30 \text{ mci}$$

$$t = 5.4 \text{ días}$$

$$t_{1/2} = 2.695 \text{ días}$$

entonces

$$A_f = 30 e^{-\frac{\ln 2 (5.4)}{2.695}}$$

$$A_f = 7.5 \text{ mci}$$

Luego hasta esa fecha la actividad del
isótopo ORO-198 es 7.5 mci (en toda la solución
A).

En conclusión:

ACTIVIDAD TOTAL = 0.015 mci/ml. * 1 ml.

ACTIVIDAD TOTAL = 0.015 mci (para la muestra 1)

B) ACTIVIDAD ESPECIFICA DE LA NUEVA SOLUCIÓN

$$\text{ACTIVIDAD ESPECIFICA} = \frac{\text{ACTIVIDAD TOTAL (Muestra 1)}}{\text{VOLUMEN TOT. (Muestra 1)}}$$

ACTIVIDAD ESPECIFICA (muestra 1) = 0.015 mci ÷ 200ml

ACTIVIDAD ESPECIFICA (muestra 1) = 7.5×10^{-5} mci/ml

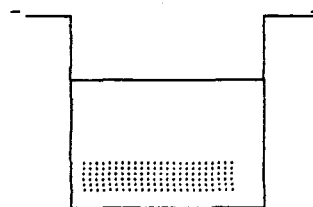
C) CONCENTRACIÓN

Sabemos que la concentración de la solución A es 2 % luego:

- Si tomamos 1 ml de la solución A.

Entonces habrá.

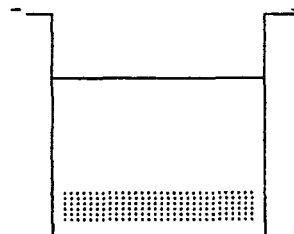
$V_{\text{total}} = 1 \text{ ml.}$



▣ ACIDO = 0.02 ml.

□ AGUA = 0.98 ml.

- Agregamos agua hasta completar 200 ml.



▣ ACIDO = 0.02 ml.

□ AGUA = 200 ml.

CONCENT = 0.01/100

Todo el cálculo anterior se hizo para las demás muestras obteniéndose los siguientes resultados.

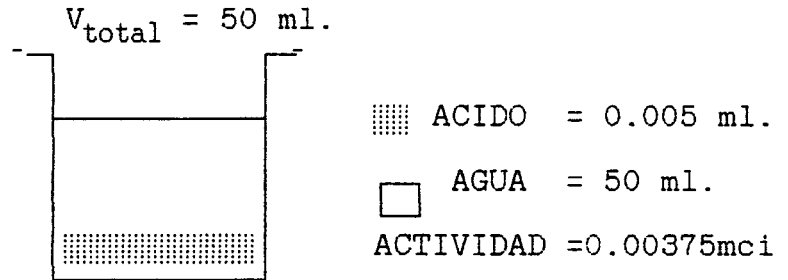
MUESTRA	ACTIVIDAD TOTAL mci	ACTIVIDAD ESPECIFICA mci/ml	CONCENTRACIÓN %
1	0.015	7.55×10^{-3}	0.010
2	0.038	1.90×10^{-4}	0.025
3	0.075	3.75×10^{-4}	0.100
4	0.380	1.90×10^{-3}	0.250
5	0.750	3.75×10^{-3}	0.500

TABLA VI.2

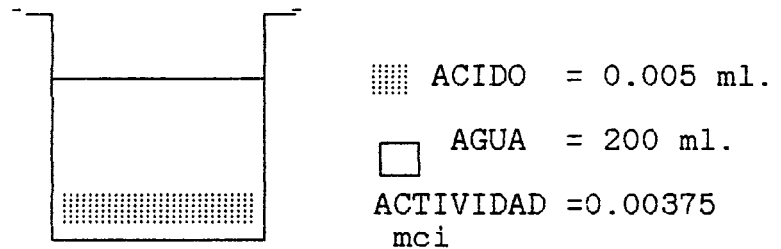
- Se cortó 5 pedazos de malla de 5 cm x 5 cm. aproximadamente.
- Antes de sumergir la malla, se prefirió reducir la concentración, debido a que la actividad podría resultar muy alta, lo que generaría problemas en el transporte también la concentración resultaría posiblemente alta. Entonces decidimos reducir la concentración y actividad a la cuarta parte. se tomó la cuarta parte de cada una de las soluciones y se agregó agua en lo que resta para completar 200 ml.

Ejemplo para la **Muestra 1.**

- Se tomó 50 ml. de la muestra 1, cuya actividad total es 0.15 mci y concentración 0.010%



- Se agregó agua destilada hasta completar 200 ml.



Luego:

$$\text{CONCENTRACIÓN} = 0.005 \div 200 = 0.0025 \%$$

$$\text{ACTIVIDAD ESPECIFICA} = 0.00375 \div 200$$

$$\text{ACTIVIDAD ESPECIFICA} = 1.875 \times 10^{-5} \text{ mci/ml.}$$

- Siguiendo el mismo proceso para las demás muestras, obtenemos la siguiente tabla (VI.3).

CUADRO DE ADSORCION
RADIACION GAMMA (cps)

DATOS GENERALES DE LA SOLUCION RADIATIVA				TIEMPO (horas)									
MUESTRA	CONCEN- TRACION %	ACTIVIDAD ESPECIFICA mci/ml	ACTIVIDAD mci	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1	0.00250	1.875E-05	0.00375	170	300	430	530	500	480	460	450	450	450
2	0.00625	4.750E-05	0.00950	255	450	580	660	600	560	560	520	510	510
3	0.01250	9.500E-05	0.01900	480	560	700	700	660	640	600	600	600	600
4	0.06250	4.750E-04	0.09500	2,100	2,700	2,900	2,750	2,560	2,410	2,300	2,200	2,100	2,080
5	0.12500	9.500E-04	0.19000	3,800	4,000	3,900	3,800	3,720	3,640	3,555	3,515	3,460	3,450

TABLA VI.4

ADSORCION DE RADIACION GAMMA COMPARACION DE MUESTRA

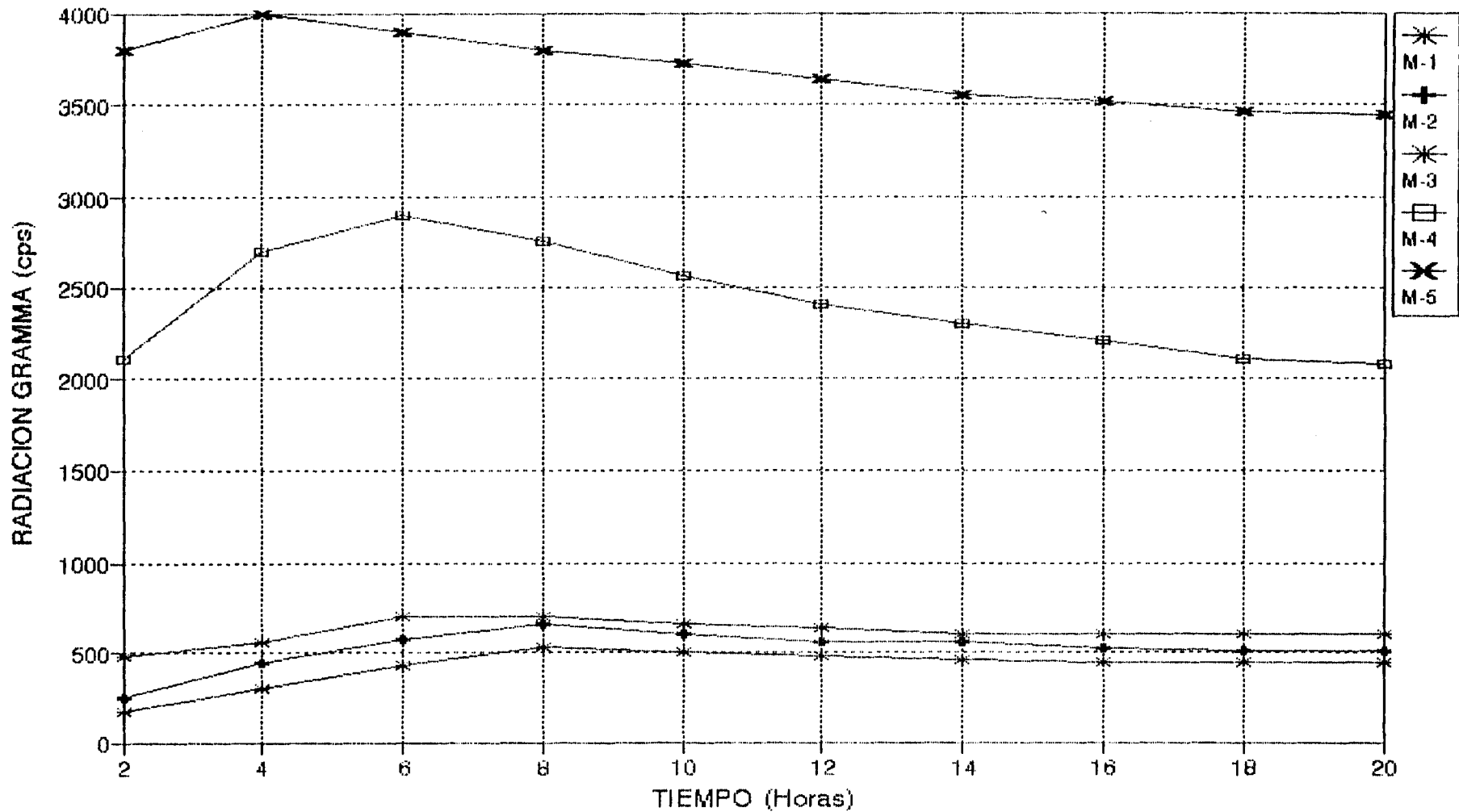


GRAFICO VI.1

ADSORCION DE RADIACION GAMMA MUESTRAS A Y B

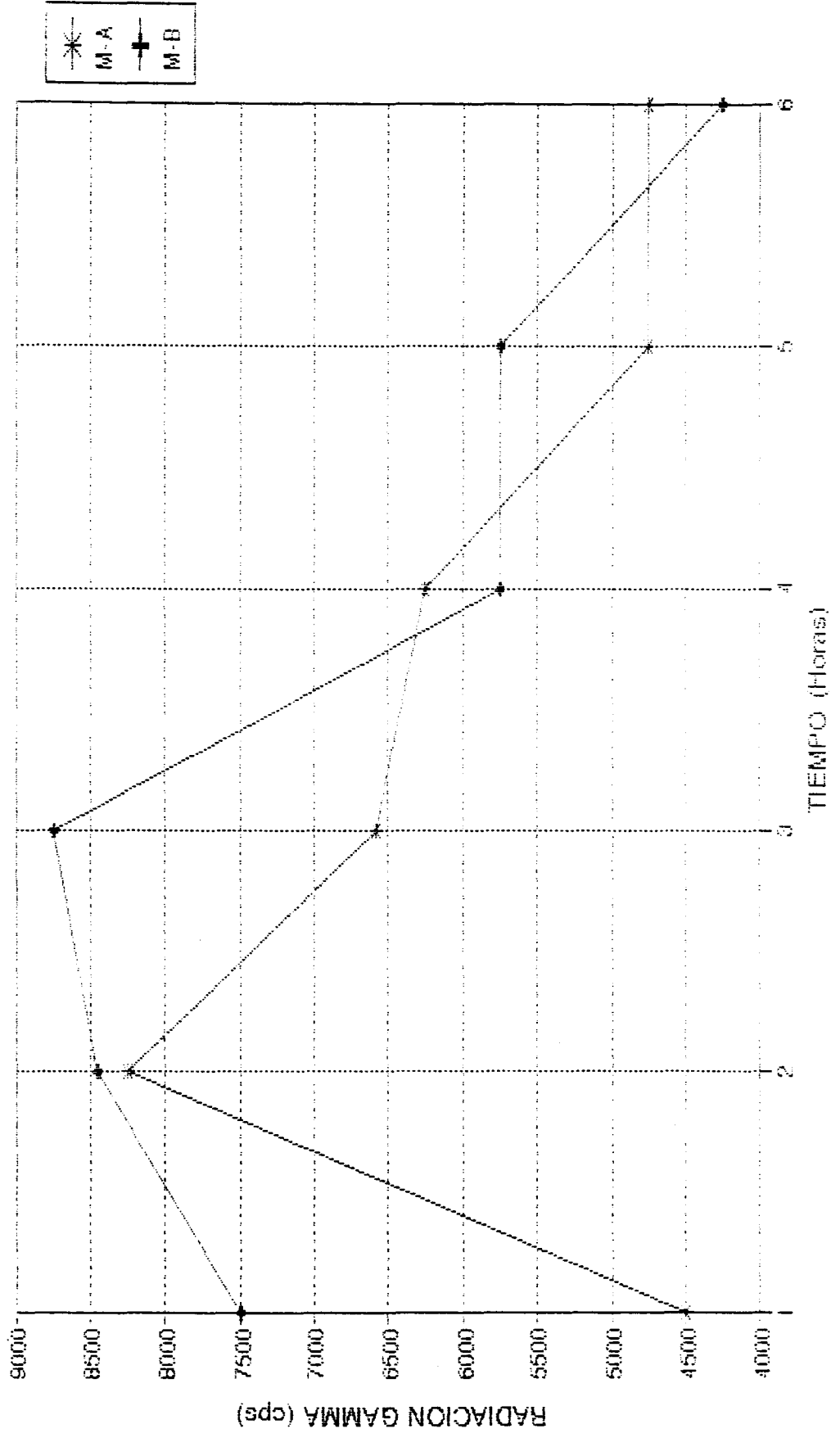


GRAFICO M.2

MUESTRA	ACTIVIDAD TOTAL mci	ACTIVIDAD ESPECIFICA mci/ml	CONCENTRACIÓN %
1	0.0035	1.875×10^{-5}	0.00250
2	0.0095	4.750×10^{-5}	0.00625
3	0.0190	9.500×10^{-5}	0.01250
4	0.0950	4.750×10^{-4}	0.06250
5	0.1900	9.500×10^{-4}	0.1250

TABLA VI.3

- Se midió la radiación de fondo de la malla, mediante un detector colimado, y esta fue de aproximadamente 180 ctas/seg. Cabe destacar que el fondo es de alto por que en el laboratorio existe interferencia de otras fuentes radiactivas.
- Se sumergió un pedazo de malla en cada uno de los vasos y se procedió a efectuar medidas cada 2 horas obteniéndose los siguientes resultados (Ver cuadro de adsorción radiación gamma), ver tabla VI.4.
- Se preparó dos soluciones, la primera utilizando agua destilada más solución A y la otra agua potable más solución A. Para ambos casos la actividad especifica fue de 0.0095 mci/ml., cuyo cálculo fué hecho de la siguiente manera:

TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA IRRADIACION = 6.4 días.

ACTIVIDAD INICIAL (A_0) = 30 mci

$$A_f = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_f = 30 e^{-\frac{\ln 2}{2.695} (6.4)}$$

$$A_f = 5.79 \text{ mci}$$

$A_{\text{esp}} = 0.011 \text{ mci/ml}$ (actividad actual de la solución A).

Luego necesitamos 0.0095 mci/ml para obtener esto procedemos así:

¿CUÁNTO DE SOLUCIÓN A HAY QUE DILUIR EN 200 ml. PARA OBTENER 0.0095 mci/ml?

RESPUESTA

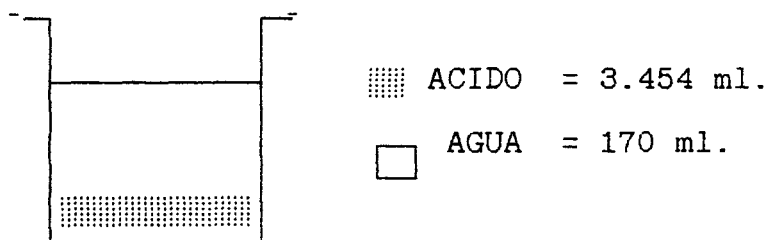
ACTIVIDAD TOTAL = VOLUMEN * ACTIVIDAD ESPECIFICA

$$\text{VOL}_{(1)} * A_{\text{esp}(1)} = \text{VOL}_{(2)} * A_{\text{esp}(2)}$$

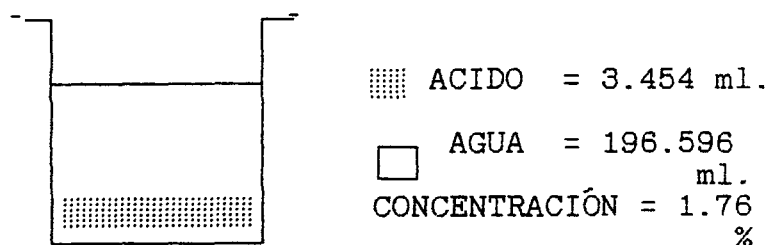
$$200 * 0.0095 = \text{VOL}_{(2)} * 0.011 \text{ mci/ml.}$$

$$\text{VOL}_{(2)} = 172.7 \text{ ml.}$$

- A este volumen de solución A (172.7 ml) se le agrega agua en un volumen de 27.3 ml, completando así los 200 ml. Con una actividad específica de 0.0095 mci/ml.
- De la anterior resulta que la concentración será:
Se tomó 172.7 ml. solución A, entonces en ella hay



- Se llenó hasta 200 ml con agua, entonces



- Se sumergió un pedazo de malla en cada una de las soluciones y se midió cada hora la radiación de la malla.

VI.4.2.4 RESULTADOS (VER TABLA VI.5)

CUADRO DE ADSORCION
RADIACION GAMMA (cps)

DATOS GENERALES DE LA SOLUCION RADIATIVA				TIEMPO (horas)					
MUESTRA	CONCEN- TRACION %	ACTIVIDAD ESPECIFICA mci/ml	ACTIVIDAD mci	1	3	3	4	5	6
A	1.760	0.0095	1.900	4,500	8,250	6,590	6,250	4,750	4,750
B	1.760	0.0095	1.900	7,500	8,450	8,750	5,750	5,750	4,250

TABLA VI.5

VI.4.2.5 CONCLUSIONES

- La curva de absorción tiene una resolución más inmediata, cuando la concentración de ácido es mayor.
- Con agua destilada la curva de absorción adquiere su máxima resolución en un tiempo relativamente menor que con agua potable.
- El tiempo aproximado que deberá permanecer la malla dentro del pozo será aproximadamente 4 horas a 6 horas como mínimo.
- Empezaremos probando con una concentración de 0.05%, puesto que esta concentración es más o menos alta con respecto a las demás concentraciones y debemos asegurarnos que la malla sea atacada. Además debemos considerar que en el vaso, el flujo es estático y eso ayuda a que la resolución sea inmediata.

VI.4.3 PRUEBA EN EL SIMULADOR

VI.4.3.1 INTRODUCCIÓN

Se ha tratado de diseñar un simulador, que

representa lo mejor posible el movimiento del agua dentro de un medio poroso. Después de muchos prototipos planteados en el tablero, se llegó a la conclusión de construir un simulador cuyo detalle se presentará posteriormente.

Cabe destacar que debido a que hasta la fecha no se conoce antecedente alguno de esta técnica, (en nuestro país) es conveniente asegurarnos que la técnica realmente funciona, antes de aplicarlo en el campo.

VI.4.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR

VI.4.3.2.1 MATERIALES Y HERRAMIENTAS

- Un tubo de 10" de diámetro
- Un tubo de 2" de diámetro
- Un tubo de malla de alambre de 2" de diámetro (aproximadamente menor).
- 3 pies cuadrados de acrílico.
- 12 pernos con sus tuercas de $\frac{1}{2}$ " x $1\frac{1}{2}$ ".
- 6 niples roscados de $\frac{1}{2}$ " x 3"
- 6 válvulas.
- 30 m. de manguera de $\frac{1}{2}$ "
- Una empaquetadura de jebe.
- Una tapa de madera o acrílico de 14" de diámetro.
- Una sierra

- Una lima
- Un alicate de mecánico
- Una llave de media
- Dos espátulas
- Un extensor
- Estranguladores.
- Un taladro
- Brocas de $\frac{1}{4}$ " y $\frac{1}{16}$ "
- Tamices de diferentes diámetros.
- Brújula
- Un surtidor de agua.

VI.4.3.2.2 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

- Ejecutar 4 ventanas de 2" x 4" aproximadamente en el tubo de 10", a lo largo y de manera equidistante, para luego taparlo con el acrílico transparente.
- En el tubo de 10" practicar 4 agujeros de $\frac{1}{2}$ " longitudinal y equidistante a ambos extremos del diámetro para luego colocar los niples de $\frac{1}{2}$ " con sus respectivas válvulas.
- Colocar la tapa de 14" de diámetro en el tubo de 10", parte inferior. Con su respectiva empaquetadura.
- Ranurar el tubo de 2" tangencial y alternadamente en tramos intercalados de 30 cm. aproximadamente

- en forma concéntrica, y rellenar con suelo representativo todo el largo de la sección anular.
- Colocar el tubo de malla de alambre dentro del tubo de 2", debidamente orientado (puede ser con respecto al norte)
 - Ver detalle del simulador, figura (18)

VI.4.3.3 ENSAYO EN EL SIMULADOR

En este ensayo se trata de comprobar la técnica aplicando simplemente la lógica, esto es si en el simulador obligamos a fluir el agua en una dirección determinada; cuando apliquemos la técnica en cuestión, el resultado deberá ser compatible con esta dirección. Si ello es así habremos demostrado su eficacia.

