



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE
MONITOREO, DETECCIÓN Y ALARMA
DE RADIACIONES IONIZANTES**

TRABAJO

**PRESENTADO A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER LA ESPECIALIZACIÓN EN
INGENIERÍA DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES
INDUSTRIALES DE EXPLOTACIÓN PETROLERA**

ARTEMIO BENITO SILVA HERRERA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 1995



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi esposa Adelita y a mis hijos: Temo, Luis y Eddy por su comprensión y cariño.

A mi Papá, hermanos y familiares por el estímulo que me brindaron durante el desarrollo del curso y en la realización de este trabajo.

G(2) 502784

**A la UNAM y PEMEX
ciencia y tecnología,
luchando siempre juntos
por sacar adelante a México**

**A mis maestros:
quienes con paciencia y energía
supieron encausar mis aspiraciones
para alcanzar mejores metas.**

**Mi gratitud para:
Dra. Rina Aguirre Saldivar
M.I. Ann Wellens Purnal
y especialmente a
M.I. Francis Soler Anguiano
por dirigir mi Tesina.**

C O N T E N I D O

	Página
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPITULO 1 CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIATIVIDAD	
1.1 Radiación	1
1.2 Radiactividad	2
1.3 Exposición y dosis	3
1.4 Fuentes de radiación	5
1.5 Fuentes radiactivas utilizadas por Pemex	6
1.6 Efectos biológicos nocivos	8
1.7 Protección radiológica	11
CAPITULO 2 SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN EL TRABAJO	
2.1 Descripción de actividades	14
2.2 Cálculo de la exposición.....	16
2.3 Factores de protección	17
2.4 Medición de la radiación recibida	19
2.5 Dosímetros personales.....	21
2.6 Equipo de protección personal.....	23
CAPITULO 3 DESARROLLO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD	
3.1 Fase conceptual.....	24
3.1.1 Definición del sistema de seguridad.....	24
3.1.2 Selección del lugar donde se establecerá.....	24
3.1.3 Componentes del sistema.....	24
3.1.4 Organización administrativa.....	24
3.1.5 Análisis preliminar de riesgos	26
3.1.6 Especificaciones de las fosas de almacenamiento	30
3.2 Fase de diseño y descripción de componentes	32
3.2.1 Contador Geiger Muller, modelo E-520	32
3.2.2 Cable de interfase entre computadora y monitor Geiger	36
3.2.3 Circuito de control.....	38
3.2.4 Circuito demodulador	39
3.2.5 Computadora personal.....	40

3.3 Fase de ensamblaje / operación	40
3.3.1 Diagrama a bloques del sistema de seguridad	40
3.3.2 Vista global del ensamblaje del sistema	41
CAPITULO 4 RESULTADOS ESPERADOS	
4.1 Beneficios al personal ocupacionalmente expuesto	42
4.2 Cumplimiento con normas internacionales	42
4.3 organización administrativa para control o vigilancia	42
4.4 Ventajas	44
4.5 Recomendaciones	44
BIBLIOGRAFÍA	45
APÉNDICE	46
Programa operacional	46
Curvas de isodosis	50

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla 1	Clasificación de la radiación	1
Tabla 2	Factores de calidad	4
Tabla 3	Constante específica de algunos isótopos	5
Tabla 4	Isótopos de fuentes empleados por Pemex	7
Tabla 5	Nomenclaturas de fuentes utilizadas por Pemex	7
Tabla 6	Dosis máxima permisible para zonas irradiadas	12
Tabla 7	Capas hemirreductoras para Co-60 y Cs-137	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Poder de penetración	2
Figura 2	Ley del decaimiento radiactivo	3
Figura 3	Principales fuentes de radiación	6
Figura 4	Fuentes radiactivas dentro de sus contenedores	8
Figura 6	Secuencia temporal de efectos biológicos	10
Figura 7	Equipo para tomar registros radiactivos	14
Figura 8	Atenuación de radiación X, o gama	19
Figura 9	Detector Geiger Muller	20
Figura 10	Monitor portátil	20
Figura 11	Detectores de neutrones	21
Figura 12	Dosímetro de lectura directa	22
Figura 13	Dosímetro tipo película fotográfica	22
Figura 14	Organigrama del Grupo de Seguridad Radiológica	25
Figura 15	Control de fuentes radiactivas durante su transportación	27
Figura 16	Abandono de fuente abajo de zona productora	28
Figura 17	Abandono de fuente arriba y en zona productora	29
Figura 18	Formato para control de entrada y salida de fuentes	30
Figura 19	Fosas de almacenamiento de fuentes radiactivas	31
Figura 20	Fosas de almacenamiento Clase "A"	32
Figura 21	Diagrama de bloques del Contador Geiger E-520	36
Figura 22	Cable de interfase computadora - monitor	37
Figura 23	Circuito de control	38
Figura 24	Circuito demodulador	39
Figura 25	Diagrama de bloques del sistema de seguridad	40
Figura 26	Vista global del ensamble del sistema	41

INTRODUCCION

RADIACIÓN, palabra que despierta interés, temor, admiración y esperanza, por sus aplicaciones y sus consecuencias dentro del ámbito de la medicina, la física nuclear y la industria.

EL ser humano ha estado expuesto a las radiaciones ionizantes desde sus orígenes, y sólo fue capaz de identificarlas y usarlas hasta el año de 1895 cuando Konrad Roentgen descubrió los Rayos X.

El control de la energía de las radiaciones ha permitido el progreso en diversas áreas del conocimiento, procurando con ello un mejoramiento de la calidad de vida del hombre.

Petróleos Mexicanos, cuyo propósito es la búsqueda y extracción de hidrocarburos, así como la producción de los derivados del crudo, utiliza variadas y complejas técnicas; algunas de ellas basadas en el uso de material radiactivo.

Al utilizar radiaciones ionizantes, deben considerarse los efectos inmediatos y a largo plazo sobre los trabajadores expuestos; por consiguiente, deben conocerse las propiedades de estas radiaciones y poner al alcance de quienes las manejan los principios básicos de la protección radiológica.

Pemex, conciente de los beneficios y de los riesgos que involucra el uso de radiaciones ionizantes, ha capacitado a su personal, aplicando normas y procedimientos aprobados internacionalmente y regulados en México por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

Una de las principales acciones de la Protección Radiológica es la aplicación del concepto ALARA (As Low As Reasonably Attainable) que establece que "la dosis de exposición del trabajador debe ser tan baja como razonablemente sea posible"

Con el propósito de prevenir y disminuir los riesgos por irradiación a los trabajadores y público en general, se desarrolla una propuesta para implantar un SISTEMA DE MONITOREO, DETECCION Y ALARMA DE RADIACIONES IONIZANTES PARA EL LUGAR DE ALMACENAMIENTO DE MATERIAL RADIATIVO, en el Departamento de Servicio a Pozos, dependiente de la Superintendencia de Perforación y Mantenimiento de Pozos.

1.- CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIATIVIDAD

1.1 RADIACIÓN

Se entiende por radiación a toda energía en movimiento. Debido a que cualquier partícula que se mueve posee energía, tanto los átomos, los núcleos de los átomos, los protones o los neutrones cuando se trasladan de un lugar a otro en el espacio emiten o constituyen radiación.