VI.4.3.3.1 OBJETIVOS

- Comprobar la funcionalidad de la técnica.
- Afinar ciertos parámetros a usar en el campo.
- Optimizar el método de inyección del trazador.
- Prevenir posibles dificultades que se pueden presentar en el campo.

MALLA CILINDRICA
 $\phi \approx 2''$

TUBO P.V.C
 $\phi = 2''$

RANURAS ESPACIADAS
ALTERNADAMENTE

RELLENO CON MUESTRA
DE SUELO

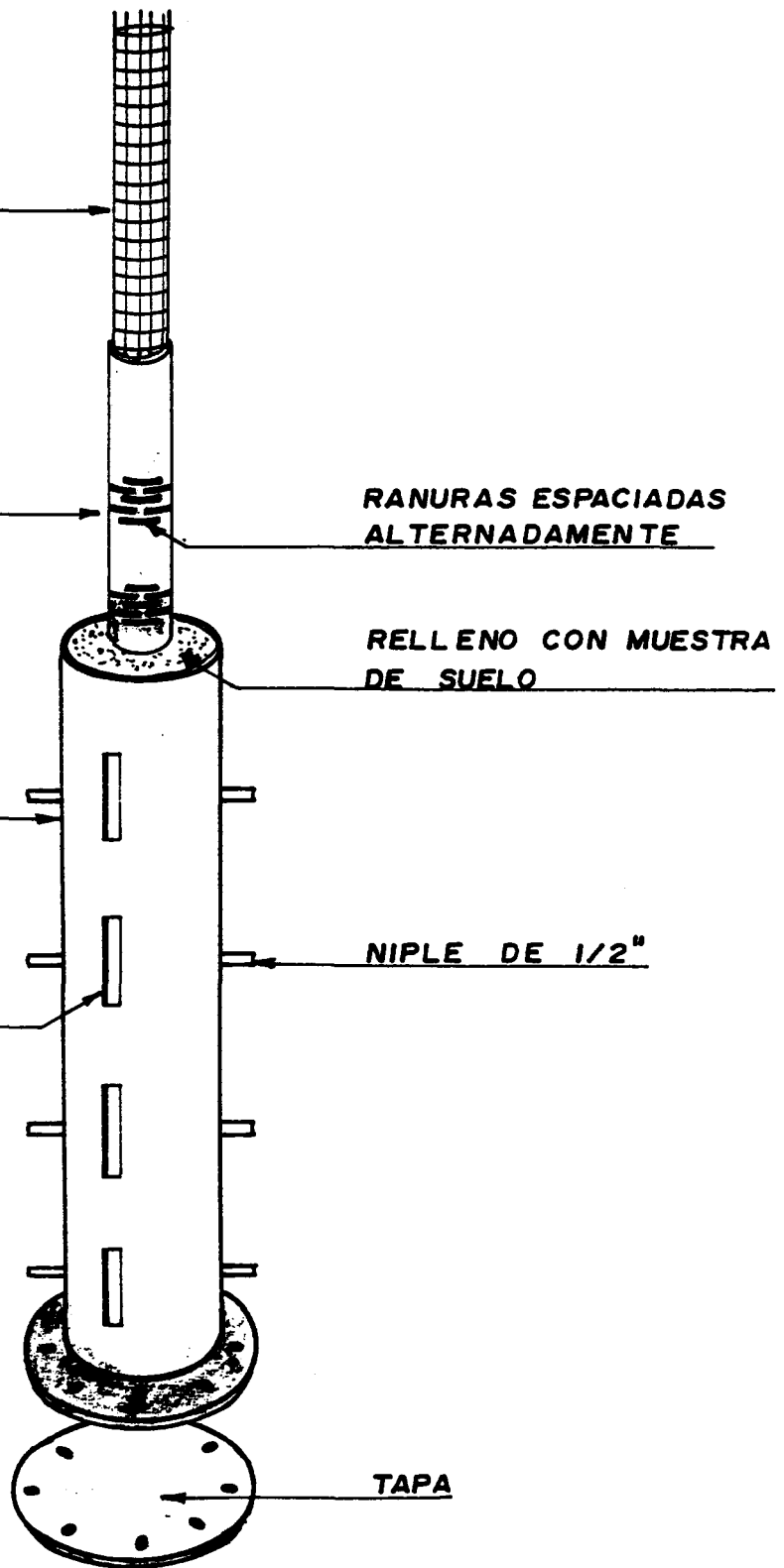
TUBO FIBRA DE
VIDRIO
 $\phi = 12''$

NIPLE DE 1/2''

VENTANA

TAPA

FIG - 18 Detalle del Simulador de Flujo



VI.4.3.3.2 EQUIPOS Y MATERIALES

- Detector de centelleo SAPHIMO.
- Colimador
- Plomo cilíndrico
- Electrobomba.
- Batería
- 1 tanque
- Depósitos de plástico.
- 2 bidones
- Embudo.
- Pilas
- Vasos graduados
- Pinzas
- Guantes de plástico
- Dosímetros
- Rodamina
- Malla cilíndrica
- Acido clorhídrico.
- Acido Nítrico.

VI.4.3.3.3 PROCEDIMIENTO

- Se saturó el simulador
- Se colocó la malla cilíndrica dentro del simulador, debidamente orientada.
- Se reguló los caudales de entrada y salida

- Se preparó la solución a inyectar
- Se colocó dentro del simulador (Pozo_ un tubo de $\frac{1}{2}$ " para realizar la inyección.
- Se realizó la inyección llenando el tubo de inyección con solución radiactiva (oro-198) hasta el nivel de agua.
- Se retiró el tubo de inyección lentamente y a velocidad constante.
- Se dejó el conjunto funcionando durante 4 horas aproximadamente; para luego retirar la malla.
- Se realizó una medida a todo lo largo de la malla con el detector las medidas con el detector (colimado), incidiendo, más en los puntos de salida de agua.

VI.4.3.3.4 PRUEBAS

A) PRUEBA 1

Instalación simulador , ver figura 19

1.- Cálculos previos.-

- VOLUMEN A INYECTAR (V_1)

Diámetro del tubo de inyección (d_1) = 1/2"

Altura de la columna de agua (h) = 2.00 m.

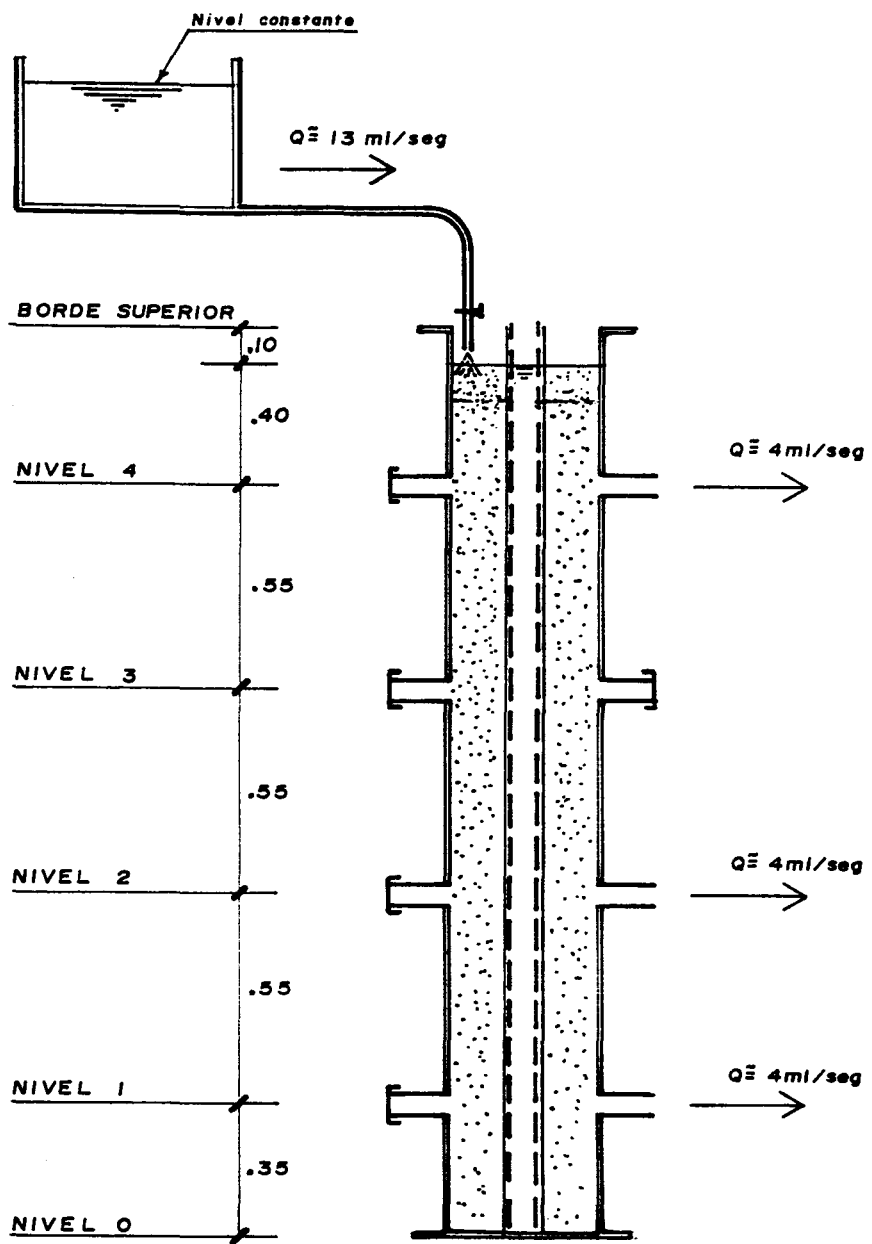


FIG 19. INSTALACION DEL SIMULADOR
PRUEBA N° I

$$V_i = \frac{\pi d_i^2}{4} h$$

$$V_i = \frac{\pi (1.27)^2}{4} 200$$

$$V_i = 253 \text{ ml.}$$

- VOLUMEN DEL POZO (V_p). En el simulador tubo de 2"

Diámetro del pozo (d_p) = 2"

$$V_p = \frac{\pi d_p^2}{4} h$$

$$V_p = \frac{\pi (5)^2}{4} 200$$

$$V_p = 3927 \text{ ml.}$$

- CALCULO DE LA ACTIVIDAD ESPECIFICA ACTUALIZADA DE LA SOLUCIÓN AURICA (SOLUCIÓN A).

$$A_0 = 0.0286 \text{ mci/ml}$$

$$t = 1 \text{ día}$$

$$t_{1/2} = 2.69 \text{ dias}$$

$$A_f = A_o e^{-\lambda t}$$

$$A_f = 0.0286 * e^{-0.26 * 1}$$

$$A_f = 0.0221 \text{ mci/ml.}$$

2 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Concentración requerida en el pozo = $\pm 0.06\%$

Actividad requerida en el pozo = $\pm 4.75 \times 10^4$ mci/ml.

SOLUCIÓN A INYECTAR

SOLUCIÓN	VOLUMEN ml	CONCENT RACION %	ACT. ESPECIF mci/ml	ACT. TOTAL mci	ACIDO ml	AGUA ml
AURICA	83.0	2	0.0221	1.83	1.66	81.34
AGUA	184.0	--	--	--	--	184
AGUA REGIA	1.5	100	--	--	1.50	--
TOTAL	268.5		0.0221	1.83	3.16	265.34

TABLA VI.6

Luego en el pozo se tendrá:

- ACTIVIDAD ESPECIFICA EN EL POZO (A_p)

$$A_p = \frac{\text{ACTIVIDAD INYECTADA}}{V_p}$$

$$A_p = \frac{1.83 \text{ mci}}{3927 \text{ ml}} = 4.6 \times 10^4 \text{ mci/ml}$$

- CONCENTRACIÓN EN EL POZO (%C_p)

$$\%C_p = \frac{\text{VOLUMEN DE ACIDO}}{V_p} \times 100$$

$$\%C_p = \frac{3.16 \text{ ml}}{3927 \text{ ml}} \times 100$$

$$\%C_p = 0.08 \%$$

HOJA DE ENSAYO

DIRECCIÓN DE FLUJO

PRUEBA # 1

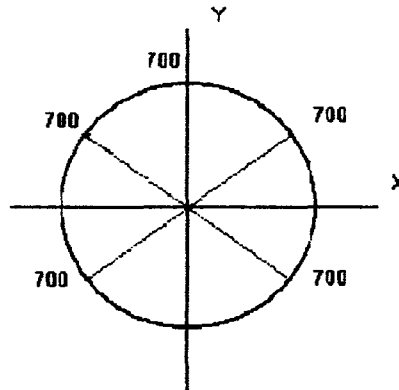
LUGAR : IPEN
DISTRITO : SAN BORJA
PROVINCIA : LIMA
REALIZADO POR : JULIAN VÁSQUEZ COLLANTES

EQUIPO :
Detector de Centelleo (SAPHIMO)
Colimador
Cronómetro
Malla de Muesca de 2x2 cm.

RADIOTRAZADOR : ORO - 198
VIDA MEDIA : 2.69 días
ACTIVIDAD ESPECIFICA-
POZO : 4.6×10^4 mci/ml.
CONCENTRACIÓN-POZO : 0.08 %
HORA DE INYECCIÓN : 10.35 A.M.
HORA DE MEDICIÓN : 2.30 P.M.
OBSERVACIONES :

3 RESULTADOS

- Al realizar las medidas encontramos que la malla a lo largo y en todo el perímetro arrojaba un conteaje uniforme, hecho que desmerece la prueba.



- Se hizo un análisis de por que no funcionaba la técnica y se procedió a hacer la siguiente prueba:
 - Se reguló el caudal
 - Se marcó la columna de agua con rodamina
 - Se esperó la salida del trazador,, pero este demoro mucho en salir.
 - Se observó por la parte superior del simulador y se pudo observar la presencia del trazador en la superficie.

4 CONCLUSIÓN

- La uniformidad en el conteaje se debe a la presencia de flujo vertical muy lento.

- El flujo horizontal no es arrastrado por el flujo de agua en forma eficiente, ello debido a que el flujo sigue la siguiente trayectoria mostrada en la figura 20.
- El flujo horizontal en el simulador no estaba asegurado, ello se evidencia en la demora de la salida de la rodamina.
- Se debe rectificar el simulador, orientando las ranuras del tubo filtrante a la misma altura de la inyección del agua.

b) PRUEBA # 2

Para esta prueba se procedió a desmontar el simulador y a solucionar la falla. Luego se marco con rodamina y se pudo comprobar que el flujo horizontal estaba asegurado.

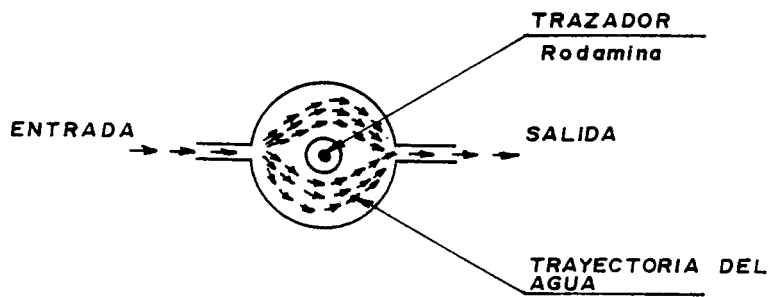
INSTALACIÓN DEL SIMULADOR, ver figura 21.

1) CALCULOS PREVIOS

- VOLUMEN A INYECTAR

Diámetro del tubo de inyectar (d_i) = $\frac{1}{2}$ "

Altura de la columna de agua (h) = 140 cm.



PLANTA

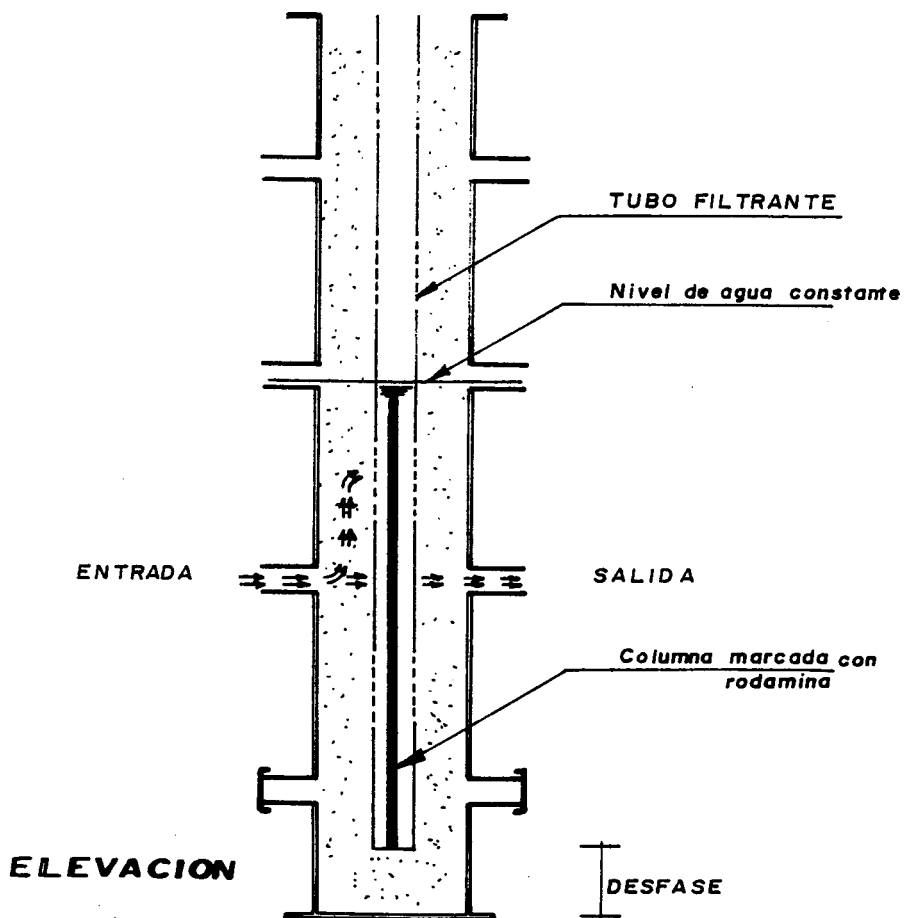


FIG 20 Comprobación del simulador, después de la prueba N° 1 observese que el trazador no es arrastrado por el flujo horizontal.

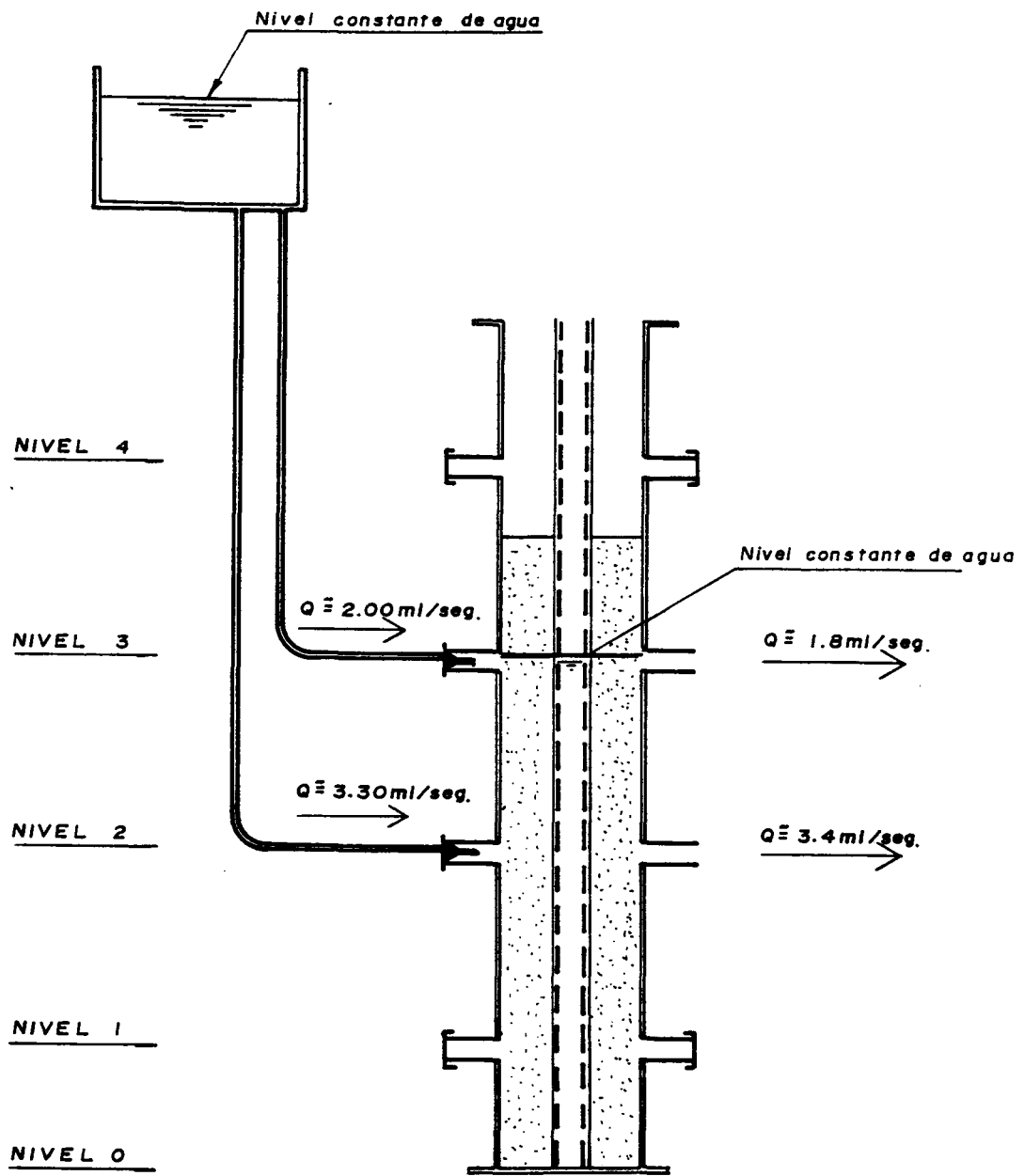


FIG 21 INSTALACION DEL SIMULADOR

PRUEBA N° 2

$$V_i = \frac{\pi d_i^2}{4} h$$

$$V_i = \frac{\pi (1.27)^2}{4} \cdot 140$$

$$V_i = 176 \text{ ml.}$$

- VOLUMEN DEL POZO (V_p)

Diámetro del pozo (d_p) = 2"

$$V_p = \frac{\pi d_p^2}{4} h$$

$$V_p = \frac{\pi (5.08)^2}{4} \cdot 140$$

$$V_i = 2838 \text{ ml.}$$

- CALCULO DE LA ACTIVIDAD ESPECIFICA DE LA SOLUCIÓN AURICA.