La energía no solo es transportada por partículas, sino también por ondas que forman parte de la radiación electromagnética, que incluye la luz visible y la luz ultravioleta, etc. La radiación puede clasificarse convenientemente en cuatro tipos:

TABLA 1 Clasificación de la radiación

RADIACIÓN CON CARGA

- 1.- Electrones rápidos
- 2.- Partículas cargadas

RADIACIÓN SIN CARGA

- 3.- Electromagnética
- 4.- Neutrones

Los electrones rápidos incluyen partículas beta positivas o negativas emitidas por un proceso atómico o nuclear denominado decaimiento.

Las partículas cargadas comprenden iones energéticos tales como partículas alfa, protones, productos de fisión, o los productos de reacciones nucleares.

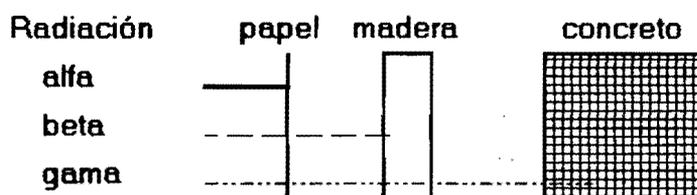
La radiación electromagnética de interés para este trabajo incluye los rayos X, emitidos por el rearrreglo de las órbitas electrónicas del átomo, y los rayos gama, los cuales son originados por transiciones dentro de un mismo núcleo.

Los neutrones generados en varios procesos nucleares, tienen un rango de energía entre 10 ev y 20 Mev, el límite mínimo es la energía requerida para producir ionización en materiales típicos por la radiación o productos secundarios de su interacción. Las radiaciones con energías mayores que esta energía mínima se clasifican como radiaciones ionizantes.

Las radiaciones de interés difieren por su poder de penetración. Cuando la radiación incide sobre cualquier material por ejemplo un ladrillo, colisiona con los átomos de este material y en cada una de las colisiones les transfiere parte de su energía.

Las partículas alfa transfieren mucha energía en cada choque y son detenidas en unos cuantos centímetros de aire o incluso en el espesor de una hoja de papel. Toda la energía transportada por una partícula alfa queda depositada en un pequeño volumen del material irradiado, como se observa en la figura 1. Las partículas beta transfieren poca energía en cada choque y por esto se necesitan muchas colisiones para detenerlas; Se requiere al menos un metro de aire o algunos centímetros de madera para que se detengan, (la energía que transfieren al material irradiado queda menos concentrada). Mientras que los rayos gama logran penetrar materiales con mayor espesor y se necesitan varios centímetros de plomo o de concreto para atenuarlos.

FIGURA 1 Poder de penetración



1.2 RADIATIVIDAD

Radiactividad es la emisión espontánea de energía que producen algunos núcleos atómicos. Los núcleos que pueden emitir radiación de manera espontánea se llaman radiactivos o inestables. Debido a que la energía se conserva, un núcleo debe tener un exceso de energía en su interior antes de emitirla, esta energía "sobrante" es la que el núcleo emite como partículas energéticas (alfa o beta) o como radiación electromagnética (rayos gama).

Cada núcleo radiactivo o radioisótopo tarda un tiempo característico en decaer, este tiempo se llama **Vida Media**; es decir si en un instante se tiene una cantidad N de núcleos radiactivos, después de transcurrido un tiempo o período P igual a la vida media, solamente quedará la mitad de los núcleos originales, es decir $N/2$. La otra mitad decayó emitiendo radiación. Esto es:

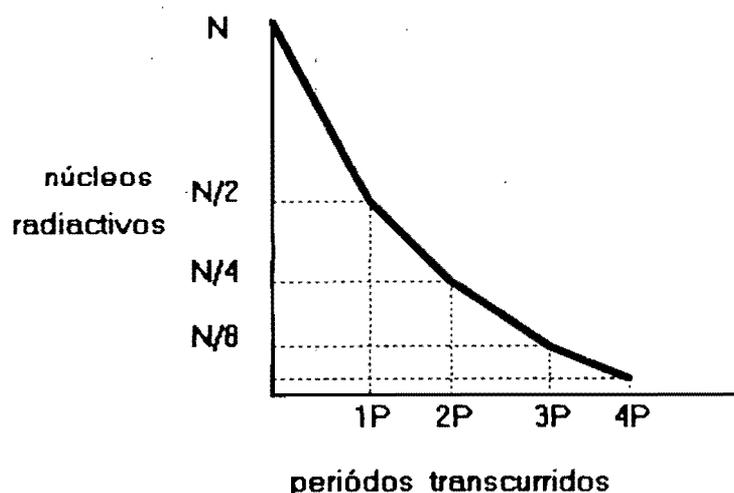
$$A = -dN/dt = N \lambda \quad (1.1)$$

donde A es la actividad de la muestra y λ es definida como la constante de decaimiento

La ecuación (1.1) es la ley del decaimiento radiactivo que puede representarse por la expresión exponencial $A = A_0 e^{-\lambda t}$

donde A_0 es la actividad original conocida de la muestra y t es el tiempo a que corresponde la actividad A (ver figura 2)

FIGURA 2 Ley del decaimiento radiactivo



El número de partículas o rayos emitidos en cada segundo por una cantidad de material radiactivo se llama **Actividad** de la muestra y depende del número de núcleos radiactivos.

La unidad para medir la actividad era el **Curie**, y se define exactamente como 37 mil millones de decaimientos/segundo. Actualmente, se usa también el **Becquerel**, que se define como una desintegración/segundo.

1.3 EXPOSICIÓN Y DOSIS

Cuando la radiación proveniente de una fuente radiactiva encuentra en su camino un medio físico cualquiera, como es el aire, el agua o el cuerpo humano, deposita una cantidad de energía cuyo efecto dependerá de la cantidad de energía que sea absorbida. (Brandan, Ester 1990, La radiación al servicio de la vida, pag. 28)

La dosis absorbida - mide la energía depositada o cedida por la radiación a los tejidos u órganos atravesados. El **Rad** es la unidad más conocida para medir esta dosis y corresponde a 100 ergs depositados en un gramo de materia, es decir 0.01 Joules por kilogramo de materia (Actualmente se utiliza el **Grey** que equivale a 100 rads)

Para evaluar de modo intuitivo si una dosis puede causar un efecto grande o pequeño es útil saber que, comparativamente, si una persona se expone a una irradiación de 600 rads, es probable que muera, mientras que todos los seres humanos recibimos cada año unos dos décimos de rads (0.2 rad) que provienen de la radiación natural existente en la tierra.

Dosis equivalente o equivalente de dosis. - Un rad de rayos X no causa el mismo daño biológico que un rad de partículas alfa, por lo que se han definido factores de efectividad biológica llamados factores de calidad (F.C.) para cada partícula; que se muestran en la Tabla 2.

El equivalente de dosis, es la dosis absorbida por el organismo multiplicada por el factor de calidad apropiado al tipo de partícula que constituye la radiación, y su unidad se expresa comunmente en Rems. Esto es: un rem de rayos X causa el mismo efecto que un rem de partículas alfa o de neutrones.

TABLA 2. Factores de calidad

rayos X y gama	FC= 1	1 rad = 1 rem
neutrones lentos	FC=2.5	1 rad = 2.5 rem
protones	FC=10	1 rad = 10 rem
Partículas alfa y neutrones rápidos	FC=20	1 rad = 20 rem

Para los rayos X y los rayos gama, el factor de calidad vale uno, por lo que para radiaciones electromagnéticas, un rem es igual a un rad.