Actividad especifica inicial (A_0) = 0.0937
mci/ml.

t = 8 días

$t_{1/2}$ = 2.69 días

$$A_f = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_f = 0.0937 * e^{-0.26 * 8}$$

$$A_f = 0.012 \text{ mci/ml.}$$

2) PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Concentración requerida en el pozo $\pm 0.08 \%$

Actividad requerida en el pozo $\pm 4.75 \times 10^{-4}$ mci/ml

Solución a inyectar:

SOLUCIÓN	VOLUMEN ml	CONCENT RACIÓN %	ACT. ESPECIF mci/ml	ACT. TOTAL mci	ACIDO ml	AGUA ml
AURICA	108	2	0.012	1.3	2.16	105.84
AGUA	38	--	--	--	--	38.00
TOTAL	176			1.3	2.16	173.84

TABLA VI.7

Luego en el pozo se tendrá:

- ACTIVIDAD ESPECIFICA EN EL POZO (A_p)

$$A_p = \frac{\text{ACTIVIDAD INYECTADA}}{V_p}$$

$$A_p = \frac{1.30 \text{ mci}}{2838 \text{ ml}} = 4.5 \times 10^{-4} \text{ mci/ml}$$

- CONCENTRACIÓN EN EL POZO (%C_p)

$$\%C_p = \frac{\text{VOLUMEN DE ACIDO}}{V_p} \times 100$$

$$\%C_p = \frac{2.16 \text{ ml}}{2838 \text{ ml}} \times 100$$

$$\%C_p = 0.076 \%$$

HOJA DE ENSAYO

DIRECCIÓN DE FLUJO

PRUEBA # 2

LUGAR : IPEN
DISTRITO : SAN BORJA
PROVINCIA : LIMA
REALIZADO POR : JULIAN VÁSQUEZ COLLANTES

EQUIPO :
Detector de Centelleo (SAPHIMO)
Colimador
Cronómetro
Malla de Muesca de 2x2 cm.

RADIOTRAZADOR : ORO - 198
VIDA MEDIA : 2.69 días

ACTIVIDAD ESPECIFICA-

POZO : 4.5×10^{-4} mci/ml.
CONCENTRACIÓN-POZO : 0.076 %
HORA DE INYECCIÓN : 12.05 A.M.
HORA DE MEDICIÓN : 4.30 P.M.
OBSERVACIONES :

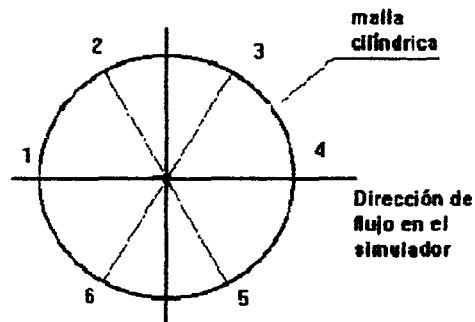
3) RESULTADOS

- De la medición realizada se obtuvo la siguiente información, después de medir alrededor del perímetro de la malla cilíndrica, en el nivel 1 y el nivel 2.

NIVEL	ALTURA cm	RADIACIÓN GAMMA EN cps					
		1	2	3	4	5	6
1	35	200	200	300	450	260	200
2	90	200	180	250	360	230	210

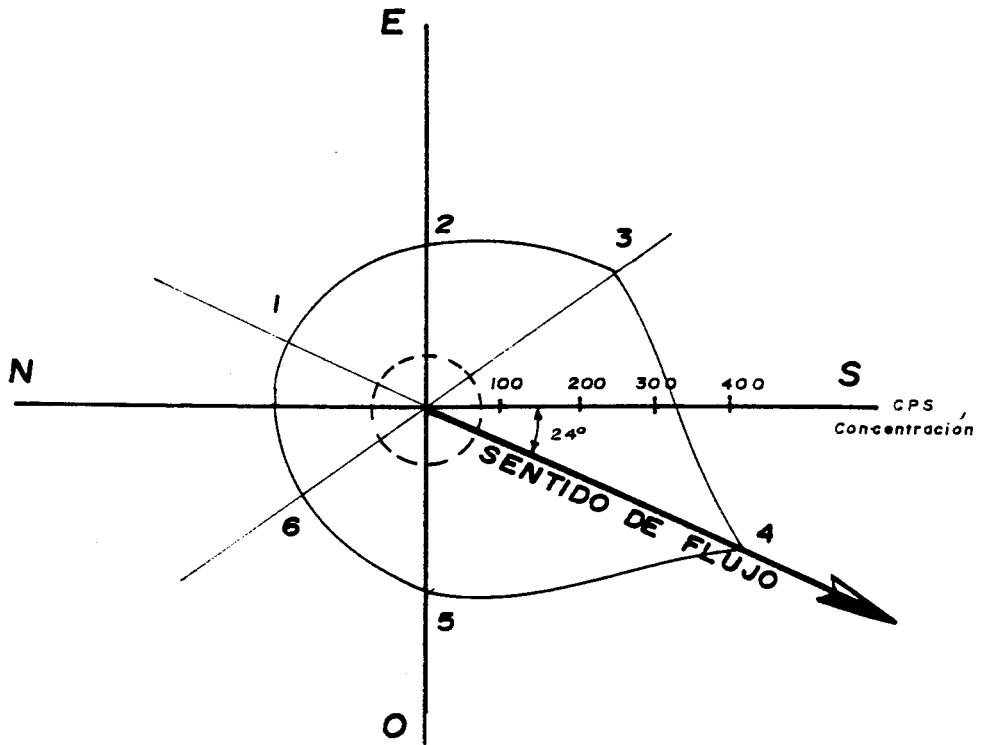
TABLA VI.8

Puntos de medición



Estos datos traducidos en un gráfico de coordenadas polares será. Ver figura 22.

SENTIDO A COMPROBAR S 20° 0



NIVEL 1 SENTIDO DE FLUJO S 24° 0

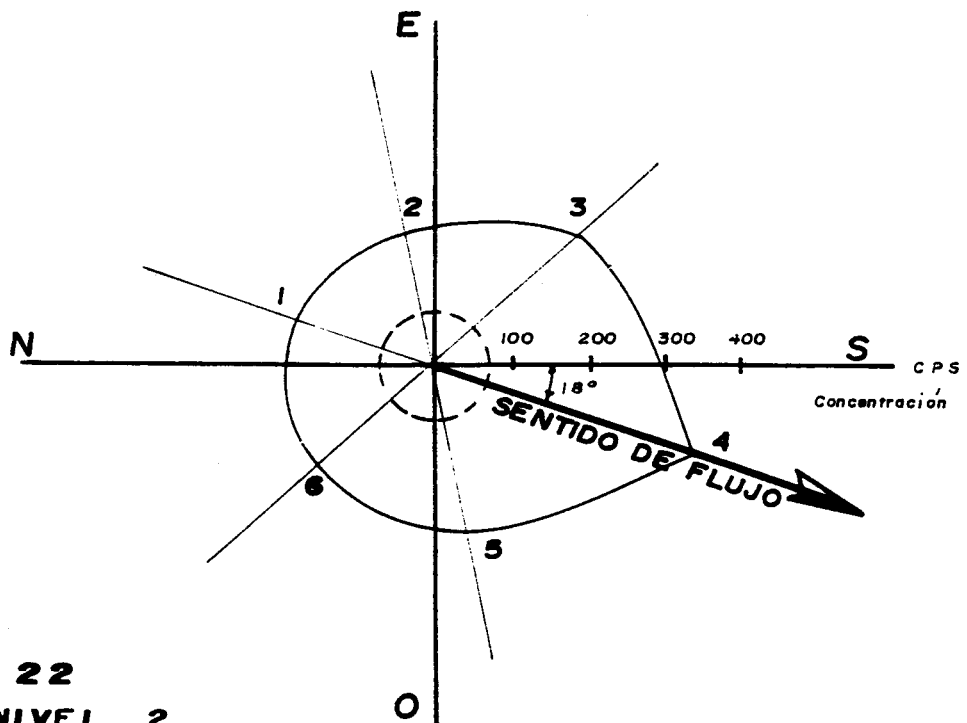


FIG 22

NIVEL 2

SENTIDO DE FLUJO S 18° 0

4) CONCLUSIONES

- Se puede apreciar que la dirección del flujo hallado coincide con la dirección de flujo en el simulador.
- Establecer una técnica de medición más adecuada a fin de asegurar la perfecta funcionalidad de la técnica.

PRUEBA Nº 3

Instalación del simulador, ver figura 23.

1) CALCULOS PREVIOS

- VOLUMEN A INYECTAR

Diámetro del tubo de inyectar (d_i) = $\frac{1}{8}$ "

Altura de la columna de agua (h) = 89 cm.

$$V_i = \frac{\pi d_i^2}{4} h$$

$$V_i = \frac{\pi (1.27)^2}{4} \cdot 89$$

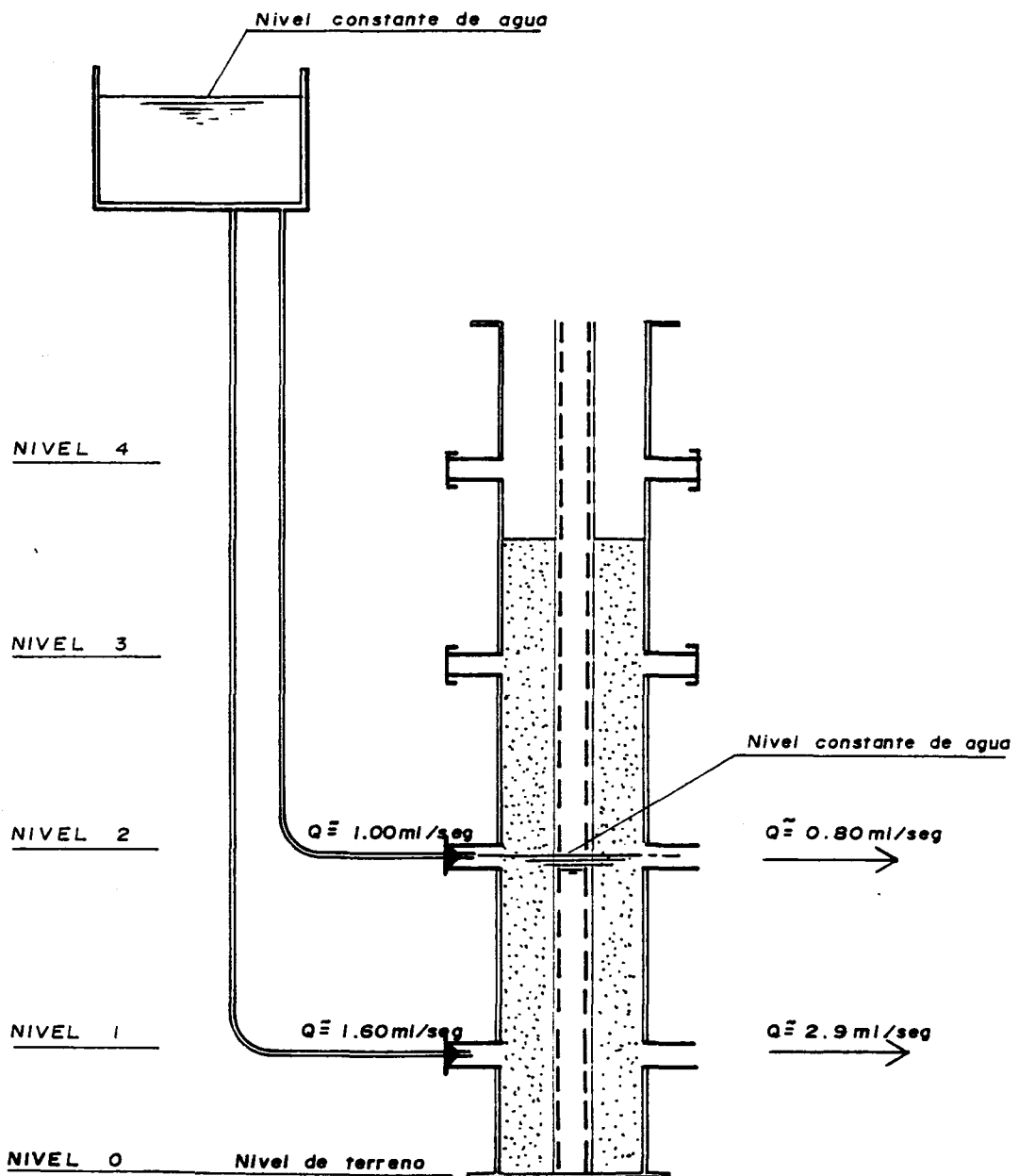


FIG-23 INSTALACION DEL SIMULADOR

PRUEBA N° 3

$$V_1 = 113 \text{ ml.}$$

- VOLUMEN DEL POZO (V_p)

Diámetro del pozo (d_p) = 2"

$$V_p = \frac{\pi d_p^2 h}{4}$$

$$V_p = \frac{\pi (5.08)^2}{4} \quad 89$$

$$V_1 = 1804 \text{ ml.}$$

- CALCULO DE LA ACTIVIDAD ESPECIFICA DE LA SOLUCIÓN AURICA.

$$A_0 = 0.0937 \text{ mci/ml.}$$

$$t = 9.8 \text{ días}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = 2.69 \text{ días}$$

2) PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Concentración requerida en el pozo $\pm 0.12 \%$

Actividad requerida en el pozo $\pm 4.75 \times 10^4$ mci/ml

Solución a inyectar:

SOLUCIÓN	VOLUMEN ml	CONCENT RACIÓN %	ACT. ESPECIF mci/ml	ACT. TOTAL mci	ACIDO ml	AGUA ml
AURICA	113	2	7.5×10^{-3}	0.836	2.26	110.74
AGUA	--	--	--	--	--	--
TOTAL	113	2	7.5×10^{-3}	0.836	2.26	110.74

TABLA VI.9

Entonces en el pozo se tendrá:

- ACTIVIDAD ESPECIFICA EN EL POZO (A_p)

$$A_p = \frac{\text{ACTIVIDAD INYECTADA}}{V_p}$$

$$A_p = \frac{0.836}{1804} = 4.634 \times 10^4 \text{ mci/ml}$$

- CONCENTRACIÓN EN EL POZO ($\%C_p$)

$$\%C_p = \frac{\text{VOLUMEN DE ACIDO}}{V_p} \times 100$$

$$\%C_p = \frac{2.26}{1804} \times 100$$

$$\%C_p = 0.125 \%$$

HOJA DE ENSAYO

DIRECCIÓN DE FLUJO

PRUEBA # 3

LUGAR : IPEN
DISTRITO : SAN BORJA
PROVINCIA : LIMA
REALIZADO POR : JULIAN VÁSQUEZ COLLANTES

EQUIPO :
Detector de Centelleo (SAPHIMO)
Colimador
Cronómetro
Malla de Muesca de 2x2 cm.

RADIOTRAZADOR : ORO - 198
VIDA MEDIA : 2.69 días
VOLUMEN A INYECTAR ; 113 ml

ACTIVIDAD ESPECIFICA

POZO : 4.634×10^{-4} mci/ml.
CONCENTRACIÓN-POZO : 0.125 %
HORA DE INYECCIÓN : 12.00 A.M.
HORA DE MEDICIÓN : 4.00 P.M.
OBSERVACIONES :

3) RESULTADOS

- Se procedió a medir la malla usando para este efecto coordenadas rectangulares, para luego trazar curvas ISOACTIVAS, ver datos en la tabla V.10.
- Se efectuó la construcción de las curvas ISOACTIVAS. ver figura 24.

4) CONCLUSIONES

- Se comprueba nuevamente, que la dirección de flujo es la esperada.
- Las cuentas en este ensayo son muy bajas, y ello puede confundirse con la radiación de fondo; es por ello que continuaremos haciendo otras pruebas.
- Obsérvese en la figura 24 como las curvas isoactivas convergen hacia el punto de salida de agua.

d) PRUEBA Nº 4

Instalación del simulador la misma que en la prueba Nro. 3.

TABLA VI.10

MEDIDAS OBTENIDAS DE LA MALLA PARA
TRAZAR LAS CURVAS ISOACTIVAS

PROFUNDIDAD (m)	PUNTOS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.30	80	90	80	90	110	90	90	75
1.20	80	95	100	110	115	105	95	80
1.10	90	95	95	105	115	110	110	90
1.00	95	90	95	105	120	110	110	90
0.90	95	90	95	100	125	115	105	95
0.80	90	80	80	100	110	115	110	95
0.70	85	75	75	90	110	115	110	90
0.60	80	60	75	90	110	110	110	90
0.50	80	75	70	80	110	110	110	90
0.40	75	75	80	75	110	110	115	90
0.30	75	80	80	80	110	110	115	95
0.20	75	75	80	90	105	115	115	100
0.10	90	95	80	100	100	115	110	100

1) CALCULOS PREVIOS

- VOLUMEN A INYECTAR

Diámetro del tubo de inyectar (d_i) = $\frac{1}{2}$ "

Altura de la columna de agua (h) = 89 cm.

$$V_i = \frac{\pi d_i^2}{4} h$$

$$V_i = \frac{\pi (1.27)^2}{4} \cdot 89$$

$$V_i = 112.74 \text{ ml, aprox} = 113 \text{ ml.}$$

- VOLUMEN DEL POZO (V_p)

Diámetro del pozo (d_p) = 2"

$$V_p = \frac{\pi d_p^2}{4} h$$

$$V_p = \frac{\pi (5.08)^2}{4} \cdot 89$$

$$V_p = 1804 \text{ ml.}$$

- CALCULO DE LA ACTIVIDAD ESPECIFICA DE LA SOLUCIÓN AURICA.

Para esta prueba se irradió un nueva muestra de oro luego fue diluida en 12 ml. de agua regia para después agregar 388 ml. de agua, obteniendo así una concentración de 3%.

La solución aúrica tendrá las siguientes características:

ACTIVIDAD 13.18 mci (dato de producción)

Actividad especifica de la solución aúrica será:

$$A = \frac{13.18}{400}$$

$$A = 0.033 \text{ mici/ml.}$$

2) PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Concentración requerida en el pozo $\pm 0.03 \%$

Actividad requerida en el pozo $\pm 1.50 \times 10^{-5}$ mici/ml.

Solución a inyectar:

SOLUCIÓN	VOLUMEN ml	CONCENT RACION %	ACT. ESPECIF mi/ml	ACT. TOTAL mi	ACIDO ml	AGUA ml
AURICA	0.8	3	0.033	0.0264	0.024	0.776
AGUA	108.0	--	--	--	--	4.230
AGUA REGIA	4.7	10	--	--	0.470	108.0
TOTAL	113.5			0.0264	0.494	113.006

TABLA VI.11

Luego en el pozo se tendrá:

- ACTIVIDAD ESPECIFICA EN EL POZO (A_p)

$$A_p = \frac{\text{ACTIVIDAD INYECTADA}}{V_p}$$

$$A_p = \frac{0.0264}{1804}$$

$$A_p = 1.50 \times 10^{-5} \text{ mci/ml.}$$

- CONCENTRACIÓN EN EL POZO (%C_p)

$$\%C_p = \frac{\text{VOLUMEN DE ACIDO}}{V_p} \times 100$$

$$\%C_p = \frac{0.494}{1804} \times 100$$

$$\%C_p = 0.027 \%$$

HOJA DE ENSAYO

DIRECCIÓN DE FLUJO

PRUEBA # 4

LUGAR : IPEN
DISTRITO : SAN BORJA
PROVINCIA : LIMA
REALIZADO POR : JULIAN VÁSQUEZ COLLANTES

EQUIPO :

Detector de Centelleo (SAPHIMO)
Colimador
Cronómetro
Malla de Muesca de 1x1 cm.

RADIOTRAZADOR : ORO - 198
VIDA MEDIA : 2.69 días
VOLUMEN A INYECTAR : 113 ml.

ACTIVIDAD ESPECIFICA

POZO : 1.50×10^5 mci/ml.
CONCENTRACIÓN-POZO : 0.027 %
HORA DE INYECCIÓN : 12.00 A.M.
HORA DE MEDICIÓN : 4.15 P.M.
OBSERVACIONES :

3) RESULTADOS

- Los resultados no fueron exitosos puesto que, la malla registraba cuentas similares a la radiación de fondo que están entre 30 y 40 CPS.