Para la radiación de partículas alfa y neutrones los factores son mayores que uno, y en estos casos el efecto biológico equivalente a un rem es causado por dosis absorbidas menores a un rad, En otras palabras a igualdad de dosis absorbidas, una irradiación con neutrones rápidos viene a suponer daño biológico 20 veces mayor que con radiación gama. (Brandan Ester, 1990, La radiación al servicio de la vida, pag. 29)

Tasa de exposición.-Un individuo puede absorber una dosis total de un rem en un minuto por hallarse en un campo intenso de radiación, o en un año por vivir en un campo de radiación débil, siendo importante considerar las Tasas de exposición por unidad de tiempo. Esto es: Roentgen/hora que corresponde a exposición, rad/hora para dosis absorbida y rems/hora para equivalente de dosis.

La tasa de exposición que una fuente produce en un punto es tanto menor cuanto mas alejada se encuentra. Aunque el número de desintegraciones/segundo de distintos isótopos sea el mismo, no necesariamente producen el mismo nivel de radiación a una misma distancia (debido entre otras razones, al hecho de que los núcleos de ciertos isótopos emiten un solo fotón de radiación gama al desintegrarse y otros isótopos emiten varios fotones).

La constante específica de radiación gama de un isótopo, se define como la tasa de exposición sin blindaje que a un metro de distancia en el aire produce un curie. La tabla 3 muestra valores de la constante específica para algunos isótopos.

TABLA 3 Constante específica de algunos isótopos

Isótopo	Constante específica Roentgen/Hora por Curie a 1 metro
Na - 22	1.32
Mn - 52	1.92
Mn - 54	0.48
Fe - 59	0.65
Co - 60	1.32
Cs - 137	0.35

1.4 FUENTES DE RADIACIÓN

La cantidad de radiación natural recibida por el ser humano es relativamente similar en todas partes del planeta; se pueden distinguir dos mecanismos principales de irradiación: externa, cuando la radiación proviene de fuera del cuerpo, e interna, cuando el elemento radiactivo emisor ha sido ingerido o inhalado y por lo tanto se encuentra ubicado dentro del organismo. Los rayos cósmicos son los principales responsables de la irradiación externa, durante la evolución de una estrella se emiten rayos X, rayos gama, ondas de radio, neutrones, protones y núcleos más pesados que al dirigirse a la tierra (principalmente protones y partículas alfa) encuentran la atmósfera e interactúan con los núcleos de los átomos presentes. La interacción de las partículas cósmicas con los núcleos en el aire produce reacciones nucleares en las que se crean nuevas partículas que continúan el viaje hacia la superficie (principalmente muones)

Otra fuente importante de irradiación externa, la constituyen los rayos gama emitidos por núcleos radiactivos presentes en el suelo o en el aire.

La contribución de los primeros a la irradiación es insignificante. La cantidad de radiación al aire libre o de fondo en un lugar, está íntimamente relacionada con la presencia de núcleos radiactivos en el suelo. Los núcleos que más contribuyen a la radiactividad de las rocas son el Potasio-40, Uranio-238 y el Torio-232.

Tomando en cuenta los factores mencionados se estima que el equivalente de dosis promedio mundial para un individuo proveniente de la irradiación externa por rayos gama, es de unos 35 milirems cada año.

La irradiación interna se debe a la inhalación de polvo que contenga en suspensión partículas radiactivas, así como a la ingestión de agua y alimentos que hayan incorporado algún elemento inestable a su composición. Pero la fuente principal de irradiación interna la constituye la inhalación de gas Radón. Este

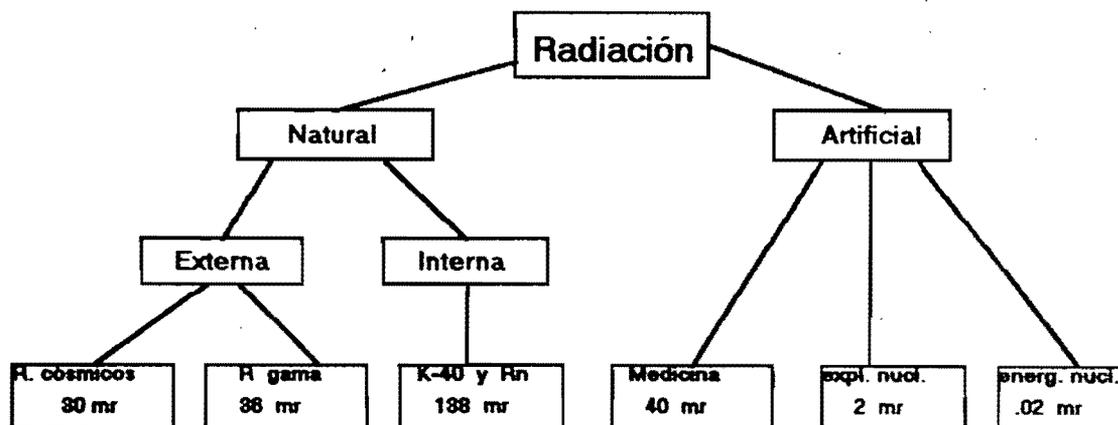
elemento se produce en los decaimientos radiactivos del uranio y del torio y es a su vez inestable, transformándose en una partícula alfa y un núcleo de Polonio.

La fuente más importante de radiación producida por el hombre es la utilización de los rayos X. Se estima que el ser humano recibe en promedio unos 40 milirems anuales debido a exámenes radiológicos.

Las explosiones nucleares realizados en la atmósfera desde 1945, han inyectado toneladas de material radiactivo a las capas altas de la atmósfera. Los núcleos más importantes entre los cientos que se producen durante la detonación de un artefacto nuclear resultan ser el Carbono-14, el Cesio-137, el Circonio-95 y el Estroncio-90.

La generación de energía nuclear es otra fuente de radiación; (ver fig. 3). En la actualidad existen mas de 400 reactores nucleares funcionando en 26 países, que producen aproximadamente el 16 % de la electricidad utilizada en el mundo. La elaboración previa de minerales de uranio, el enriquecimiento del contenido de uranio-235, la operación del reactor, el reciclamiento de los núcleos recuperados y la eliminación de los desechos radiactivos producen la mayor parte de la dosis de irradiación al ser humano. Hoy en día el público recibe en promedio, debido al uso de reactores nucleares una dosis que es diez mil veces menor que los valores de radiación natural.

FIGURA 3 Principales fuentes de radiación (valores anuales promedio)



1.5 FUENTES RADIATIVAS UTILIZADAS POR PEMEX

En Petróleos Mexicanos, la radiación se emplea para determinar espesores de pared metálica, nivel y posición de algún material, (localización de diablos o raspadores), pero la aplicación más frecuente en Pemex, es el registro radiactivo en los pozos exploratorios, para conocer la naturaleza y contenido de las formaciones atravesadas. En este caso las fuentes emisoras pueden ser de rayos gama o de neutrones.

Las fuentes que utiliza Pemex están constituidas por materiales radiactivos en estado sólido, encerrados en una cápsula metálica de acero inoxidable. La tabla 4 indica los isótopos de las fuentes y la forma en que se encuentran.

TABLA 4 Isótopos de fuentes empleadas por Pemex

Isótopo Cs-137	vida media 33 años
emisión	rayos gama
forma física o química	cesio atrapado en cerámica
obtención	producto de fisión fabricado en forma de cápsula
Isótopo Ra-226	vida media 1590 años
emisión	rayos gama
forma física o química	sales de radio
obtención	producto por decaimiento, se encierra en cápsula metálica
Isótopo Am-241-Be	vida media 458 años
emisión	neutrones con gama de baja energía
forma física o química	óxido de Americio y Berilio en forma de comprimido
obtención	se mezclan polvo de Americio y Berilio se comprimen y se encapsulan

*Fuente de calibración.

Nomenclatura de las fuentes empleadas por Pemex

La tabla 5 indica la nomenclatura de las fuentes y recipientes que las contienen y la figura 4 muestra las fuentes radiactivas dentro de sus contenedores.

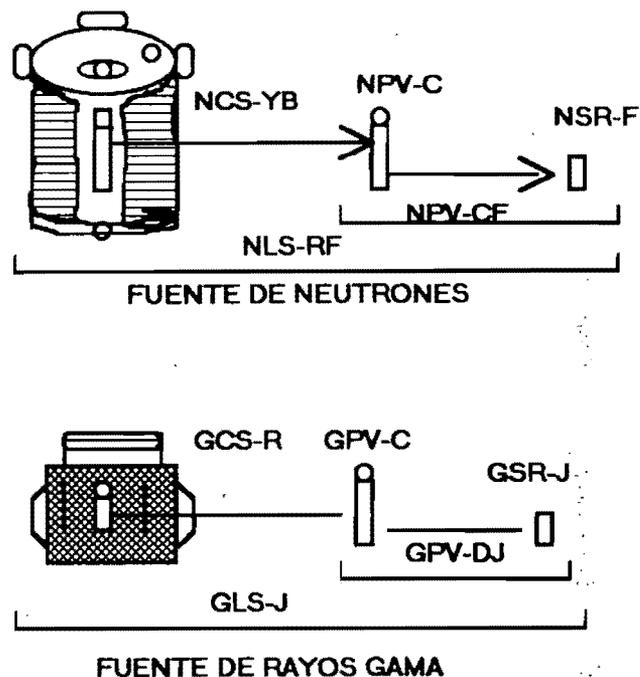
TABLA 5 Nomenclatura de fuentes empleadas en Pemex

FUENTE	ISÓTOPO	ACTIVIDAD	ENVASE PRESIÓN	FUENTE C/ENVASE	BLINDAJE	EMBALAJE
GSR-J	Cs-137	1.5 Ci	GPV-C	GPV-DJ	GCS-R	GLS-J
NSR-F	Am241Be	16 Ci	NPV-C	NPV-CF	NCS-YB	NLS-RF
NSR-M	Am241Be	10 Ci	NPV-L	NPV-LM	NCS-WB	NLS-LM

GSR-J Gamma Source Radiactive tipo J
 GPV-C Gamma Pression Vessel tipo C
 GCS-R Gamma Carrying Source tipo R
 GLS-J Gamma Logging Source tipo J

NSR-F	Neutron Source Radiactive tipo F
NPV-C	Neutron Pression Vessel tipo C
NCS-YB	Neutron carrying Source tipo YB
NLS-RF	Neutron Logging Source tipo RF

FIGURA 4 Fuentes radiactivas dentro de sus contenedores



1.6 EFECTOS BIOLÓGICOS NOCIVOS

Todas las sustancias radiactivas o fuentes de radiaciones ionizantes son potencialmente peligrosas. Para poder explicar lo que ocurre en el organismo como consecuencia de la exposición a la radiación es necesario determinar los efectos a nivel celular.

Los principales factores que determinan el efecto biológico son el tipo de radiación y la dosis absorbida. Sin embargo el tiempo que se recibe esta dosis y el número de veces que el individuo se expone a la radiación son factores que pueden modificar los efectos producidos. No tendrá los mismos efectos la administración de una dosis única, que la misma dosis distribuida en múltiples exposiciones, la edad, estado de salud, área expuesta y tipo de tejido irradiado de un individuo son determinantes de la gravedad de los efectos.

Por ejemplo, los efectos o consecuencias de 400 rems recibidos en el cuerpo entero no serán las mismas que cuando 400 rems sean absorbidos por una mano;

en el primer caso, la vida del individuo estará en pleno peligro, mientras que en el segundo, las consecuencias son las de una quemadura severa.

Para revisar los efectos biológicos por irradiación, los dividiremos en dos tipos: Los efectos inmediatos y los efectos tardíos.

EFFECTOS INMEDIATOS

a) en la célula

Cuando una partícula cargada, atraviesa el medio celular, es posible que su campo eléctrico consiga arrancarle electrones a las moléculas que constituyen la membrana, el citoplasma ó el núcleo. A este proceso se le llama ionización; pues las moléculas que antes eran eléctricamente neutras, se transforman en iones.

Si la molécula ionizada es parte de la membrana celular, es posible que se produzca una rotura que cause la muerte de la célula.

Si la molécula es dañada en el ADN del núcleo, parte de la información almacenada en los genes puede modificarse, perderse y dar lugar a que surjan mutaciones. (Brandan, La radiación al servicio de la vida, 1990, pag. 50)

b) en los órganos vitales

Los efectos de la radiación en diferentes tejidos dependen en gran medida de la reproducción celular durante y después de la irradiación.

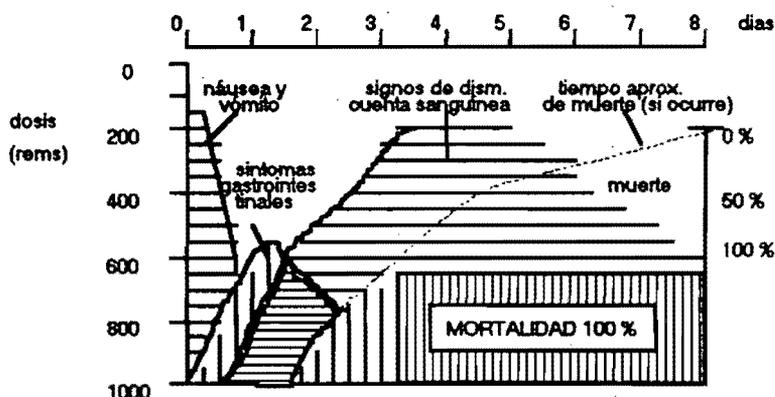
Hay células que viven pocos días, como las formadoras de glóbulos rojos en la médula ósea, o las células que recubren las paredes del intestino y la piel, mientras que otras células como la nerviosas, pueden acompañar al individuo durante toda su vida. Por esta razón unas células son más sensibles a los efectos de la radiación durante la mitosis que en otras etapas de su ciclo celular.