4) CONCLUSIÓN

- La malla, con la concentración usada es atacada debilmente, produciéndose una impregnación insuficiente del ORO - 198 en dicha malla.
- En esta prueba se ha disminuido la concentración de ácido y la actividad especifica, la respuesta de isoactividad es por lo tanto muy baja, confundiéndose con la cuentas de fondo.

d) PRUEBA N^o 5

Instalación del simulador la misma que en la prueba Nro. 3.

1) CALCULOS PREVIOS

- VOLUMEN A INYECTAR

Diámetro del tubo de inyectar (d_i) = $\frac{1}{2}$ "

Altura de la columna de agua (h) = 89 cm.

$$V_i = \frac{\pi d_i^2}{4} h$$

$$V_i = \frac{\pi(1.27)^2}{4} \quad 89$$

$$V_i = 113 \text{ ml.}$$

- VOLUMEN DEL POZO (V_p)

Diámetro del pozo (d_p) = 2"

$$V_p = \frac{\pi d_p^2}{4} h$$

$$V_p = \frac{\pi(5.08)^2}{4} \quad 89$$

$$V_i = 1804 \text{ ml.}$$

- CALCULO DE LA ACTIVIDAD ESPECIFICA DE LA SOLUCIÓN AURICA.

$$A_0 = 0.033 \text{ mci/ml.}$$

$$t = 2.1 \text{ días}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = 2.69 \text{ días}$$

$$A_f = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_f = 0.0937 * e^{-0.26 * 2.1}$$

$$A_f = 1.93 \times 10^{-3} \text{ mci/ml.}$$

2) PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Concentración requerida en el pozo $\pm 0.2 \%$

Actividad requerida en el pozo $\pm 2.375 \times 10^{-4}$ mci/ml.

Solución a inyectar:

SOLUCIÓN	VOLUMEN ml	CONCENT RACION %	ACT. ESPECIF mci/ml	ACT. TOTAL mci	ACIDO ml	AGUA ml
AURICA	21.50	3	0.0193	0.415	0.645	20.855
DILUIDA	28.50	10	--	--	2.850	25.650
AGUA	64.00	--	--	--	--	64.000
TOTAL	114.00		0.0193	0.415	3.495	110.505

TABLA VI.12

Luego en el pozo se tendrá:

- ACTIVIDAD ESPECIFICA EN EL POZO (A_p)

$$A_p = \frac{\text{ACTIVIDAD INYECTADA}}{V_p}$$

$$A_p = \frac{0.415}{1804}$$

$$A_p = 2.30 \times 10^{-4} \text{ mci/ml.}$$

- CONCENTRACIÓN EN EL POZO ($\%C_p$)

$$\%C_p = \frac{\text{VOLUMEN DE ACIDO}}{V_p} \times 100$$

$$\%C_p = \frac{3.495}{1804} \times 100$$

$$\%C_p = 0.2 \%$$

HOJA DE ENSAYO

DIRECCIÓN DE FLUJO

PRUEBA # 5

LUGAR : IPEN
DISTRITO : SAN BORJA
PROVINCIA : LIMA
REALIZADO POR : JULIAN VÁSQUEZ COLLANTES
EQUIPO :
Detector de Centelleo (SAPHIMO)
Colimador
Cronómetro
Malla de Muesca de 1x1 cm.
RADIOTRAZADOR : ORO - 198
VIDA MEDIA : 2.69 días
VOLUMEN A INYECTAR : 113 ml

ACTIVIDAD ESPECIFICA

POZO : 2.3×10^4 mci/ml.
CONCENTRACIÓN-POZO : 0.2 %
HORA DE INYECCIÓN : 10.00 A.M.
HORA DE MEDICIÓN : 3.30 P.M.
OBSERVACIONES :

3) RESULTADOS

- Se realizo las mismas obteniéndose los siguientes resultados, ver tabla VI.13
- Se trató las curvas isoactivas y se obtuvo el siguiente gráfico. Ver figura 25.

4) CONCLUSIONES

- Con esta prueba se llega a la conclusión que la técnica funciona
- En esta prueba se centro el tubo de inyección de tal manera que la inyección siempre sea en el eje de simetría.
- La adsorción depende mayormente de la concentración de ácido.
- Se puede rebajar la actividad específica, si es que se usa una malla sin galvanizar.
- El tamaño de la muesca óptima es de 1 x 1 cm.

TABLA VI. 13

MEDIDAS OBTENIDAS DE LA MALLA PARA
TRAZAR LAS CURVAS ISOACTIVAS

PROFUNDIDAD (m)	PUNTOS						
	1	2	3	4	5	6	7
0.60	200	220	270	280	270	230	220
0.50	200	220	270	280	270	230	220
0.40	190	220	240	290	310	260	210
0.30	200	220	280	290	310	230	210
0.20	200	230	280	280	300	240	210
0.10	220	240	270	300	300	250	240

RECOMENDACIONES:

- Para la inyección del trazador se debe centrar el tubo con algun dispositivo de tal manera que el marcado sea siempre en el eje de simetría del pozo.
- Usar una malla de muesca pequeña con la finalidad de tener mayor área de adsorción, pero no tan pequeña que perturbe el flujo natural del agua.
- Usar una concentración ligeramente mayor al 2%.
- Usar una actividad especifica de 2.3×10^{-4} mci/ml.
- Para la inyección es mejor usar un tubo de inyección, lo más delgado posible.
- Si se va ha realizar varios ensayos puede que la actividad sea alta, para evitar riesgos de exposición alta recomendamos fraccionar el trazador en varios contenedores debidamente blindados a fin de reducir la exposición en el momento de la dilución.

VI.5 CALIBRACION DE EQUIPOS

Antes de realizar la prueba de velocidad se hace necesario efectuar previamente la calibración de los equipos a utilizar.

Para la prueba en laboratorio y en campo utilizaremos el detector de centelleo para la medición de radiación gamma y posteriormente en el campo utilizaremos el conductivímetro para medir conductividades.

VI.5.1 Equipo de medición de RADIACION GAMMA - MINEKIN-

- Determinación del Fotopico.-

Este equipo es un detector de centelleo monocanal, el cual tiene la virtud de discriminar los impulsos emitidos por la radiación de un determinado isótopo; identificando y midiendo de esta manera la radiación emitida por el radioisotopo materia de estudio. Para que el equipo funcione de la manera anteriormente descrita se hace necesario identificar el FOTOPICO del radioisotopo (en caso YODO-131).

Para idenficar el fotopico, se ha medido las

velocidades de recuento en CPS, para diferentes energías en VOLTIOS; de una muestra radiactiva de I-131, ver Tabla VI.14.

Del gráfico VI.3 se concluye que:

VOLTAJE = 743 Voltios
 ANCHO DE VENTANA = 50 %
 TIEMPO BASE = 1 seg.
 FONDO RADIATIVO = 3 a 5 cps.

- Curva de Calibración.-

Esta curva se ha construido en base a los siguientes datos.

ACTIVIDAD ESPECIFICA mci/ml.	VELOCIDAD DE RECUENTO CPS
3×10^{-7}	390
6×10^{-7}	540
9×10^{-7}	710
1.2×10^{-7}	750
1.5×10^{-7}	800
1.8×10^{-7}	1,650
2.1×10^{-7}	2,000
2.4×10^{-7}	2,300

TABLA VI.15

ajustando la curva obtenemos la siguiente ecuación

$$y = 6.04577 x^{-0.334}.$$

TABLA VI.14

DETERMINACION DEL FOTOPICO DEL I - 131
 CURVA DE CALIBRACION PARA DICHO RADIOISOTOPO

Fuente de calibración = 0.0775 uci/lts

Energia GAMMA (Er) = 360 KeV

Tiempo base = 1 seg.

VOLTAJE	CPS	VOLTAJE	CPS
646	0	804	39
652	0	808	42
657	0	812	40
661	0	818	40
665	0	823	40
669	0	827	35
673	0	831	30
678	0	835	30
682	0	839	28
686	0	844	27
690	0	848	25
694	0	852	24
699	0	856	20
703	1	860	17
707	2	865	17
711	2	869	17
718	2	873	15
726	10	877	13
730	26	881	13
734	55	886	12
739	67	890	11
743	75	894	9
751	31	898	9
755	37	900	8
760	28	904	7
764	28	909	7
768	21	913	6
772	22	917	6
774	22	921	6
778	21	930	4
783	22	934	6
787	23	938	4
791	30	942	5
795	32	944	6
799	33	949	3
		953	5

ESPECTROMETRIA DE RADIACION GAMMA

CURVA DEL ESPECTRO I-131

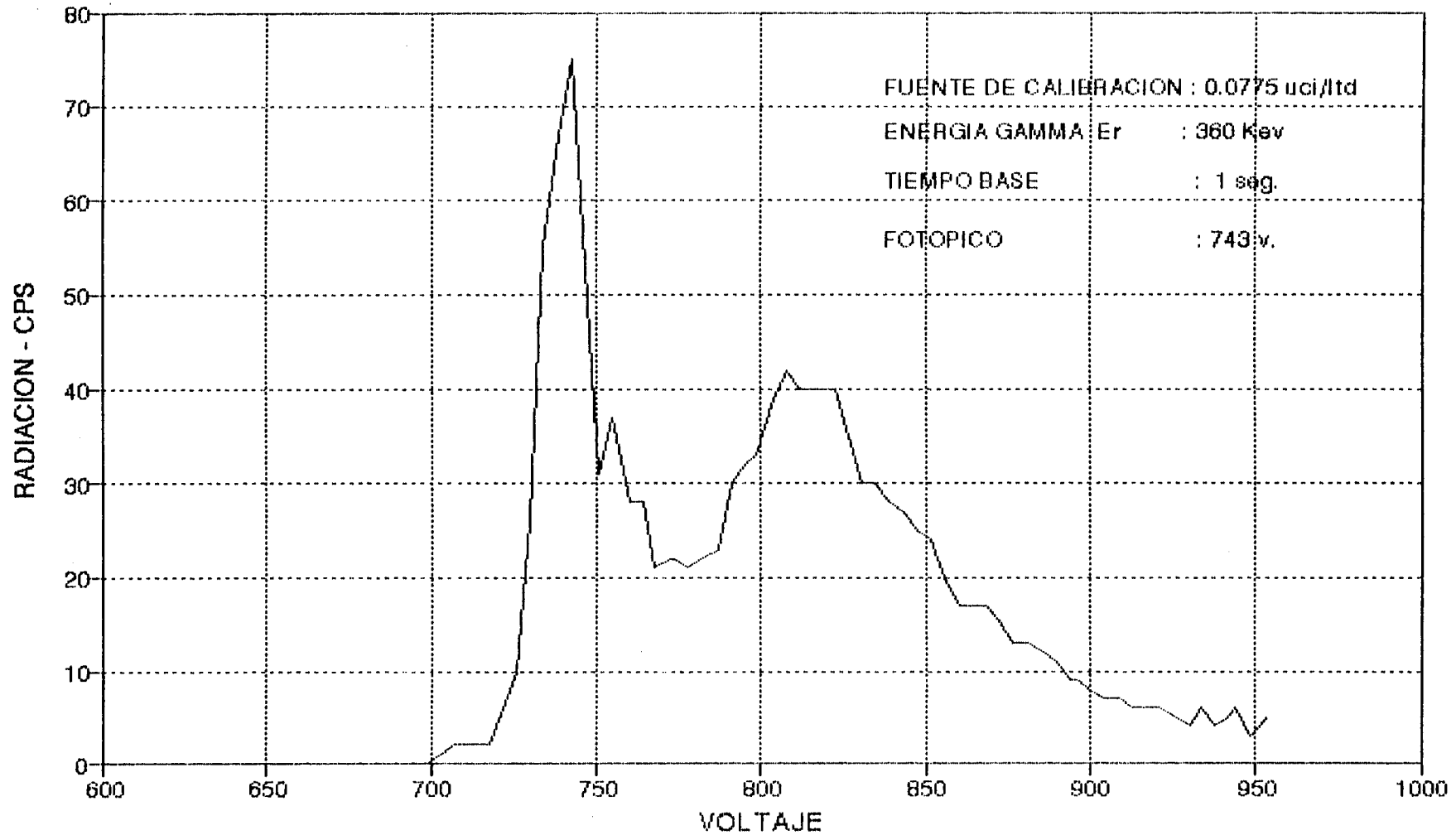


GRAFICO VI.3

- Calibración del Conductivimetro.-

El conductivimetro es un equipo que registra la conductividad de muestras de agua y ello está relacionado con la concentración de sal.

Ver TABLA VI.16.

Ajustando la curva obtenemos:

$$y=5.73E-01x+1.68E-03x^2+6.72E+06x^3-1.07E-07x^4+4.01E-10x^5$$

Donde:

x = Conductividad (msv/cm)

y = Concentración (gr/lts)

VI.6 PRUEBA DE VELOCIDAD

Esta prueba consiste en comparar los resultados que se obtiene con el método isotópico con los resultados obtenidos con otro método. Cabe indicar que lo presentado aquí es el resultado final después de muchos ensayos.

VI.6.1 OBJETIVOS

Comprobar la funcionalidad de la técnica del pozo único (método dilución).

TABLA VI.6

DATOS DE CALIBRACION

CONDUCT msv/cm	CONCENTRACI gr/lt
0.40	0.00
2.48	1.11
9.85	5.56
18.57	11.11
35.00	22.22
50.40	33.33
66.00	44.44
78.20	55.56
91.70	66.67
104.00	77.78
116.20	88.89
126.90	100.00
140.20	111.11
150.10	122.22
159.80	133.33
168.80	144.44
176.30	155.56
183.90	166.67
191.30	177.78
197.70	188.00
204.00	200.00
209.00	211.11
214.00	222.22
219.00	233.33
224.00	244.44
228.00	255.56
232.00	266.67
235.00	277.78

VI.6.2 EQUIPOS Y MATERIALES

- Detector de centelleo Monocanal (INa)Tl, yoduro de sodio activado con talio, MINEKIN AUSTRALIA - 9001
- Vasos graduados
- Tubos graduados
- Jeringas
- Guantes
- Dosímetros
- 2 bidones
- Rodamina
- Yodo - 131
- Embudo
- Electrobomba
- Depósitos de plástico
- Cronómetro
- Pilas
- Bateria

VI.6.3 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD CON RODAMINA

Como se trata de conocer la velocidad por otro método diferente se usara el tiempo de tránsito de la rodamina, entre un punto interior del simulador y otro exterior ver figura (25)

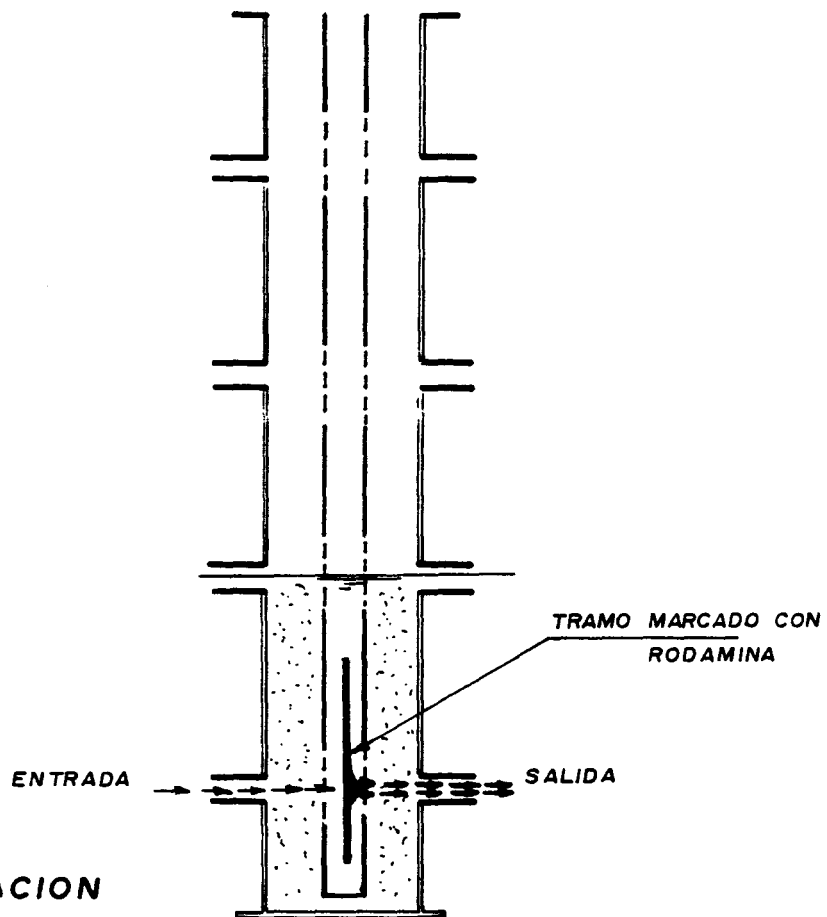
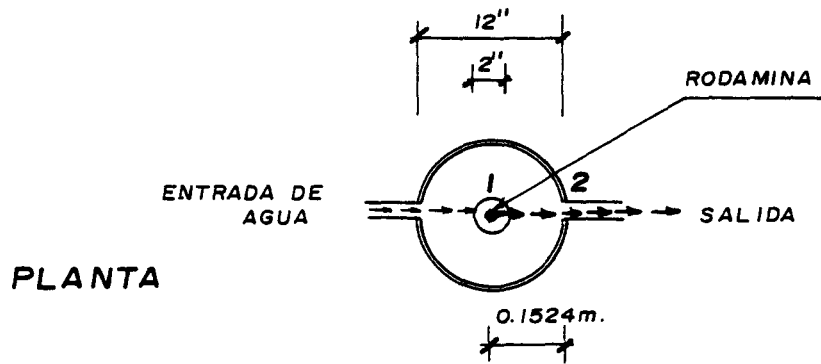


FIG-25 - A

ELEVACION

Marcado con rodamina

VI.6.3.1 PROCEDIMIENTO

- Se marcó un tramo de la columna de 50 cm. ver figura (26) desplazando lentamente el tubo de inyección, el cual ha sido previamente llenado con rodamina diluida en agua.
- Se esperó la salida de la rodamina en el punto 2
- Se midió el tiempo que transcurrió desde el momento de inyección hasta la salida.

VI.6.3.2 CALCULOS Y RESULTADOS

Tiempo de tránsito = 0.6 hrs.

Distancia de Tránsito = 0.1524 mts.

$$\text{Velocidad (v)} = \frac{\text{espacio (e)}}{\text{tiempo (t)}}$$

$$v = \frac{0.1524}{0.53}$$

$$v = 0.254 \text{ m/h}$$

VI.6.4 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD CON YODO-131

Para esta prueba se usará la técnica del pozo único (método de dilución) mediante el marcado en tramos, debido a que la velocidad es relativamente

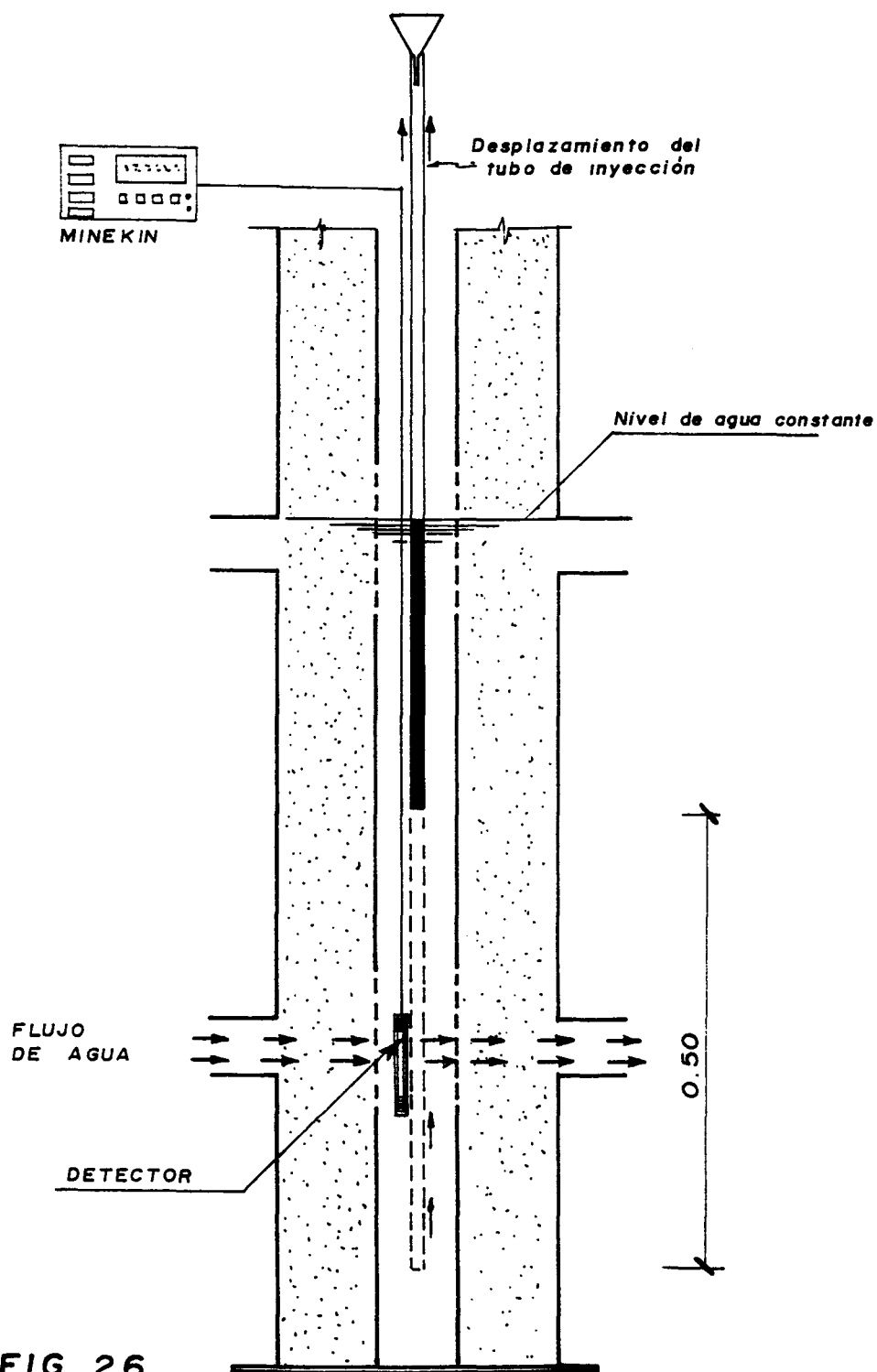


FIG 26

Detalle de marcado por tramos (en el simulador) con 1-131

alta.