órgano	dosis	reacciones
piel	cerca de 100 rems	se produce eritema
	500 a 700 rems	destrucción de epidermis
	1000 a 2000 rems	necrosis
médula ósea	mayor de 100 rems	disminución de glóbulos rojos, blancos y plaquetas.
	300 a 600 rems	escasez de células sanguíneas, que puede producir la muerte
intestino	cerca de 100 rems	leves trastornos en la absorción, náusea y diarrea
	mayor de 700 rems	ulceraciones, hemorragias, perforación del intestino y probable muerte
pulmón	1500 a 2000 rems	se produce adelgazamiento y la pérdida de la permeabilidad de la pared alveolar, favoreciendo infecciones pulmonares

Médula espinal	mayor de 500 rems	pérdida de sensibilidad debido a la escasez de mielina.
Cuerpo entero	1 500 a 2000 rems cerca de 500 rems	sobreviene la parálisis. se produce dolor de cabeza, falta de apetito, diarrea, disminución de glóbulos y plaquetas y pérdida del pelo.
	400 a 500 rems mayor de 700 rems	el 50 % de los individuos muere. se produce la perforación del intestino, surge la peritonitis y aparece la septicemia que conduce a la muerte.
	cerca de 5000 rems	shock nervioso central y muerte.

La figura 6 muestra la secuencia temporal de los principales efectos biológicos inmediatos causados por irradiación aguda y a cuerpo entero.

FIGURA 6 Secuencia temporal de efectos biológicos



EFFECTOS TARDÍOS

Estudios científicos han mostrado que los efectos biológicos más preocupantes son daños genéticos y el cáncer, aunque estos efectos son poco probables y aparecen generalmente varios años después de ocurrida la exposición.

Los efectos de cualquier agente externo que actúe sobre el ADN de las células reproductivas produce alteraciones (mutaciones) en el individuo. Los descendientes de este individuo son portadores de la mutación y pueden sufrir las consecuencias de ésta, e incluso transmitirla a sus propios hijos.

La evidencia científica se limita a los estudios en roedores, en los que se ha medido la inducción de muerte fetal, las alteraciones en el color del pelo, en el esqueleto, en la estructura de los ojos y en los cromosomas de la descendencia.

Los estudios con animales muestran que dosis tan bajas como unos pocos rems durante etapas críticas del desarrollo embrionario pueden causar malformaciones.

Los estudios en aquellos sobrevivientes que se encontraban in útero durante las explosiones de Hiroshima y Nagasaki han mostrado que tienen menor estatura y poco peso (alteraciones en la formación del esqueleto) y sus diámetros cefálicos son inferiores (microcefalia) a los del grupo testigo no irradiado.

El Cáncer, es una enfermedad que altera la reproducción normal de las células, por lo que se producen tumores. El crecimiento descontrolado del tumor altera el funcionamiento normal del órgano en que se encuentra y puede causar la aparición de nuevos tumores en otros órganos. Aunque el factor causal del cáncer no es conocido, sin embargo, la evidencia científica indica que la producción de mutaciones en el ADN de las células desempeña un papel importante en su inicio.

Altas dosis de radiación (superiores a 100 rems) pueden producir cáncer. De nuevo, el estudio más documentado es el de los sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki. La leucemia, que es un cáncer de las células sanguíneas, es el tipo de cáncer mas frecuente asociado con la radiación. Tan solo tres años después de las explosiones ya se habían registrado casos de leucemia superior a la normal y la máxima incidencia se registró 10 años después de la irradiación. La dosis promedio recibida fue de 32 rems. También se han reportado incrementos en cánceres de pulmón, tiroides y mama en ese grupo humano.

Si bien la evidencia de la inducción de cáncer por exposiciones a altas dosis es inobjetable, el posible riesgo a bajas dosis es aún objeto de estudio científico y de controversia pública.

Los organismos internacionales dedicados al estudio de los efectos biológicos de la radiación como son: el Comité de la Academia Nacional de Ciencias de los EE.UU para los efectos de la Radiación Ionizante (BEIR), el Comité Científico de las Naciones Unidas para los efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), han establecido normas de protección, para quienes se benefician con el uso de material radiactivo y público en general.

1.7 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

El objetivo de la protección radiológica es permitir el aprovechamiento de la radiación en todas sus aplicaciones, con un riesgo aceptable tanto para el poe (personal ocupacionalmente expuesto) como para el público en general.

El concepto que gobierna la protección radiológica se conoce con el nombre de ALARA (As Low As Reasonably Attainable) tan poca radiación como razonablemente sea posible.

Basándose en las información médica disponible, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), ha establecido valores de dosis máximas que podrán recibir los trabajadores cuya actividad implica exponerse a la radiación. Tales como: médicos radiólogos nucleares, los radioterapeutas, los investigadores

en física atómica y nuclear, que utilizan fuentes de radiación; así como los operadores de material radiactivo de las fuentes selladas que se utilizan en la industria petrolera para la obtención de registros nucleares en pozos.

La CIPR es un organismo internacional no gubernamental, constituido por personal experto de diferentes países, especialistas en Biología, Química, Física, Medicina, Genética, etc., cuya misión fundamental consiste en promover y realizar estudios sobre la acción de la radiación en seres vivos y sugerir las normas de protección. Sus recomendaciones son aceptadas por la mayoría de los países.

En México la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), es el organismo encargado de vigilar el cumplimiento de la reglamentación existente en el área de seguridad y protección radiológica; que son en su mayoría leyes basadas en las recomendaciones de la CIPR.

La CIPR ha definido los límites de equivalente de dosis para personal ocupacionalmente expuesto, con el fin de limitar la aparición de efectos biológicos a un nivel considerado aceptable, de acuerdo a los riesgos a que se expone un trabajador en cualquiera otra actividad profesional moderna.

En la actualidad se especifica para el poe un límite anual de equivalente de dosis para la irradiación a cuerpo entero de 5 Rems. Se cree que esta dosis, aún recibida repetidamente a lo largo de muchos años de vida profesional, no produce efectos perjudiciales al trabajador ni a sus descendientes. Suponiendo 50 semanas de trabajo al año, ello equivale a una dosis media semanal de 100 milirems, y suponiendo 40 horas semanales de trabajo, se tendrá que el valor máximo de la tasa de dosis promedio durante el trabajo queda fijada en 2.5 milirems/hora.

En caso de que no se conozca la dosis total recibida con anterioridad de un trabajador, deberá suponerse que ha recibido la dosis máxima permisible correspondiente a su edad.

$$D = 5 (EDAD - 18^*) \text{ rems}$$

* No se permite trabajar a personas menores de 18 años

Por otra parte, se estima, que una irradiación accidental de 25 rems en todo el cuerpo, aún recibida en un corto plazo, no tiene efecto significativo en la vida y salud de un trabajador normal, con tal de que dicha irradiación solo ocurra una vez en la vida. Colimando una fuente radiactiva mediante blindajes apropiados puede limitarse convenientemente la zona expuesta a la radiación, pudiendo entonces irradiarse solo una parte del cuerpo. Las dosis máximas permisibles en tales casos a lo largo de un año o de un trimestre se muestran en la tabla 6.

TABLA 6 Dosis máximas permisibles para zonas irradiadas controladas

ÓRGANO	D O S I S	
	Trimestral	Anual
cuerpo entero, genitales, médula ósea	3 rems	5 rems
piel, tiroides, hueso	15 rems	30 rems
extremidades (manos, pies)	40 rems	75 rems
cualquier órgano aislado	8 rems	15 rems

Las dosis máximas anteriores no son aplicables a mujeres trabajadoras en condiciones de procrear; éstas deberán trabajar con límites máximos en el abdomen de 1.3 rems por trimestre y una vez diagnosticado el embarazo, la dosis total máxima no debe exceder de 1 rem.

La CIPR recomienda para personas del público en general, límites de dosis igual 0.5 rems anuales, que viene a ser la décima parte de la que se recomienda para el poe. Para que estas recomendaciones al público se cumplan, es necesario planear todas aquellas acciones que provocan la liberación de núcleos radiactivos ó radiación al ambiente, de modo que no excedan los límites de dosis.

La diferencia establecida entre poe y el público en general, obedece a razones fáciles de comprender; los primeros constituyen un relativamente pequeño núcleo de población, cuyos riesgos de exposición suelen estar previstos, por lo que se someten periódicamente a reconocimientos médicos adecuados, y se establece un sistema de vigilancia y medida que garanticen que no se rebasarán las dosis máximas permisibles. Por el contrario, el público en general constituye un núcleo mucho más amplio, no sujeto a vigilancia médica y en los que están comprendidos, mujeres en gestación, niños, adolescentes, enfermos y ancianos.

2 SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN EL TRABAJO

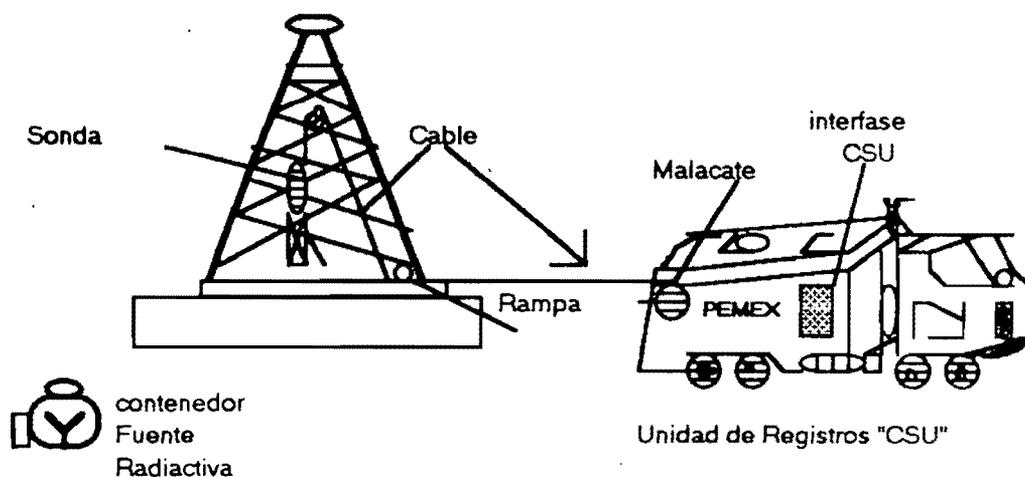
2.1 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

Petróleos Mexicanos, ha utilizado fuentes radiactivas, (desde hace más de 30 años) para la determinación de algunas propiedades y parámetros en el estudio de las formaciones que atraviesan los pozos petroleros. La información obtenida de estos estudios es útil para la identificación de los diferentes tipos de rocas, para la determinación de los espesores de los estratos y, para efectuar correlaciones estratigráficas que ayudan a establecer las posibilidades de localizar hidrocarburos.

Como ya se mencionó en el inciso 1.5, las fuentes radiactivas utilizadas para estos fines son Cs-137 que es emisor de rayos gama y de Am-241-berilio que es emisor de neutrones; así como la fuente de Ra-226 que sirve para calibrar el equipo.

El equipo empleado para la obtención de un registro continuo del pozo (figura 7) consta de una sonda electrónica, dentro de la cual está la circuitería y los instrumentos que se introducen al pozo; en el extremo inferior de esta sonda se coloca y asegura la fuente radiactiva. La sonda es interconectada a través de un cable eléctrico con la interfase electrónica de la unidad cibernética de superficie que se encuentra dentro de una unidad móvil llamada unidad de registros geofísicos CSU (Cyber System Unit)

FIGURA 7 Equipo para tomar registros radiactivos



Para describir las actividades en las cuales el poe se expone a irradiación, es conveniente dividir la operación del registro en cinco grupos.

- 1.- Preparación del equipo y unidad de registro
- 2.- Transportación al pozo (ida y regreso)
- 3.- Toma de registros (transvase fuentes contenedor- sonda)
- 4.- Recuperación de la sonda (transvase fuentes sonda -contenedor)
- 5.- Almacenamiento de las fuentes.

1.- Para tomar un registro radiactivo en un pozo, se prepara la unidad de registro, dotándola del equipo y herramientas a emplear, tal como:

- a) Equipo de fondo: Sondas de litodensidad y neutrón compensado
- b) Equipo superficial: Módulos o tableros de interfase
- c) Equipo auxiliar: Fuentes de Cs-137 de 1.5 curies y Am-241-Be de 16 curies (Ci)

Antes de abandonar la base de operaciones para salir al pozo, se realiza una verificación de buen funcionamiento del equipo, interconectando el equipo y utilizando para ello fuentes radiactivas de calibración (Ra-226) de poca actividad ó introduciendo valores numéricos de referencia para autocalibración.

2.- Una vez verificado el buen funcionamiento del equipo, se procede a subirlo, junto con las fuentes radiactivas las cuales se colocan en un compartimiento especial para transportación, situado generalmente en la parte posterior de la unidad, conducida por una persona con categoría de malacatero y dos ayudantes.

3.- Al llegar al pozo se coloca la unidad en posición de registro, se bajan las fuentes radiactivas alejándolas a una distancia de cuando menos 30 m, pero siempre a la vista del malacatero y con la señalización radiactiva correspondiente.

Sobre la rampa de acceso al pozo se extiende el cable y se conecta el equipo de fondo, realizando otra verificación de buen funcionamiento para asegurar que no ocurra una falla debido a las vibraciones durante la transportación.

Una vez que el personal de perforación entrega el pozo al personal de registros, éstos inician la instalación de las poleas superior e inferior por donde pasará el cable para la introducción del equipo al fondo. Se coloca la sonda en la boca del pozo donde se procede con el transvase de las fuentes a las sondas; una vez colocadas éstas por el operador y auxiliado por los ayudantes, se inicia el descenso del equipo hasta llegar a la profundidad de donde se iniciará propiamente la corrida del registro hacia arriba hasta una segunda profundidad menor indicada en la orden de servicios.

4.-Al terminar de registrar el intervalo solicitado, se recupera la sonda y las fuentes, realizando el transvase de la sonda a los contenedores.

Cuando se han terminado las labores en el piso de perforación, se entrega el pozo al personal de perforación, y se acomoda enseguida todo el equipo de fondo

y las herramientas en la unidad de registros, posteriormente se suben las fuentes radiactivas a su compartimiento especial y se inicia el retorno a la base de operaciones.

5.- Al llegar a la base, inmediatamente el malacatero y sus ayudantes, supervisados por el ingeniero operador, depositan las fuentes radiactivas en las fosas de almacenamiento de material radiactivo diseñadas para tal fin.