VI.6.4.1 PROCEDIMIENTO

- Se ha seguido el mismo procedimiento descrito en el apartado III.3.2.3.b, marcando el tramo con una actividad específica de 1.27×10^{-5} mci/ml, ver figura 26.
- La medición se llevo a cabo con un detector de centelleo monocanal (MINEKIN)

VI.6.4.2 CALCULOS Y RESULTADOS

1) DATOS

Despues de la medición se obtuvo los siguientes datos.

CONCENTRACION RADIACION GAMMA EN CPS

ALTURA (mts) SNP	INYECCION - (t) horas					
	0	0.05	0.1	0.15	0.20	0.25
0.35	3000	1600	850	420	180	100

TABLA VI.17

2) CÁLCULO DE α .

Como hay ausencia de relleno entonces la fórmula que se usará es la (15)

$$\alpha = \frac{4}{1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} + \frac{k_3}{k_1} \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right)}$$

Se conoce:

$$r_1 = 5.08 \text{ cm.}$$

$$r_2 = 5.14 \text{ cm.}$$

$$k_1 = 0.1 \text{ f cm/seg}$$

$$f = 10\% \text{ (perforación del filtro).}$$

$$k_3 = 10^8 \text{ cm/seg (dato obtenido mediante un permeámetro).}$$

$$\alpha = \frac{4}{1 + \left(\frac{5.08}{5.14}\right)^2 + \frac{10^{-8}}{1} \left(1 - \left(\frac{5.08}{5.14}\right)^2\right)}$$

$$\alpha = \frac{4}{1.976 + 2.3 \cdot 10^{-10}}$$

$$\alpha = 2.03$$

Observese que el valor de k_3 no influye mucho en el valor de α .

3) DETERMINACION DEL $t_{1/100}$

Graficando en el papel logaritmico se tiene que $t_{1/100} = 0.68$ hrs, ver gráfico VI.4.

4) CALCULO DE LA VELOCIDAD

$$V_f = \frac{3.62 \text{ d}}{\alpha t_{1/100}}$$

del grafico $\alpha = 0.68$

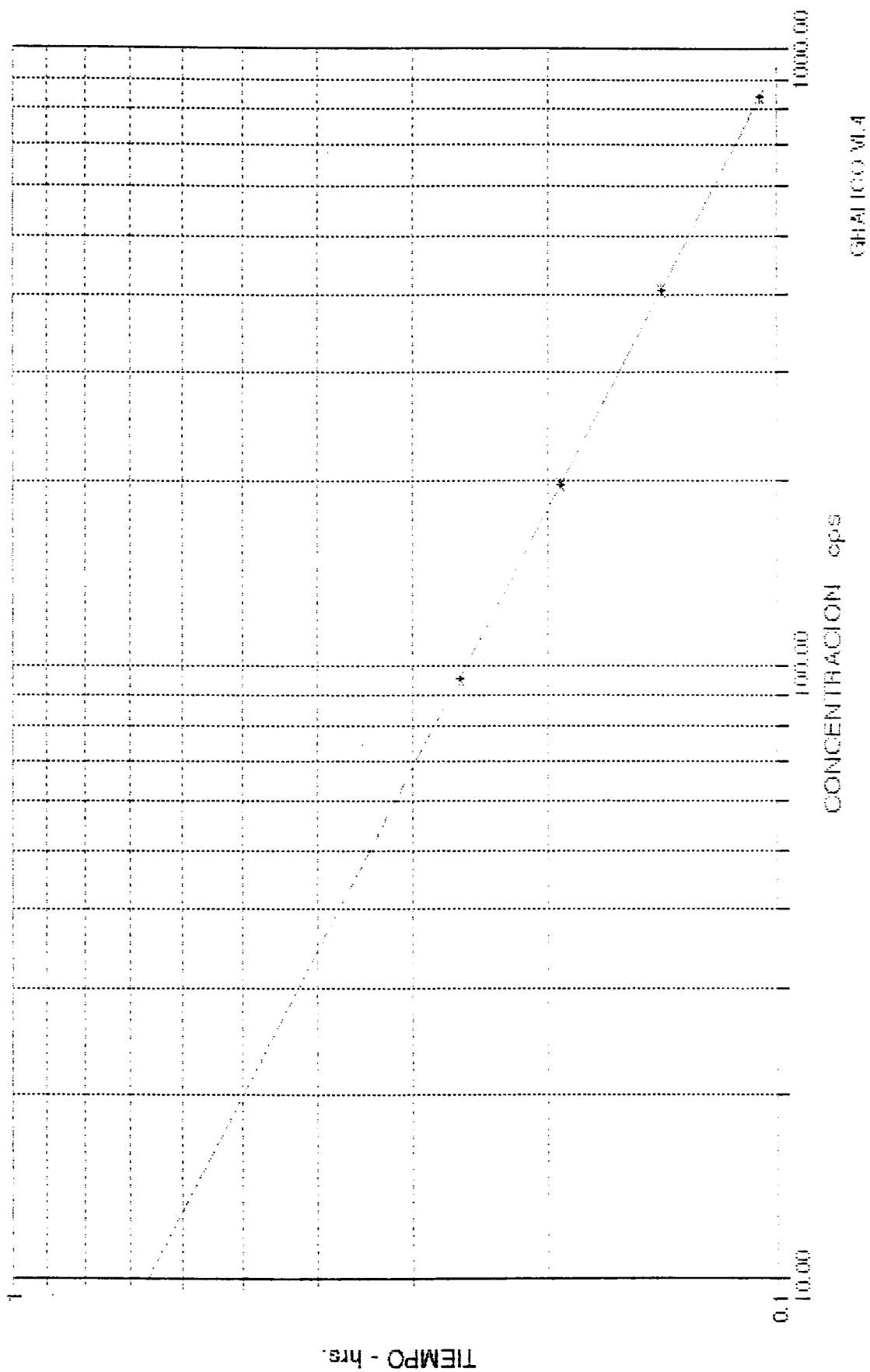
$$V_f = \frac{3.62 * 0.0635}{2.03 * 0.68}$$

$$V_f = 0.17 \text{ m/h.}$$

VI.6.5 CONCLUSIONES

Comparando los valores de las velocidades obtenidas con rodamina y con YODO - 131, se puede

GRAFICO PARA HALLAR t1/100



notar que la diferencia es tal que no podemos emitir ningún juicio concluyente. Ello quiere decir que haremos otras pruebas comparativas en campo.

- En esta prueba de velocidad se realizó inyecciones; con soluciones cuyas actividades específicas disminuirán en un período muy corto a valores similares a la radiación de fondo. Es por lo anterior que se usó la técnica de marcado de tramos.
- La actividad específica utilizada para este ensayo puede ser disminuida para el ensayo de campo si es que se tiene algún indicio de que las velocidades son bajas; como suele suceder en estos casos.
- Uno de los motivos por la cual no se llega a la conclusión final, es que es difícil obtener una velocidad baja en el simulador y cuando se va a medir esta también ofrece muchas dificultades.

VI.6.6 RECOMENDACIONES

- Después de la inyección del trazador agitar este en el pozo de tal manera que se pueda conseguir una concentración uniforme a lo

largo del pozo.

- Tener cuidado al momento de efectuar las mediciones; el detector debe ser desplazado lentamente a fin de no causar ninguna perturbación en el flujo.
- Efectuar la mayor cantidad de mediciones a fin de obtener un mejor resultado final.

VI.7 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PREVIAS A LA APLICACION EN CAMPO

VI.7.1 INTRODUCCION

La administración de la protección radiológica es muy importante cuando se hace uso de materiales radiactivos; es por ello que la aplicación aquí descrita fue llevado a cabo bajo la supervisión constante de un oficial de seguridad designado por la AUTORIDAD NACIONAL (IPEN), quien en todo momento vigilaba para que el trabajo se lleve a cabo cumpliendo con las recomendaciones de la COMISION INTERNACIONAL DE PROTECCION RADIOLOGICA.

VI.7.2 ESTIMACION DE LA ACTIVIDAD A UTILIZAR

VI.7.2.1 Velocidad de flujo.-

Para esta prueba se utilizó una actividad específica mínima medible. El equipo puede detectar una actividad específica de aproximadamente 3×10^{-7} mci/ml, sin embargo esta actividad puede ser poco funcionable para esta prueba, puesto que la actividad puede alcanzar rápidamente valores similares a la radiación de fondo. Entonces se decidió utilizar una actividad específica de aproximadamente 7.6×10^6 mci/ml que equivale a 0.024 mci por metro lineal del pozo cuyo diámetro es 2.5 pulg.

De todo lo anterior se desprende que por cada pozo (que en promedio tienen 10 mts) se utilizará 0.24 mci.

VI.7.2.2 Dirección de flujo.-

Considerando nuestros resultados de laboratorios, usaremos una actividad específica ligeramente mayor a la obtenida en laboratorio, esto quiere decir que utilizaremos 3.15×10^{-4} mci/ml, que equivale a una actividad de 1 mci por metro lineal de pozo ($\phi = 2''$).

En conclusión por cada pozo usaremos 10 mci (pozo de 10 mts de profundidad).

VI.7.3 CALCULO DEL TIEMPO MAXIMO DE EXPOSICION

Debemos de considerar el tiempo máximo de exposición durante la dilución, ya que para efectuar esta, la única herramienta de radioprotección es el tiempo. Cuanto menor tiempo dediquemos a la preparación de la dilución menor será la exposición, a continuación estimaremos esos tiempos.

VI.7.3.1 YODO-131 (Velocidad de flujo)

a) DATOS

Isótopo : YODO-131
 τ : 0.225 Rcmxh/m² xci
 Actividad : 10 mci
 Distancia : 0.30 mts.

b) CALCULOS

$$\text{Exposición (x)} = \frac{A \cdot \tau}{d^2}$$

$$x = \frac{10 \cdot 10^{-3} * 0.225}{(0.30)^2}$$

$$x = 0.025 \text{ Rem/hora}$$

$$x = 25 \text{ mRem/hora}$$

Si en 1 hora nos exponemos con 25 mRem en "y" horas nos exponemos con 0.5 mRem.

$$y = \frac{0.5}{25}$$

$$y = 0.02 \text{ horas}$$

$$y = 1.2 \text{ minutos.}$$

c) RESULTADOS

El tiempo máximo de exposición será 1.2 minutos.

d) OBSERVACIONES

- Este tiempo de exposición hallado es considerando el caso más desfavorable es decir sin considerar blindaje alguno.
- Realizar la dilución, colocando siempre una barrera de plomo, entre el trabajador y la fuente (ladrillos de plomo).
- Realizar la dilución en " y " minutos como máximo para luego no recibir exposición alguna durante 1 hora.

VI.7.3.2 ORO-198 (Dirección de flujo)

a) DATOS

Isótopo : ORO-198
 τ : 0.230 Remxh/m² xci
 Actividad : 10 mci
 Distancia : 0.30 mts.

b) CALCULOS

$$\text{Exposición (x)} = \frac{A \cdot \tau}{d^2}$$

$$x = \frac{10 \cdot 10^{-3} * 0.230}{(0.30)^2}$$

$$x = 0.0255 \text{ Rem/hora}$$

$$x = 25.5 \text{ mRem/hora}$$

Si en 1 hora nos exponemos con 25.5 mRem en
 "y" horas nos exponemos con 0.5 mRem.

$$y = \frac{0.5}{25.5}$$

$$y = 0.0196 \text{ horas}$$

$$y = 1.17 \text{ minutos.}$$

c) RESULTADOS

Realizar la dilución en un tiempo máximo de 1.17 minutos.

d) OBSERVACIONES

- Considerar las mismas observaciones del caso anterior.

VI.7.4 CALCULOS DE BLINDAJES

Los materiales usados como blindajes tienen por objeto atenuar, es decir disminuir, los flujos de radiaciones hasta niveles aceptables de acuerdo al objetivo que se busque.

Los blindajes biológicos, cuyos objetivos es proteger a los trabajadores de las radiaciones nucleares, y al público en general deben atenuar los flujos de las radiaciones por debajo de los máximos permisibles en las caras exteriores de los blindajes biológicos se consideran del orden de 2,5 mRem/hora.

VI.7.4.1 YODO-131 (Velocidad de flujo)

a) DATOS

Material Blindante = PLOMO

Actividad = 10 mci.

Energía = 0.36 Mev
 Atenuación lineal(μ) = 1.64 cm⁻¹
 Espesor = 5 cm.

b) CALCULOS

$$\text{Atenuación} = I_0 e^{-\mu x}$$

$$I_x = 10 e^{-1.64 \cdot 5}$$

$$I_x = 0.00274 \text{ mci.}$$

$$\text{Exposición (x)} = \frac{A \cdot \tau}{d^2}$$

$$x = \frac{0.073 \cdot 10^{-3} * 0.225}{(0.02)^2}$$

$$x = 0.00154 \text{ Rem/hora}$$

$$x = 1.54 \text{ mRem/hora}$$

$$x < 2.5 \text{ mRem/hora ¡ok!}$$

VI.7.4.2 ORO-198 (Dirección de flujo)

a) DATOS

Material Blindante = PLOMO

Actividad	= 15 mci.
Energía	= 0.41 Mev
Atenuación lineal(μ)	= 1.64 cm^{-1}
Espesor	= 5 cm.

b) CALCULOS

$$\text{Atenuación} = I_0 e^{-\mu x}$$

$$I_x = 15 e^{-1.64 \cdot 5}$$

$$I_x = 0.0041 \text{ mci.}$$

$$\text{Exposición (x)} = \frac{A \cdot \tau}{d^2}$$

$$x = \frac{0.0041 \cdot 10^{-3} \cdot 0.23}{(0.02)^2}$$

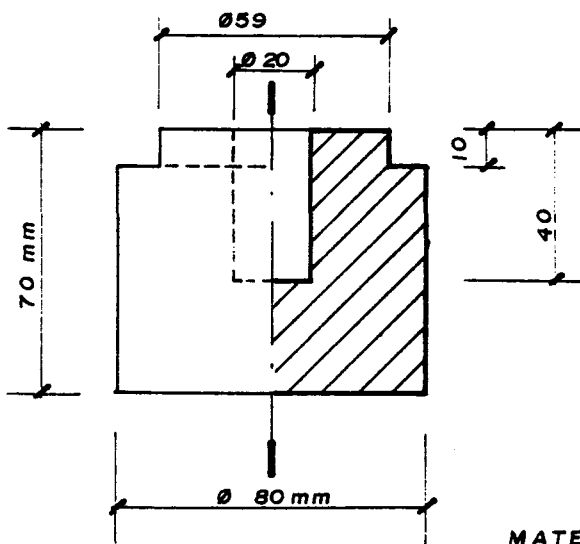
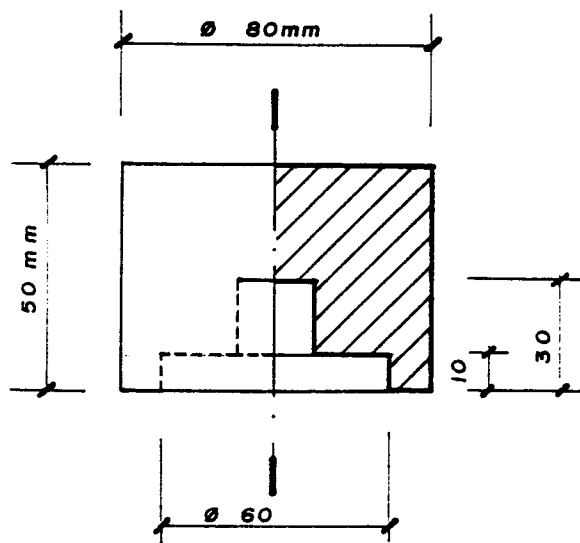
$$x = 0.00236 \text{ Rem/hora}$$

$$x = 2.36 \text{ mRem/hora}$$

$$x < 2.5 \text{ mRem/hora ¡ok!}$$

VI.7.4.3 DISEÑO DE EQUIPO EN EL TRANSPORTE

- Diseño de contenedores (ver figura 27)
- Diseño de blindaje (ver figura 28)



MATERIAL : PLOMO
 CANTIDAD : 2 Unid.

FIG 27

DETALLE DE CONTENEDOR

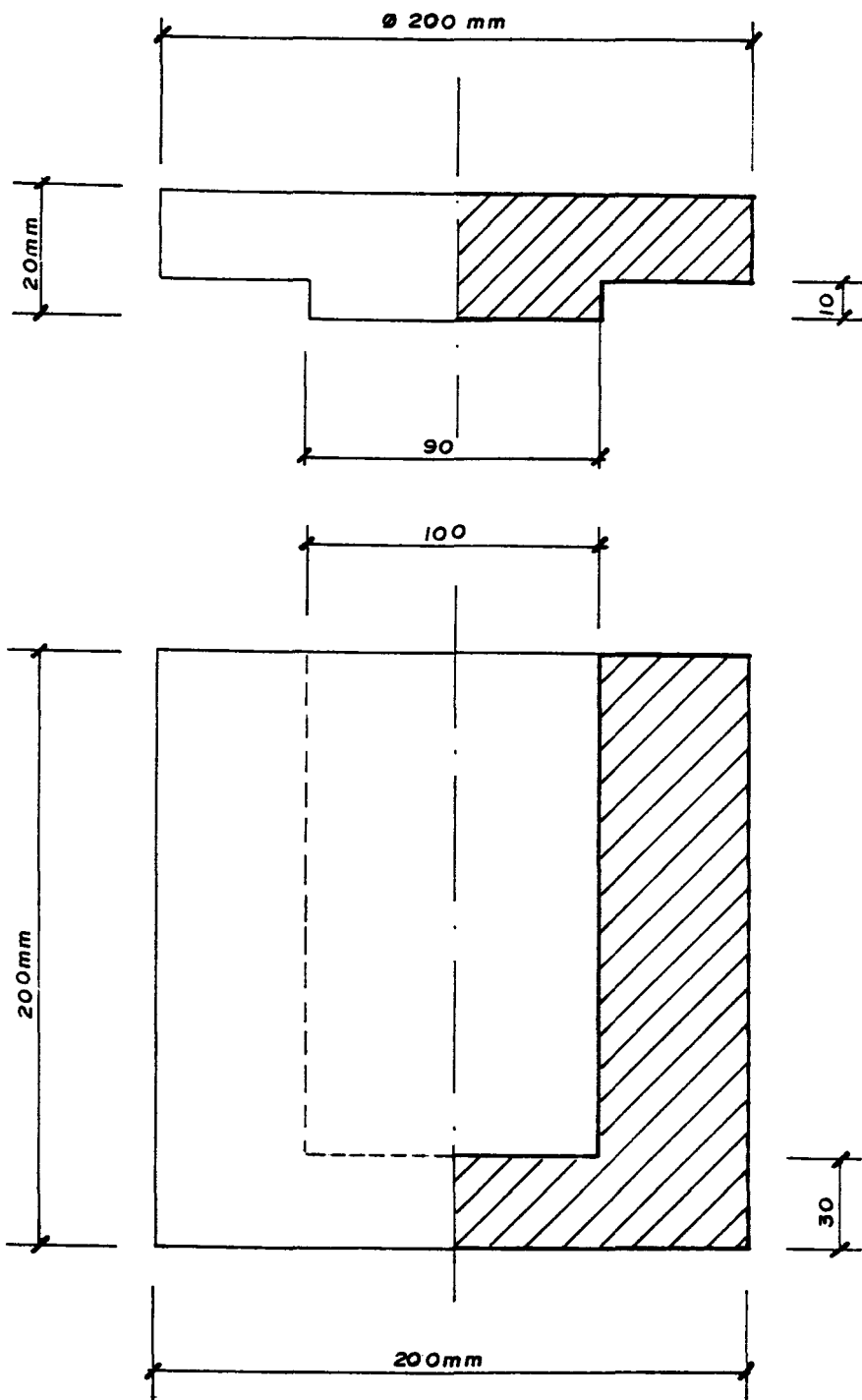


FIG-28

DETALLE DE BLINDAJE

MATERIAL : PLOMO
CANTIDAD : 2 Unid.

- d) Diseño de soporte de transporte (ver figura 29)

VI.7.4.4 CONSIDERACIONES EN EL TRANSPORTE

- Para el transporte se ha dispuesto los isótopos en el blindaje de la manera que se muestra en las figura 29.
- El soporte de transporte es tal que mantiene al operador, a 40 cm. aproximadamente, de la cara exterior del blindaje. En estas condiciones la exposición se reduce a un valor mucho menor que el máximo permisible. Sin embargo siempre el tiempo de manipulación fue, el mínimo razonable.
- Este material radiactivo fue llevado bajo la supervisión de un oficial de seguridad licenciado y designado por la autoridad competente (IPEN).
- El vehículo de transporte fué exclusivo para transportar este material, y este estaba a una distancia de 1.5 mts de los pasajeros (personal especializado)
- El monitoreo se llevó a cabo en forma constante hasta el punto de realización de la investigación.