2.2 CALCULO DE LA EXPOSICIÓN

Durante todas las actividades anteriores, el personal de registros está sujeto a una tasa de exposición radiactiva, que varía inversamente con el cuadrado de la distancia a la fuente. La dosis recibida se calcula en base a los siguientes datos:

(Datos obtenidos del manual operativo de la Cia. Schlumberger, 1988)

Fuente Am-241-Be de 16 Ci.

exposición a 40 pulgadas (1 m)	con contenedor	4.5 mrems/hora
exposición a 60 pulgadas (1.5 m)	con contenedor	2.0 mrems/hora
exposición a 180 pulgadas (4.22 m)	sin contenedor	2.0 mrems/hora

Fuente de Cs-137 de 1.5 Ci

exposición a 40 pulgadas (1 m)	con contenedor	5.8 mrems/hora
exposición a 68 pulgadas (1.7 m)	con contenedor	2.0 mrems/hora
exposición a 580 pulgadas (14.7 m)	sin contenedor	2.0 mrems/hora

La distancia entre una fuente y su nivel a 2 mrems/hora (curva de isodosis) es el campo más fuerte para trabajar con seguridad y se proporciona estrictamente como una referencia conveniente para el cálculo de la tasa de exposición máxima a otras distancias.

La exposición personal puede entonces calcularse casi con exactitud, a partir de la tasa de dosis y el tiempo de exposición. Esto es:

1.- preparación de equipo y unidad

actividad	tiempo máx.	distancia mínima
sacar fuentes de la fosa	5 minutos	15 pulgadas (38 cm)
colocar fuentes en unidad	5 minutos	15 pulgadas (38 cm)

Para Am-241-Be a 60 pulgadas se tienen 2 mrems/h
a 15 pulgadas la exposición será $2 \left\{ \left(\frac{60}{15} \right)^2 \right\} \times \left\{ \frac{05}{60} \right\} = 2.67$ mrems

Para Cs-137 a 68 pulgadas se tienen 2 mrems/h
a 15 pulgadas la exposición será: $2 \left\{ \left(\frac{68}{15} \right)^2 \right\} \times \left\{ \frac{05}{60} \right\} = 3.425$ mrems

2.- transportación al pozo.

actividad	tiempo max.	distancia mínima
de la base de oper. al pozo	5 horas	250 pulgadas (6.35 m)
del pozo a la base de oper.	5 horas	250 pulgadas (6.35 m)

$$\text{Para Am-241-Be} \quad 2 \times \left\{ \left(\frac{60}{250} \right)^2 \right\} \times (10/1) = 1.152 \text{ mrems}$$

$$\text{Para Cs-137} \quad 2 \times \left\{ \left(\frac{68}{250} \right)^2 \right\} \times (10/1) = 1.471 \text{ mrems}$$

3.- transvase de fuentes (introducción y recuperación)

actividad	tiempo máx.	distancia mínima
de contenedores a sondas	2 x 5 minutos	15 pulgadas
de sondas a contenedores	2 x 5 minutos	15 pulgadas

$$\text{Para Am-241-Be} \quad 2 \times \left\{ \left(\frac{60}{15} \right)^2 \right\} \times (10/60) = 5.33 \text{ mrems}$$

$$\text{Para Cs-137} \quad 2 \times \left\{ \left(\frac{68}{15} \right)^2 \right\} \times (10/60) = 6.85 \text{ mrems}$$

La exposición total durante el desarrollo del servicio será:

$$3.425 (2) + 2.67 (2) + 1.152 (2) + 1.471 (2) + 6.85 + 5.33 = 29.62 \text{ mrems}$$

Si el promedio permitido por semana son de 96 milirems; este personal podrá efectuar un total de operaciones de $96/30 = 3.2$ por semana.

2.3 FACTORES DE PROTECCIÓN

De acuerdo a las recomendaciones de la CIPR al fijar valores de dosis máximas permisibles para el poe y público en general, deberán adoptarse las precauciones necesarias para que estas personas no alcancen a recibir tales dosis. Y aún operando por debajo de dichos valores máximos, se recomienda que las dosis de radiación recibida sean lo más bajas posibles.

Las dosis de radiación recibida por un individuo al permanecer en las proximidades de una fuente radiactiva cualquiera, depende de tres factores fundamentales: **DISTANCIA, TIEMPO Y BLINDAJE.**

DISTANCIA.- Como la radiación gama se propaga en el aire en proporción inversa al cuadrado de la distancia, al alejarse de la fuente, la intensidad de radiación disminuye en la misma proporción en que aumenta el cuadrado de la distancia. De este modo, la dosis de radiación gama, que en un mismo intervalo de tiempo se recibe a un metro de distancia de una fuente radiactiva disminuirá a la cuarta parte al alejarse hasta 2 metros, a la novena parte a 3 metros, a la centésima parte al alejarse a 10 m, etc.

TIEMPO.- Otro factor importante es el tiempo a que el poe se somete a un cierto nivel de radiación al efectuar un trabajo. Lógicamente cuanto menor sea el tiempo empleado en la operación, menor será la dosis recibida. Por ello es muy conveniente que el poe esté bien entrenado y conozca debidamente los procedimientos de la operación a efectuarse en un ambiente de radiación.

En muchos casos, una adecuada combinación de estos dos factores (distancia y tiempo), bastará para proporcionar una protección adecuada. Sin embargo en la práctica se presentan circunstancias en las que esto no es suficiente para conseguir condiciones de trabajo adecuadas; bien porque a la máxima distancia de manipulación los niveles de radiación siguen siendo demasiado altos, o porque el tiempo a emplear haya de ser prolongado.

BLINDAJE.- El tercer factor consiste en interponer entre la fuente de radiación y el operador un blindaje constituido por un espesor suficiente de algún material absorbente de radiación.

La disminución de la radiación o atenuación de su intensidad, al incidir sobre un material dependerá del tipo y nivel de energía; y la atenuación a conseguir estará en función del tipo y espesor del blindaje.

Para construir un blindaje adecuado para los rayos X o la radiación gama es preciso emplear materiales pesados tales como hormigón o plomo. Un blindaje eficaz frente a un haz de neutrones lo constituye agua con boro disuelto, bloques de parafina o láminas de cadmio.

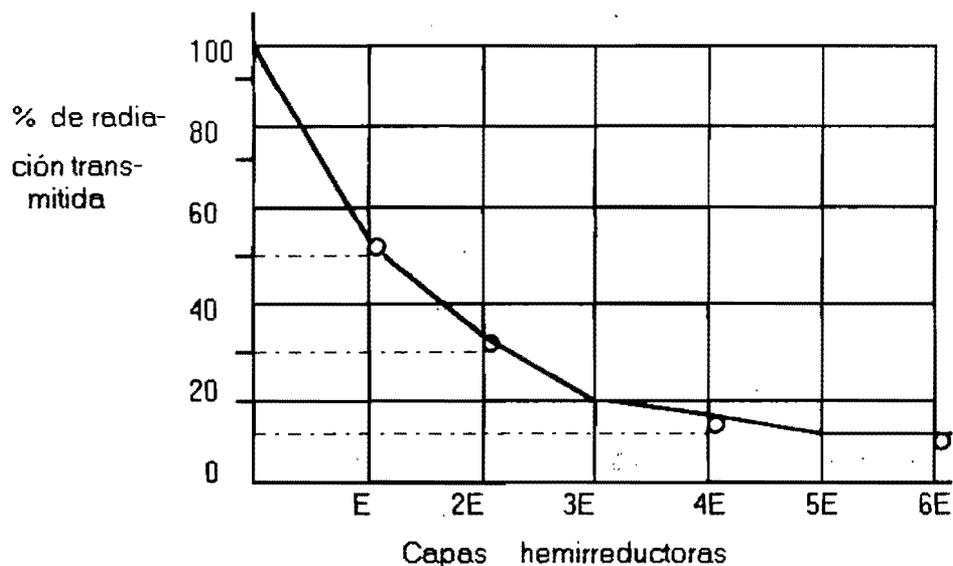
Capa hemirreductora es el espesor de un material que interpuesto en el camino de la radiación X ó gama, reduce la intensidad de ésta a la mitad. La tabla 7 muestra el espesor de las capas hemirreductoras para radioisótopos de Co y Cs.