VI.8 PRUEBA EN CAMPO

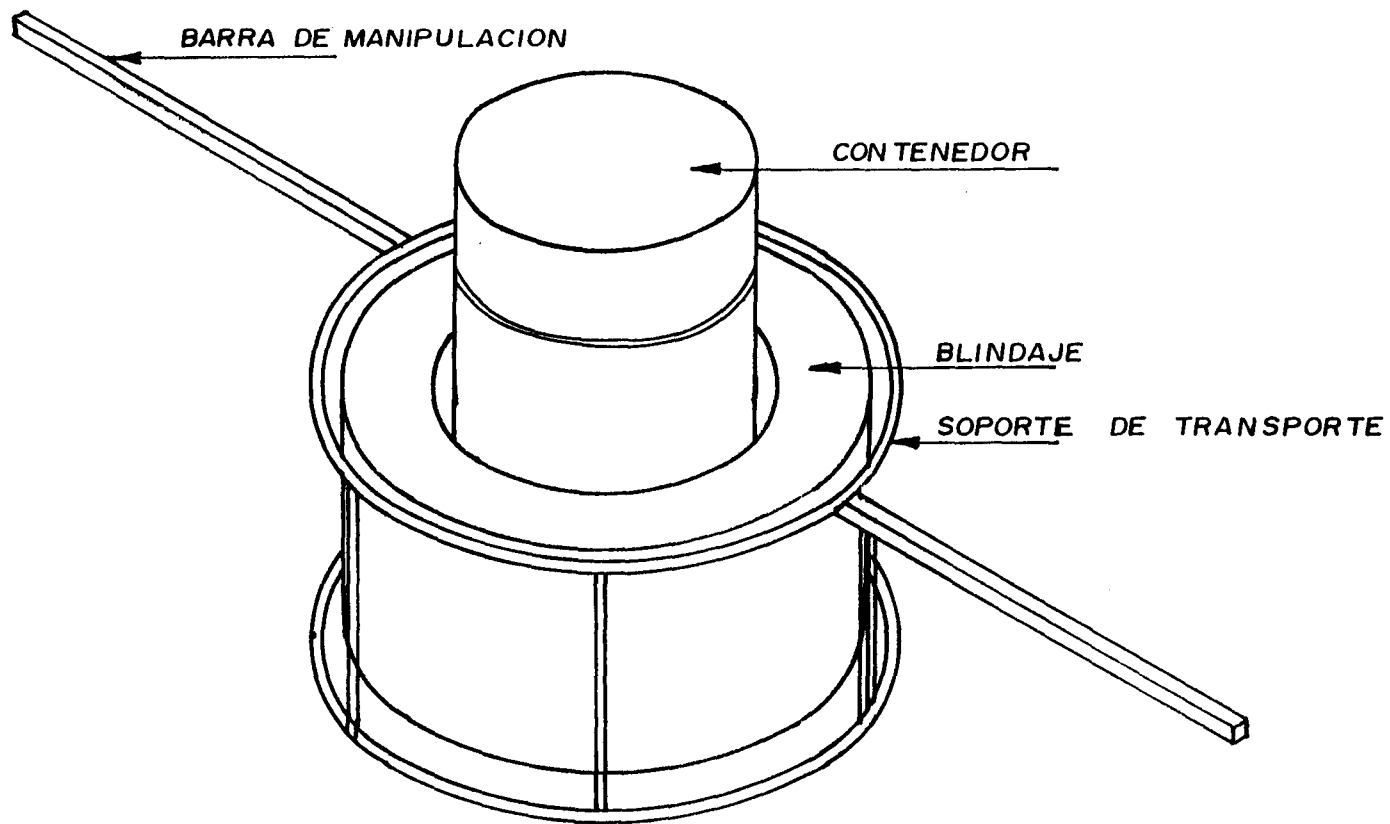


FIG 29

Disposicion de soporte, blindaje y contenedor, para su transporte

VI.8.1 INTRODUCCION

El ensayo de campo se llevó a cabo aplicando el método de dilución (técnica del marcado instantáneo de toda la columna), para velocidad de flujo.

Para dirección de flujo se llevó a cabo mediante el método de transporte de dilución.

Ambos métodos fueron previamente simulados en el laboratorio.

VI.8.2 DATOS GENERALES DEL LUGAR DE APLICACIÓN

PROYECTO : YURACMAYO

UBICACIÓN :

Distrito : SAN MATEO

Provincia : HUAROCHIRI

Departamento : LIMA

CONTRATISTAS : Consorcio

ENERGOPROYEKT: GUICONSA

FECHA DE INICIO : 01-07-91

FECHA DE TERMINO : 31-01-95

VI.8.2.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto de embalse YURACMAYO consiste en la construcción de una presa de tierra en el río Blanco (afluente del río Rímac), a una altitud media de 4,300 msnm, donde existen condiciones geomorfológicas favorables. La presa permitirá regular las aguas para fines de una mayor disponibilidad del recurso en las épocas de estiaje entregando un volumen promedio de 2,6 m³/seg con el que afianzará el sistema hidroeléctrico de ELECTROLIMA S.A. y posteriormente será utilizado para el servicio de agua potable en Lima (SEDAPAL).

La presa Yuracmayo es una presa de tierra zonificada construida con materiales morrénicos, la zona de espaldones y núcleo y con materiales aluviales procesados, los drenes y filtros. La presa tiene una altura sobre la cimentación de 56.0 m; longitud de coronación de 558.5 m y un volumen total de 1.67 M10/m³.

Nuestra investigación se realizará en las galerías de drenaje (previstas para captar filtraciones) están ubicadas: La primera y más importante en el estribo izquierdo conformado por material morrénico, con una longitud de 447 m y la segunda en el estribo derecho con una longitud de

75 m. La ubicación de la presa se puede observar en la figura 30

En cuanto al aspecto geológico se puede mencionar que el sitio previsto para el emplazamiento de la presa es favorable ya que se trata de un estrechamiento modelado por el río en el sector de contacto de un depósito glacial ("morrena") y rocas volcánicas riolíticas, habiéndose conformado una garganta cuyo fondo es plano y ocupado por depósitos aluviales.

VI.8.3 CAMPO DE INVESTIGACIÓN

VI.8.3.1 INTRODUCCION

La determinación de la velocidad y dirección de flujo, se llevó a cabo en 9 pozos piezométricos cuya profundidad oscilan entre 2 mts. y 20 mts. Estos pozos se encuentran distribuidos de la siguiente manera: cinco en la galería de drenaje izquierdo, dos en la galería de drenaje derecho (también llamada de investigación) y dos exteriores.

Para efectos del presente informe de investigación nos ocuparemos del más

PRESA YURACMAYO Y OBRAS CONEXAS

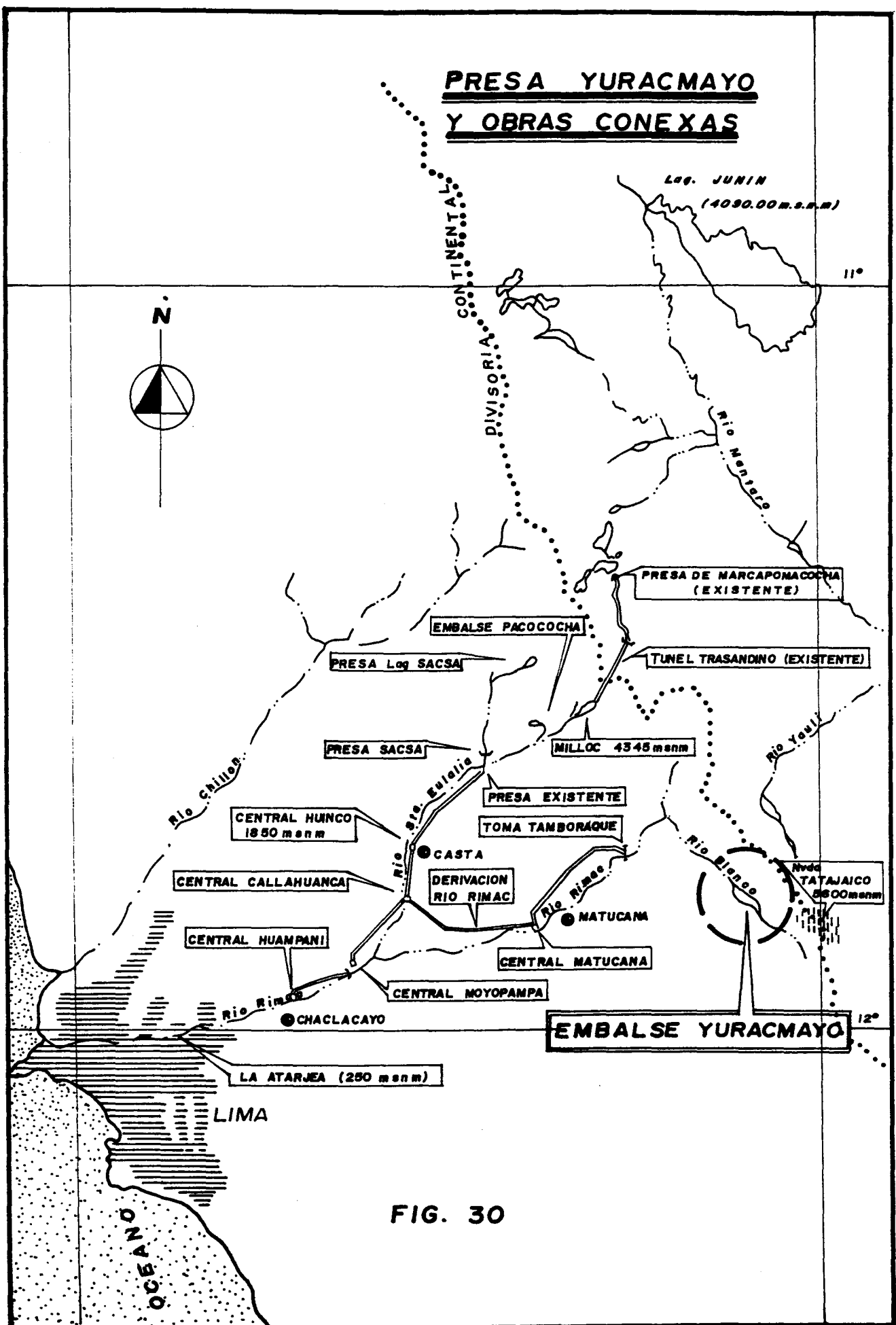


FIG. 30

representativo didácticamente.

VI.8.3.2 VELOCIDAD HORIZONTAL

Este ensayo se hizo mediante dos trazadores a fin de comparar los resultados de ambos. Los trazadores usados fueron YODO-131 (Trazador isotópico) y SAL COMUN (trazador no isotópico).

VI.8.3.2.1 EQUIPO

- Detector de centelleo MINEKIN
- Conductivímetro
- Embudo
- Tubos de 1/2" PVC
- Tubo de 2 3/4" F°G°
- Jeringas
- Vasos
- Lastre
- Tubos graduados
- Depósitos de plástico
- Ladrillos de plomo
- Soporte de transporte de isótopo
- Papel secante
- Guantes
- Bolsas
- Yodo-131

- Sal comun
- Dosímetros

VI.8.3.2.2 PROCEDIMIENTO

El procedimiento de inyección para ambos trazadores a cabo mediante el procedimiento descrito en el capítulo III.3.2.3.a; usando para ello un tubo de P.V.C. de 1/2".

CALCULOS Y DATOS PARA LA INYECCIÓN

a) DATOS - POZO - E-1

Diámetro de tubo de inyección = 1.27 cm.
 Diámetro del pozo = 6.35 cm.
 Profundidad del pozo = 1.94 mts.
 Longitud de la zona saturada = 1.84 mts.

b) CALCULO DE VOLUMENES $\frac{\pi * d^2}{4} * H$

Volumen de inyección = 233 ml
 Volumen del pozo = 6,144 ml

c) ACTIVIDADES

Actividad a inyectar = 0.029 mci
 Actividad especifica

en el pozo $= 4.8 \cdot 10^{-6}$ mci/ml

d) SOLUCION DE SAL

Se diluyó 100 gr de sal en 400 ml de agua y luego se tomo 233 ml de esta solución para inyectar.

VI.8.3.2.3 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD CON YODO-131 RADIACION GAMMA EN CPS

Ver tabla de resultados VI.18.

a) CALCULOS

- CORRECCION POR DECAIMIENTO.

$$\text{DECAIMIENTO} = A_0 - A_0 e^{-\lambda t}$$

La actividad después de un tiempo t ; sin considerar decaimiento será

$$A_c = A_2 + (A_0 - A_0 e^{-\lambda t})$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{193.2}$$

donde

A_c = Actividad corregida

TABLA VI.18

RADIACION GAMMA EN CPS
 TRAZADOR ISOTOPICO (I-131)

PROFUNDIDA (m)	INYECCION - (t) HORAS				
	0.00	5.10	9.80	15.66	23.42
0.10	225	150	96	50	27
0.25	1,100	550	468	65	17
0.50	500	256	108	11	5
0.75	345	173	78	10	5
1.00	420	210	73	12	4
1.25	2,000	944	571	110	13
1.50	1,970	1,442	641	575	53
1.75	2,140	2,058	1,766	1,800	335
1.94	4,100	3,821	2,605	2,980	790

A_2 = Actividad a corregir ($t=t$)

A_0 = Actividad inicial ($t=0$).

Aplicando la fórmula anterior tenemos los siguientes resultados , ver tabla VI.19.

b) CALCULO DE LA VELOCIDAD

Cálculo del Coeficiente de perturbación hidrodinámica (α)

Datos de campo proporcionados por ELECTROLIMA S.A.

$$r_1 = 2.50 \text{ pulg.}$$

$$r_2 = 3.00 \text{ pulg.}$$

$$f = 8 \% \text{ (perforación del filtro)}$$

$$k_1 = 0.1 * 8 = 0.8 \text{ cm/seg.}$$

$$k_3 = 10^5 \text{ cm/seg.}$$

aplicando la fórmula

$$\alpha = \frac{4}{1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} + \frac{k_3}{k_1} \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right)}$$

tenemos

$$\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \left(\frac{2.5}{3}\right)^2 = 0.694$$

A_2 = Actividad a corregir ($t=t$)

A_0 = Actividad inicial ($t=0$).

Aplicando la fórmula anterior tenemos los siguientes resultados , ver tabla VI.19.

b) CALCULO DE LA VELOCIDAD

Cálculo del Coeficiente de perturbación hidrodinámica (α)

Datos de campo proporcionados por ELECTROLIMA S.A.

$$r_1 = 2.50 \text{ pulg.}$$

$$r_2 = 3.00 \text{ pulg.}$$

$$f = 8 \% \text{ (perforación del filtro)}$$

$$k_1 = 0.1 * 8 = 0.8 \text{ cm/seg.}$$

$$k_3 = 10^5 \text{ cm/seg.}$$

aplicando la fórmula

$$\alpha = \frac{4}{1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} + \frac{k_3}{k_1} \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right)}$$

tenemos

$$\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \left(\frac{2.5}{3}\right)^2 = 0.694$$

$$\frac{k_3}{k_1} = \frac{10^{-5}}{0.8} = 1.25 \times 10^{-5} ; \text{ despreciable!}$$

$$\alpha = \frac{4}{1 + 0.694}$$

$$\alpha = 2.37$$

b) CALCULO DE LA VELOCIDAD

Aplicando la fórmula 17 presentada de la forma:

$$v_t = \frac{\pi d}{4\alpha t} \ln\left(\frac{C_o}{C}\right)$$

Obtenemos la tabla VI.20.

VI.8.3.2.4 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD CON TRAZADOR NO ISOTOPICO (SAL)

Esta prueba se hizo para compararlo con los resultados obtenidos con trazador isotópico. Esta prueba consiste en inyectar sal diluida en agua, en el pozo y medir la conductividad el cual es función de la concentración de sal. La inyección se hizo de manera similar al de trazador

TABLA VI.19

CORRECCION POR DECAIMIENTO
RADIACION GAMMA EN CPS

PROFUNDIDA (m)	INYECCION - (t) HORAS				
	0.00	5.10	9.80	15.66	23.42
0.10	225	154	104	62	45
0.25	1,100	570	506	125	106
0.50	500	265	125	38	45
0.75	345	179	90	29	33
1.00	420	218	88	35	38
1.25	2,000	980	640	219	174
1.50	1,970	1,478	709	683	212
1.75	2,140	2,097	1,840	1,917	507
1.94	4,100	3,895	2,747	3,204	1,120

TABLA VI.20

VELOCIDAD EN m/hora
TRAZADOR ISOTOPICO (I-131)

PROFUNDIDA (m)	INYECCION - (t) HORAS				
	5.10	9.80	15.66	23.42	PROMEDI
0.10	0.0370	0.0400	0.0420	0.0350	0.03850
0.25	0.0650	0.0400	0.0700	0.0500	0.05625
0.50	0.0630	0.0710	0.0830	0.0520	0.06725
0.75	0.0650	0.0700	0.0800	0.0510	0.06650
1.00	0.0650	0.0810	0.0800	0.0520	0.06950
1.25	0.0710	0.0590	0.0710	0.0530	0.06350
1.50	0.0280	0.0530	0.0340	0.0480	0.04075
1.75	0.0020	0.0077	0.0035	0.0140	0.00680
1.94	0.0050	0.0210	0.0080	0.0270	0.01525

isotópico.

a) RESULTADOS

De conductividad en $\mu\text{g} / \text{cm}$. ver tabla VI.21.
aplicando la fórmula

$$v_t = \frac{\pi d}{4\alpha t} \ln\left(\frac{C_o}{C}\right)$$

tenemos:

El cuadro de velocidad en mts/día, ver tabla VI.22.

VI.8.3.3 DIRECCION Y SENTIDO DE FLUJO

Para ilustrar describiremos el ensayo llevado en el pozo DD - 53.

VI.8.3.3.1 EQUIPO

- Detector de centelleo SAPHIMO
- Colimador
- Embudo
- Malla de muesca 1x1 cm.
- Acido Nitrico
- Acido Clorhidrico

TABLA VI.21

CONDUCTIVIDAD EN us/cm
TRAZADOR NO ISOTOPICO (SAL)

PROFUNDID (m)	INYECCION - (t) HORAS				
	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
0.10	655	589	639	582	407
0.25	810	678	545	397	504
0.50	1,184	897	628	580	536
0.75	913	752	485	568	342
1.00	780	603	555	416	414
1.25	894	731	556	394	392
1.50	2,780	2,589	1,978	2,017	1,848
1.75	4,120	4,007	3,001	2,885	4,055
1.94	4,370	4,336	4,267	2,413	3,730

TABLA VI.22

VELOCIDAD EN m/día
TRAZADOR NO ISOTOPICO (SAL)

PROFUNDID (m)	INYECCION - (t) HORAS				
	2.00	4.00	6.00	8.00	PROMEDI
0.10	0.027	0.030	0.010	0.050	0.029
0.25	0.045	0.050	0.060	0.030	0.046
0.50	0.070	0.080	0.060	0.050	0.065
0.75	0.049	0.080	0.040	0.062	0.058
1.00	0.065	0.043	0.053	0.040	0.050
1.25	0.051	0.060	0.069	0.052	0.058
1.50	0.018	0.043	0.027	0.033	0.030
1.75	0.007	0.040	0.030	0.001	0.020
1.94	0.002	0.003	0.050	0.010	0.016

PROFUNDIDAD = 19.30 mts.
 NIVEL FREATICO = 11.50 mts
 α = 2.37

b) RESULTADOS

Se obtiene el cuadro de concentracion en $\mu\text{g/cm}$. ver tabla VI.23.

c) CONCLUSION

Graficando el perfil de conductividad (gráfico VI.5) se obtiene que existe velocidades horizontales en el tramo que va desde 15 mts. hasta 17 mts. de profundidad. Ademas la mayor velocidad horizontal tiene un valor de 0.49 mts/día. (Ver tabla VI.24 y gráfico VI.6).

Habiendo determinado que existe velocidad horizontal en un determinado tramo del pozo efectuaremos la prueba de dirección de flujo.

VI.8.3.3.4 DATOS DE LA INYECCION

POZO = DD - 53
 DIAMETRO DEL POZO = 0.063 mts.
 DIAMETRO DEL MALLA = 0.055 mts.
 DIAMETRO DE TUBO
 INYECCION = 0.0127 mts.
 PROFUNDIDAD POZO = 19.30 mts.

TABLA VI.23

CONCENTRACION - us/cm
 TRAZADOR NO ISOTOPICO (SAL)

PROFUNDID (m)	INYECCION - (t) HORAS				
	0.00	3.92	9.34	22.34	27.67
11.50	495	216	217	213	216
12.00	536	239	233	217	220
12.50	655	254	243	229	226
13.00	794	273	248	239	232
13.50	1,184	295	260	243	236
14.00	1,585	315	267	246	237
14.50	1,860	327	271	248	238
15.00	2,180	338	291	258	248
15.50	2,460	444	326	280	258
16.00	4,370	586	405	326	285
16.50	5,640	815	486	435	335
17.00	6,500	1,400	935	840	845
17.50	6,680	2,450	1,900	1,666	1,462
18.00	6,640	6,100	3,390	2,180	1,972
18.50	8,460	6,300	5,850	3,610	2,890
19.00	20,600	16,300	15,100	14,300	13,570
19.30	45,900	53,400	76,000	48,700	44,200

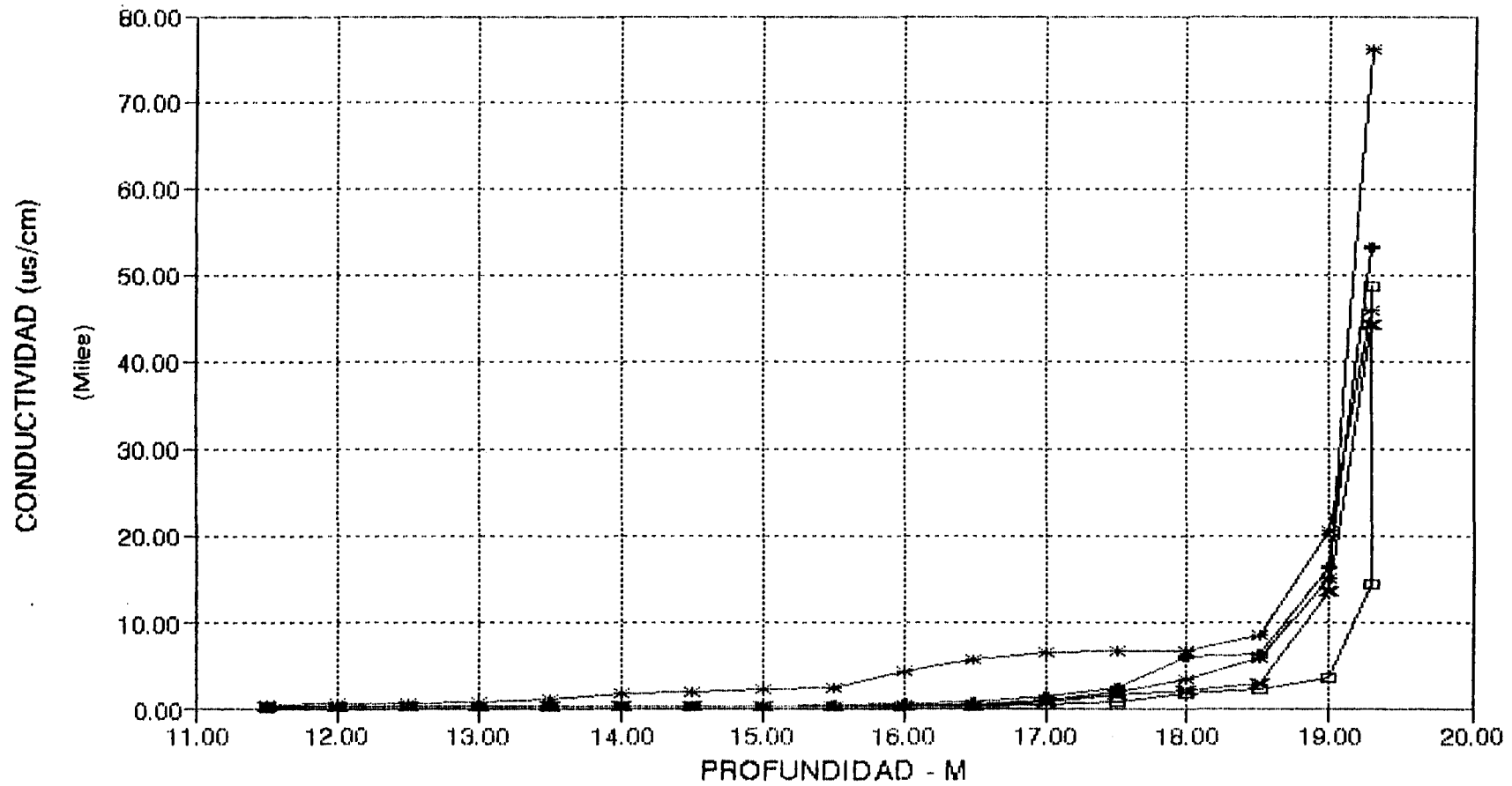
TABLA VI.24

VELOCIDAD - m/hr

TRAZADOR NO ISOTOPICO (SAL)

PROFUNDID (m)	INYECCION - (t) HORAS					PROMEDI m/día
	3.92	9.43	22.34	27.67	PROMEDI	
11.50	0.0045	0.0018	0.0008	0.0006	0.0077	0.1852
12.00	0.0043	0.0019	0.0009	0.0007	0.0077	0.1854
12.50	0.0051	0.0022	0.0010	0.0008	0.0091	0.2183
13.00	0.0057	0.0026	0.0011	0.0009	0.0104	0.2495
13.50	0.0075	0.0034	0.0015	0.0012	0.0136	0.3255
14.00	0.0087	0.0040	0.0018	0.0014	0.0158	0.3804
14.50	0.0093	0.0043	0.0019	0.0016	0.0171	0.4102
15.00	0.0100	0.0045	0.0020	0.0017	0.0182	0.4359
15.50	0.0092	0.0045	0.0020	0.0017	0.0175	0.4191
16.00	0.0108	0.0053	0.0024	0.0021	0.0206	0.4948
16.50	0.0104	0.0055	0.0024	0.0021	0.0204	0.4900
17.00	0.0082	0.0043	0.0019	0.0016	0.0160	0.3852
17.50	0.0054	0.0028	0.0013	0.0012	0.0107	0.2557
18.00	0.0005	0.0015	0.0010	0.0009	0.0039	0.0943
18.50	0.0016	0.0008	0.0008	0.0008	0.0040	0.0966
19.00	0.0013	0.0007	0.0003	0.0003	0.0026	0.0627
19.30	-0.0008	-0.0011	-0.0001	0.0000	-0.0020	-0.0472

POZO DD-53
PERFIL DE CONDUCTIVIDAD



* T = 0 hrs. + T = 3.92 hrs. * T = 9.34 hrs.
 □ T = 22.43 hrs. > T = 27.67 hrs.

GRAFICO VI.5

POZO DD-53
VELOCIDAD CON TRAZADOR NO ISOTOPICO

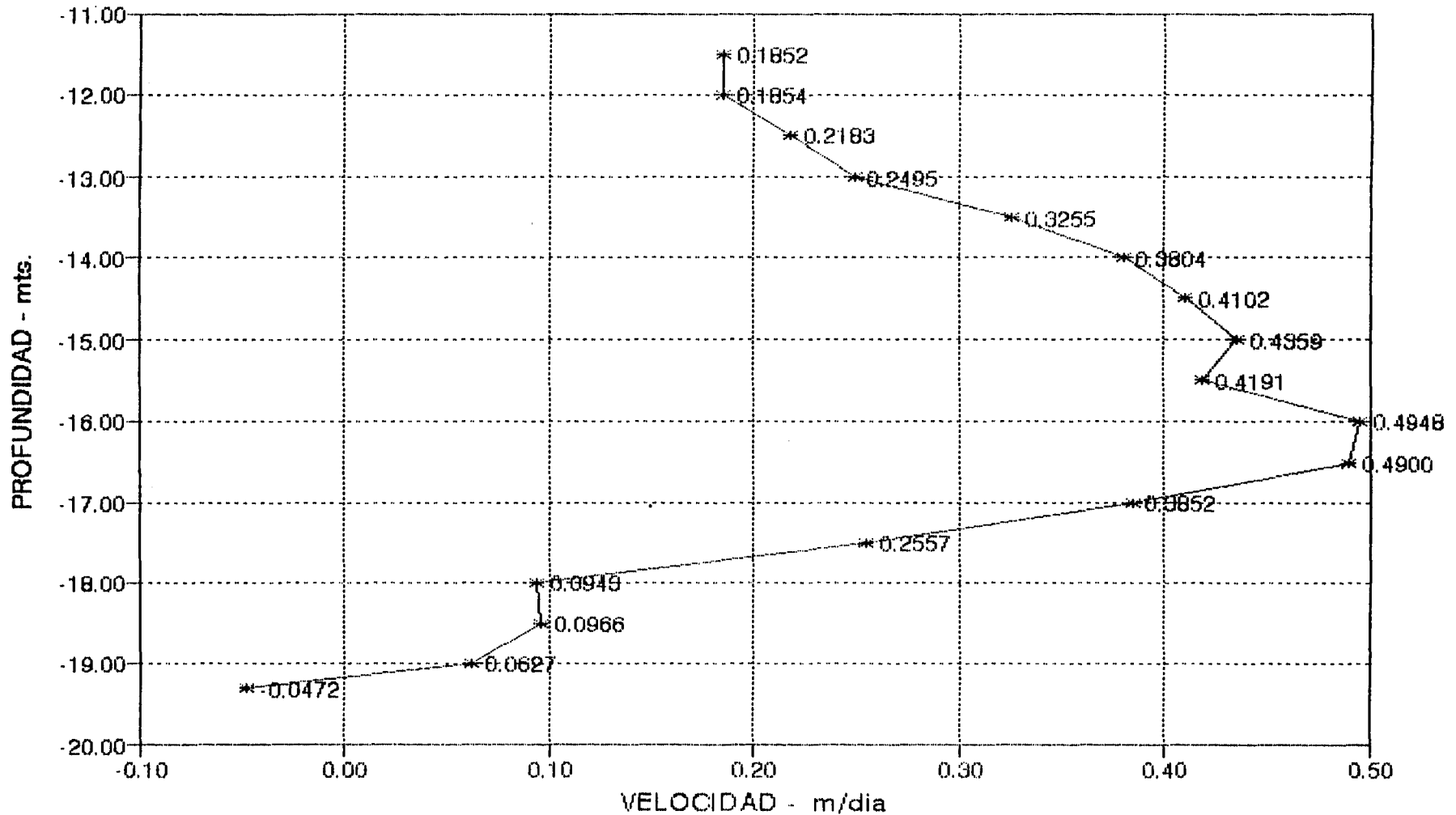


GRAFICO VI.6

8.3.3.5 DATOS DE ADSORCION GAMMA

TABLA 25-A

CUADRO ADSORCION GAMMA

POZO - 53

TUBO NR 5

PROFUNDIDAD mts	RADIACION GAMMA - cps					
	1	2	3	4	5	6
7.3	150	190	300	260	250	230
7.5	190	270	300	220	250	260
7.7	200	220	250	200	200	200
7.9	200	200	250	220	180	200
8.1	180	200	280	210	200	200
8.3	200	200	210	220	200	200
8.5	200	200	210	230	220	200
8.7	230	210	200	210	230	200
8.9	220	210	200	210	220	200
9.1	220	190	200	210	220	190
9.2	220	200	190	210	220	200

TABLA 25-B

CUADRO ADSORCION GAMMA

POZO - 53

TUBO NR 6

PROFUNDIDAD mts	RADIACION GAMMA - cps					
	1	2	3	4	5	6
9.3	180	220	210	220	170	250
9.5	200	240	210	250	170	390
9.7	200	240	180	200	175	200
9.9	200	240	200	205	180	210
10.1	180	200	190	205	180	180
10.3	180	200	260	230	180	200
10.5	180	210	280	200	180	180
10.7	200	260	330	270	200	180
10.9	250	290	400	270	240	220
11.1	350	330	350	350	320	380
11.2	350	350	300	300	320	380

TABLA 25-C

CUADRO ADSORCION GAMMA

POZO - 53

TUBO NRO. 7

PROFUNDIDA mts	RADIACION GAMMA - cps					
	1	2	3	4	5	6
11.3	350	350	350	360	360	350
11.4	410	400	390	410	360	380
11.5	470	480	500	460	460	420
11.6	550	580	500	470	450	430
11.7	580	570	550	510	500	530
11.8	600	600	580	550	580	600
11.9	620	600	620	580	600	640
12.0	625	620	650	670	650	640
12.1	670	680	680	650	700	730
12.2	720	710	700	700	700	750
12.3	780	740	750	750	800	880
12.4	800	780	750	750	800	880
12.5	820	810	760	770	820	840
12.6	850	835	840	830	840	870
12.7	900	835	880	900	920	900
12.8	1000	960	930	930	960	1060
12.9	1020	970	980	950	940	1080
13.0	1040	1060	1000	970	1090	1130
13.1	1150	1050	1130	1080	1150	1230
13.2	1450	1230	1150	1060	1180	1600

TABLA 25-D

CUADRO ADSORCION GAMMA

POZO - 53

TUBO NRO. 8

PROFUNDIDA mts	RADIACION GAMMA - cps					
	1	2	3	4	5	6
13.3	1830	1500	1400	1350	1650	1900
13.4	1980	1900	1780	1780	1920	2200
13.5	2100	2000	2000	2200	2400	2300
13.6	2300	2080	2120	2270	2330	2400
13.7	2300	2300	2250	2320	2350	2400
13.8	2480	2350	2300	2320	2350	2500
13.9	2500	2450	2300	2350	2400	2550
14.0	2450	2450	2460	2360	2400	2550
14.1	2500	2550	2480	2400	2500	2600
14.2	2600	2550	2350	2180	2400	2700
14.3	2800	2700	2350	2330	2450	2750
14.4	2550	2500	2350	2300	2500	2700
14.5	2550	2500	2300	2360	2550	2820
14.6	2550	2500	2400	2400	2600	2900
14.7	2500	2500	2400	2400	2500	2920
14.8	2400	2300	2200	2400	2500	2850
14.9	2300	2000	2000	2200	2400	2800
15.0	2300	2130	2050	2300	2300	2650
15.1	2100	2150	2050	2100	2200	2450
15.2	2100	2200	2050	2000	2150	2400

TABLA 25.E

CUADRO ADSORCION GAMMA

POZO - 53

TUBO NRO. 9

PROFUNDIDA mts	RADIACION GAMMA - cps					
	1	2	3	4	5	6
15.3	2100	2050	2000	1900	2000	2200
15.4	2500	2300	2300	2500	2300	2650
15.5	2600	24530	2500	2500	2480	2700
15.6	2630	2650	2530	2400	2450	2750
15.7	2700	2700	2620	2450	2600	2830
15.8	2850	2750	2600	2550	2700	3170
15.9	3100	2750	2600	2600	2750	3180
16.0	3100	2800	2700	2630	2820	3120
16.1	3160	2850	2800	2850	2750	3200
16.2	3000	2850	2700	2580	2700	3100
16.3	2950	2850	2600	2600	2700	3200
16.4	3050	2850	2700	2600	2630	3100
16.5	2850	2900	2650	2500	2650	3200
16.6	2900	2900	2650	2550	2550	2900
16.7	2800	2750	2500	2480	2500	2700
16.8	2550	2650	2600	2500	2420	2500
16.9	2500	2600	2400	2500	2380	2350
17.0	2460	2550	2600	2500	2250	2300
17.1	2470	2500	2500	2400	2200	2500
17.2	2350	2300	2200	2300	2230	2350

TABLA 25-F

CUADRO ADSORCION GAMMA

POZO - 53

TUBO NRO.

10

PROFUNDIDA mts	RADIACION GAMMA - cps					
	1	2	3	4	5	6
17.3	1850	1900	1860	1800	1850	2000
17.4	2800	2180	1950	2150	2150	2150
17.5	2300	2300	2370	2250	2130	2200
17.6	2350	2480	2450	2450	2200	2200
17.7	2600	2550	2700	2550	2400	2600
17.8	2600	2800	2700	2800	2700	2750
17.9	3300	3500	3150	3350	3400	3400
18.0	3000	3000	3300	3350	3150	3260
18.1	2800	3000	3000	3100	2650	2980
18.2	2550	2650	2670	2620	2400	2650
18.3	2400	2600	2600	2500	2150	2450
18.4	2300	2200	2100	2080	2000	2330
18.5	1720	1800	1600	1700	1620	1780
18.6	1180	1200	1300	1200	1100	1150
18.7	1130	1450	1330	1360	1200	1080
18.8	1000	1150	850	830	1060	950
18.9	550	600	530	550	550	580
19.0	550	530	430	450	520	530
19.1	420	460	380	410	385	500
19.2	370	360	370	370	370	390
19.3	370	390	370	400	350	380

NIVEL FREATICO = 11.50 mts.
TAMAÑO MUESCA-MALLA = 1 x 1 cm.
ACTIVIDAD ESPECIFICA= 2.3×10^{-4} mci/ml
CONCENTRACION = 0.25 %
TIEMPO DE PERMANENCIA
DE LA MALLA EN EL POZO= 10 horas

VI.8.3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES (Velocidad de Flujo)

- Comprobación final de la funcionalidad de la técnica.
- En el gráfico VI.7 se puede observar que el perfil de radiación se desplaza uniformemente a lo largo de todo el pozo, a medida que transcurre el tiempo, ello indica que existe velocidad horizontal en toda la profundidad del pozo.
- De la misma manera en el gráfico VI.8 se puede observar el perfil de conductividad tiene un comportamiento similar al perfil de radiación.
- Del gráfico VI.11 se llega a la conclusión que las velocidades halladas con los los dos trazadores son similares, comprobando de esta manera la funcionalidad de la técnica.
- Cabe destacar que el uso de la sal es muy limitado y que solo es muy pocos casos se puede

utilizar.

- Observese en los cálculos del coeficiente de perturbación dinámica, la permeabilidad del medio K_3 no influye decisivamente en el valor de α .
- En el pozo en mención (POZO E-1). Se puede decir que existe un flujo horizontal en toda la profundidad del pozo y cuyo valor promedio es de 1.5 m/día.
- Se puede decir que la técnica ofrece muchas ventajas y entre ellas podemos mencionar:
 - 1.- La velocidad puede determinarse sin conocer la porosidad del acuífero.
 - 2.- La técnica del marcado de toda la columna proporciona un diagnóstico general de lo que sucede en la totalidad del sondeo.
 - 3.- Solo un pozo es necesario para realizar las mediciones.
 - 4.- La velocidad del agua subterránea, se obtiene a cualquier profundidad en forma independiente.
 - 5.- La técnica aplicada puede ser un complemento valioso del método de dilución puntual.
 - 6.- Velocidades desde algunos centímetros por día hasta varias decenas de metros por día se pueden medir dentro del pozo.
 - 7.- La rapidez de los ensayos.
 - 8.- La técnica representa un método totalmente

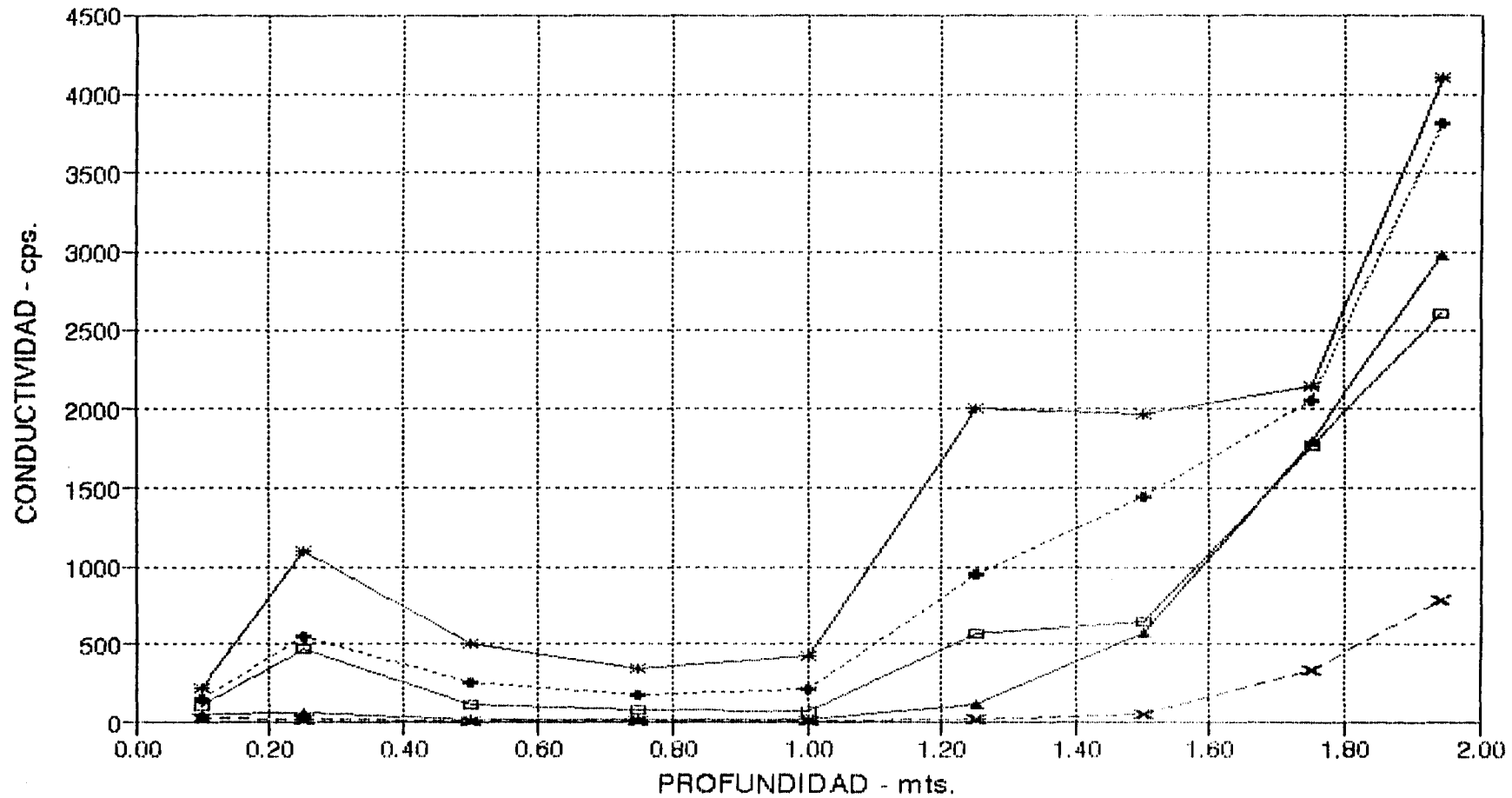
independiente para determinar la velocidad de filtración (Velocidad de DARCY), sin aplicar la ley de DARCY.

- 9.- Velocidades desde algunos centímetros por día hasta decenas de metros por día, es factible medir
- 10.- Ahorro de esfuerzo, tiempo y dinero.

2.- RECOMENDACIONES (Velocidad de Flujo)

- Después de efectuar la inyección, conviene agitar con algún mecanismo el agua para obtener un buen marcado; para luego esperar unos 15 minutos y después realizar el sondeo.
- Para efectuar las mediciones desplazar el detector lentamente; para no perturbar el flujo natural del agua.
- Descontaminar el detector con abundante agua, antes de realizar las mediciones.
- Efectuar este trabajo siempre con la vestimenta adecuada sobre todo usar guantes desechables cambiándolos estos continuamente.
- Realizada la inyección no dejar ningún deshecho que este contaminado en el área de trabajo, este será colocado en un lugar aislado esperando que decaiga por efectos del

POZO E - 1
PERFIL DE RADIACION GAMMA



* t=0.00 hrs. + t=5.10 hrs. □ t=9.80 hrs.
 ▲ t=15.66 hrs. × t=23.42 hrs.

GRAFICO VI.7

POZO E - 1 PERFIL DE CONDUCTIVIDAD

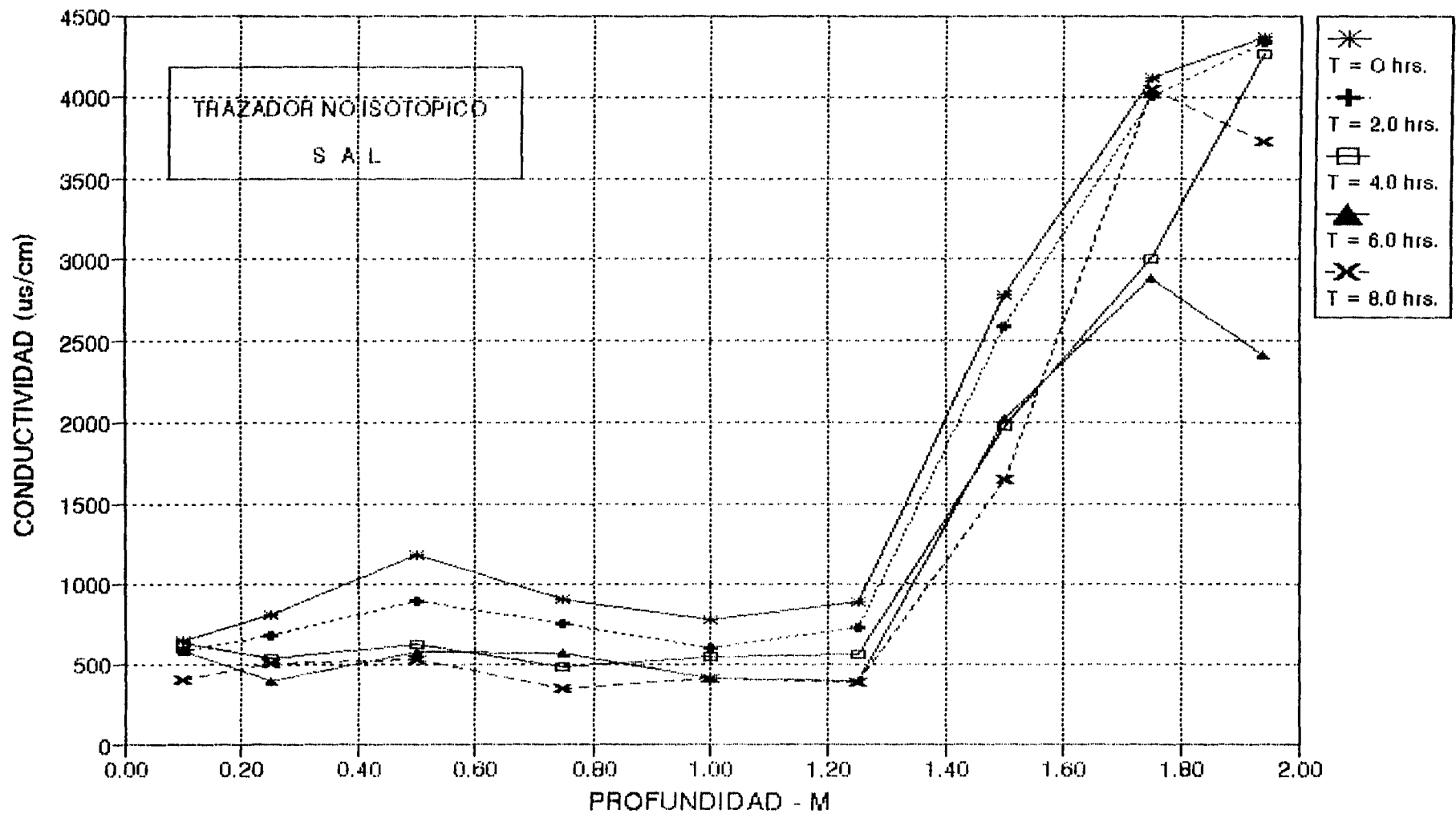


GRAFICO VI.8

VELOCIDAD CON TRAZADOR ISOTOPICO
YODO (I- 131)

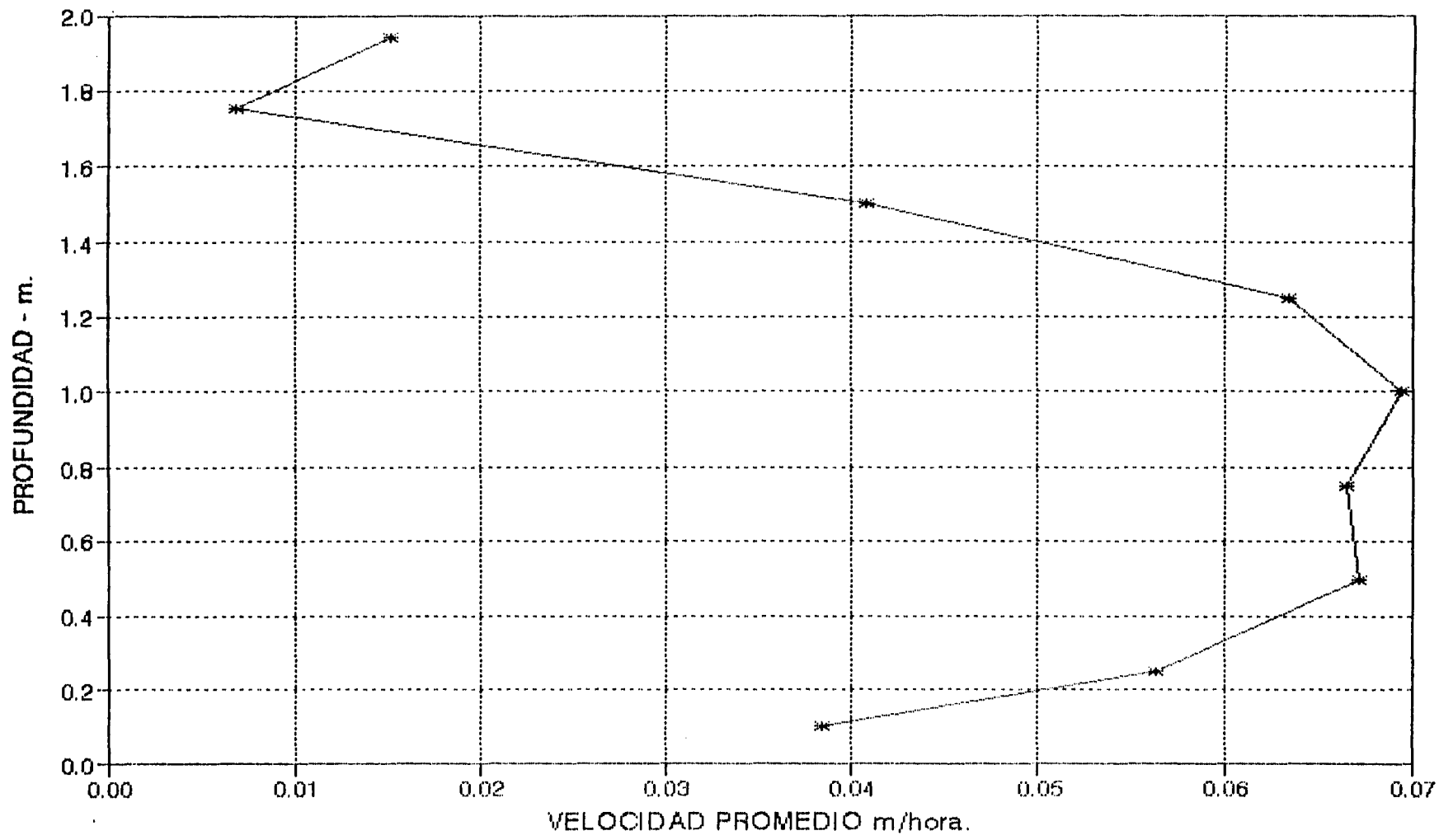


GRAFICO VI.9

VELOCIDAD CON TRAZADOR NO ISOTOPICO SAL

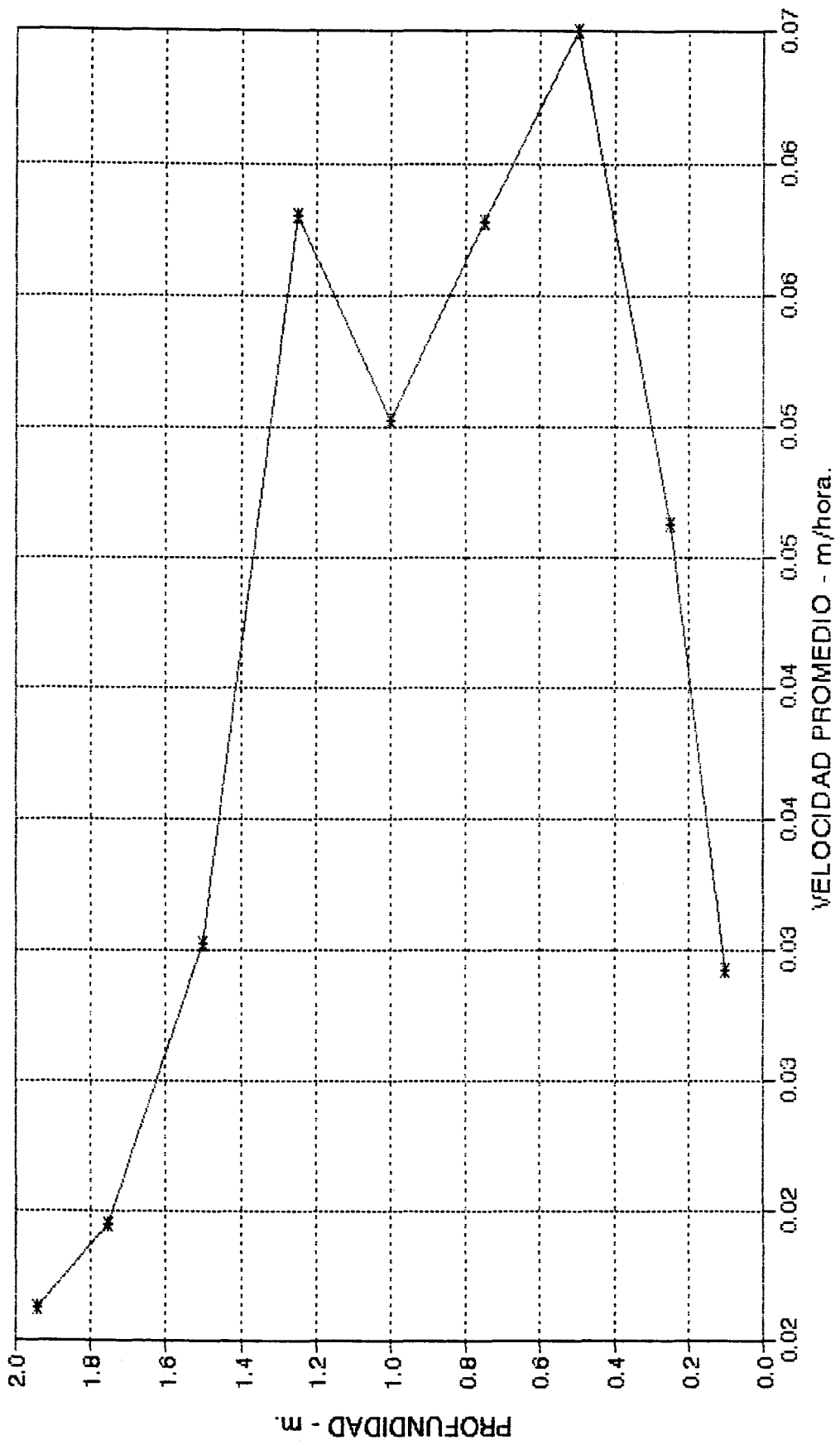
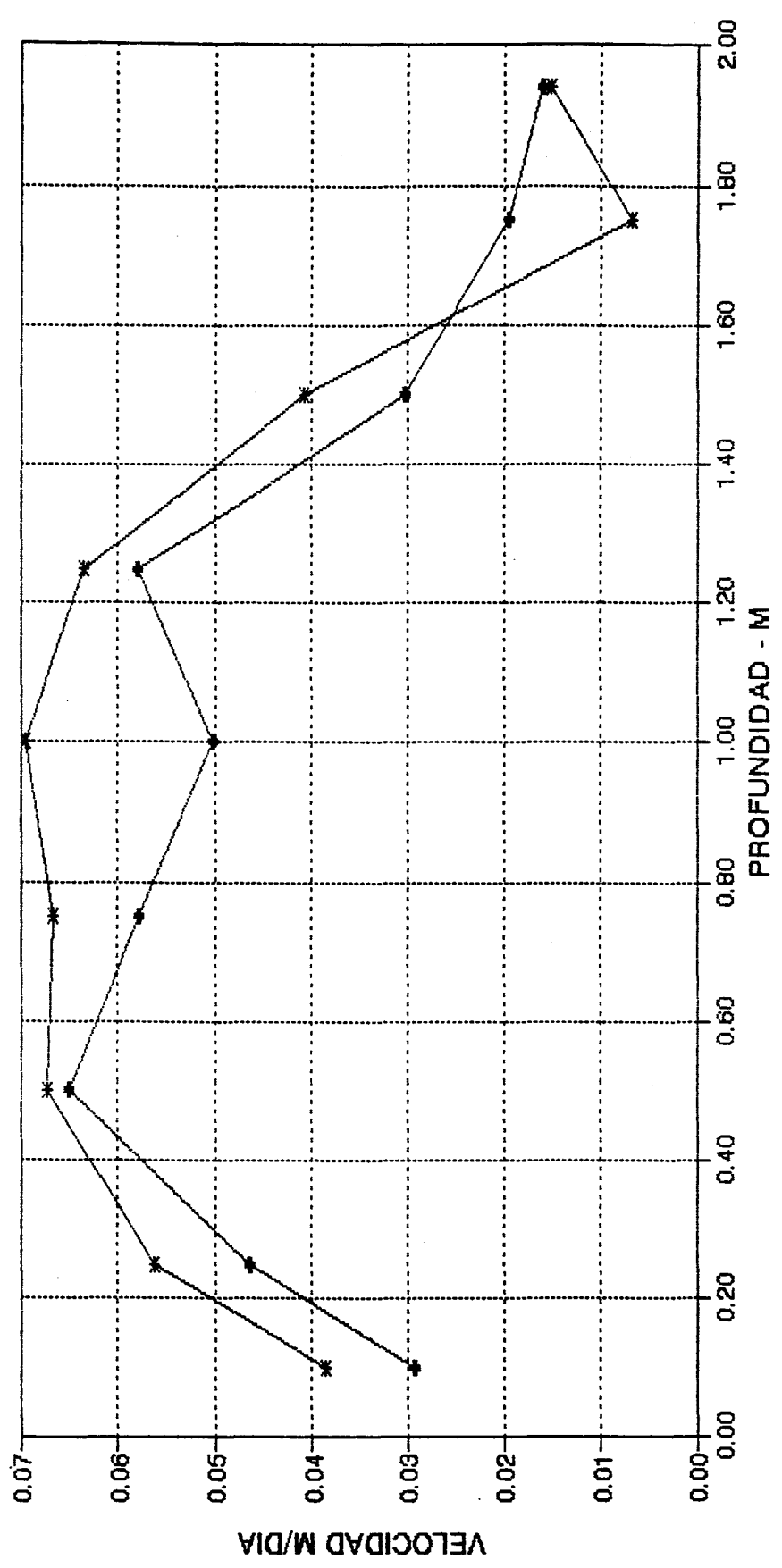


GRAFICO VI.10

**VELOCIDAD DE LOS TRAZADORES
YODO - 131 y SAL**



—*— I-131 —■— SAL

GRAFICO VI.11

tiempo

- Si se requiere afinar los resultados, después del marcado total se puede realizar un marcado puntual en el punto donde se requiere la información con la precisión deseada.

3.- CONCLUSIONES (Dirección del Flujo)

- Observese en la figura 31 como se desplazan las líneas isoactivas en el tramo desde 15 m. hasta 16.50 aproximadamente, estas convergen en la dirección y sentido N 45 W, luego se concluye existe un tramo de 1.50 mts. cuyo del flujo horizontal es N45W.
- En el tramo de 16.50 hacia el fondo se observa que se pone de manifiesto la presencia de flujos verticales encontrándose una zona de fuga aproximadamente en el nivel 18 y otra probable zona de fuga en el nivel 18.70 mts.
- Se llega a la comprobación final de la hipótesis.

4.- RECOMENDACIONES (Dirección de Flujo)

- Para la inyección conviene hacerlo con un tubo delegado y colocando algún dispositivo que mantenga centrado el tubo de tal manera que la inyección sea siempre en el eje de simetría.

- Usar una malla con muesca pequeña pero no tanto que pueda perturbar el flujo natural del agua
- El tiempo de permanencia de la malla en el pozo dependera de la velocidad de flujo.
- Concentraciones de acido menores al 0.3 % serán suficiente.
- Las mallas después de haber sido usadas serán almacenadas en algun lugar adecuado hasta que alcance niveles minimos de radiación.

- VII.1.- RECURSOS HIDRAULICOS .
Linsley
- VII.2.- GUIDEBOOK ON NUCLEAR TECHNIQUES IN HIDROLOGY
IAEA, Viena, 1993.
- VII.3.- APLICACION OF RADIOTRACER METHODS IN
STREAMFLOW MEASUREMENTS,
Isotopes in Hidrology.
IAEA, Viena 1963.
- VII.4.- NORMAS BASICAS DE SEGURIDAD EN MATERIA DE
PROTECCION RADIOLOGICA.
O.I.E.A. Viena 1963.
- VII.5.- GUIDE TO THE SAFE HANDLING OF RADIOSOTOPES IN
HIDROLOGY
A. Plata IAEA, Viena, Austria 1990.
- VII.6.- THE DETERMINATION OF AQUIFER PARAMETERS WITH
THE AID OF RADIOACTIVE TRACERS.
J. Geophys.
- VII.7.- RADIOISOTOPES AS GROUND WATER TRACERS.
J. Geophys Res. 72 (1967), p. 4081.
- VII.8.- DETERMINING THE AVERAGE POROSITY AND
PERMEABILITY OF A STRATIFIED AQUIFER OF
RADIOACTIVE TRACER.
Mercado, A. y Havelly, E.
Vol. 2, num. 3, 1966, p 525 - 31.

- VII.9.- BOREHOLE DILUTION TECHNIQUES - A CRITICAL REVIEW.
Havely, E. - IAEA, Viena 1967.
- VII.10.- ESTUDIO DE LA NATURALEZA Y COMPORTAMIENTO DEL ACUIFERO DEL RIO ALGARROBO (MALAGA).
Boanza, E. Plata, A. - Gabinete de aplicaciones nucleares a las obras públicas - Madrid.
- VII.11.- ISOTOPOS EN HIDROLOGIA
A. Plata Bedmar - Editorial ALHAMBRA - Madrid.
- VII.12.- MANUAL DE HIDROLOGIA
Rafael Heras - INSTITUTO DE HIDROLOGIA
Escuela de Hidrologia - Madrid 1972.
- VII.13.- MANIPULACION SIN RIESGOS DE LOS RADIOSOTOPOS.
Suplemento de Higiene Radiofisica.
Organismo Intenacional de Energía Atomica.
Viena I, Austria 1960.
- VII.14.- APUNTES, II CURSO BASICO DE ENERGIA NUCLEAR Y SUS APLICACIONES DEL 10 AL 21 DE ENRO 1994.
Ing. Generaro Rodriguez Carbajal.
- VII.15.- APUNTES, CURSO DE RADIOPROTECCION A APLICACION MEDICA.
Ing. Vicuña - IPEN -
- VII.16.- APUNTES, ENSAYOS MULTIPLES EN HIDROLOGIA ISOTOPICA, LLEVADOS A CABO EN EL IPEN DURANTE MI ESTANCIA COMO PRACTICANTE.
J. Geophys.

VII.17.- REVISTA TECNICO CIENTIFICA DEL INSTITUTO DE
ASUNTOS NUCLEARES

- VOL - I, Número 1, Enero 1986 - Bogota,
Colombia.

VII.18.- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ISOTOPE HYDROLOGY,
NEUHERGERG- 19 - 23 JUN, 1978 - IAEA.