TABLA 7 Capas hemirreductoras para Co-60 y Cs-137

fuente	capa hemirreductora		
	hormigón	hierro	plomo
Co-60	6.6 cm	2.2 cm	1.6 cm
Cs-137	4.4 cm	1.4 cm	0.9 cm

La atenuación sufrida por la radiación X ó gama al atravesar distintos espesores de un material determinado se representa en la figura 8.

FIGURA 8 Atenuación de radiación X o gama



2.4 MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN RECIBIDA

El organismo humano no puede percibir directamente muchos agentes físicos del mundo que lo rodea, entre ellos figuran las radiaciones nucleares.

El hombre ha ideado procedimientos y aparatos para detectar, medir y analizar las radiaciones nucleares a fin de prevenir sus posibles efectos perjudiciales, y poder en cambio sacar ventaja de sus múltiples aplicaciones. Para ello se emplean diversos efectos que produce la radiación al atravesar la materia:

a) ionización de gases

La radiación al ionizar el gas, produce una corriente eléctrica que, en determinadas condiciones, puede relacionarse con la intensidad de la radiación.

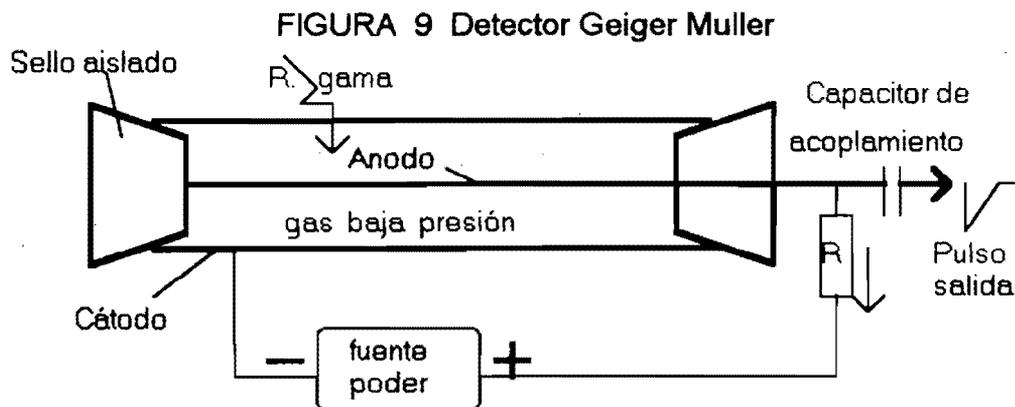
b) excitación de luminiscencia en sólidos

También la radiación, al atravesar cierto sólidos transparentes, provoca la excitación de una fracción de los átomos de dicho sólido, los cuales se desexcitan inmediatamente emitiendo fotones luminosos. La intensidad de la luz permite medir y analizar la radiación.

c) ennegrecimiento de placas fotográficas

Las radiaciones nucleares pueden atravesar la envoltura que protege de la luz ordinaria a una película fotográfica y ennegrecerla. Midiendo después la intensidad de dicho ennegrecimiento se puede deducir la dosis de radiación que ha recibido la película fotográfica.

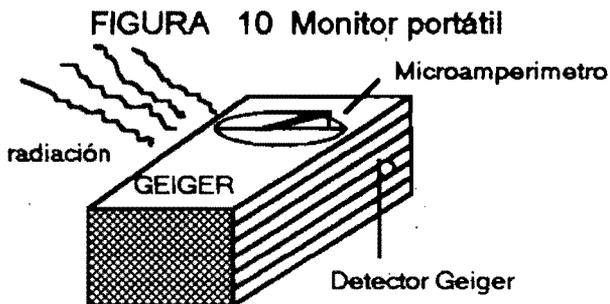
El personal de registros geofísicos en la actualidad cuenta con equipos medidores de radiaciones X ó gama que se basan en estos principios. Los más importantes son los contadores Geiger graduados directamente en unidades de radiación Roentgen / hora y los detectores de centelleo. (Basic radioactivity theory, Schlumberger 1972). La figura 9 representa un contador Geiger Muller.



Monitores portátiles

Los monitores portátiles son aparatos que proporcionan en todo momento la medida de la intensidad o nivel de radiación nuclear que alcanza al detector correspondiente y suelen poseer un dispositivo de alarma que produce una señal acústica o luminosa cuando el nivel de radiación excede un valor previamente fijado.

Estos monitores portátiles pueden llevar un detector de cualquiera de los mencionados, ya sea el contador Geiger o el de centelleo, y llevan como indicador de medida de corriente eléctrica, un micro amperímetro calibrado directamente en unidades de radiación. El monitor se muestra en la figura 10.



Medición de neutrones

Como los neutrones carecen de carga eléctrica, no son capaces de producir en forma directa una ionización apreciable al atravesar el gas de una cámara de ionización, ni de provocar efectos luminiscentes. Sin embargo, los neutrones, son capaces de provocar el desprendimiento de partículas cargadas al chocar y reaccionar con determinados núcleos. Por ejemplo al chocar con núcleos de boro

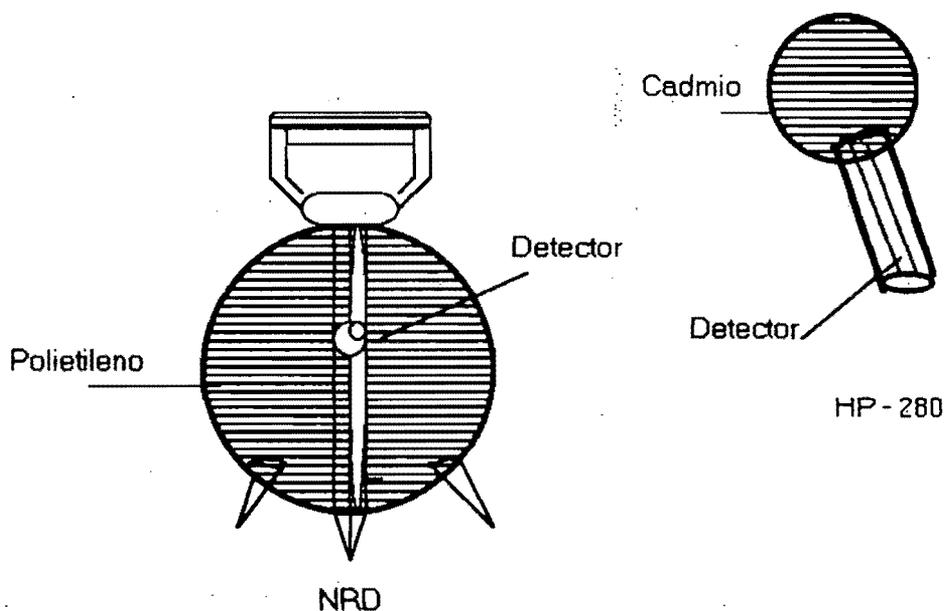
provocan el desprendimiento de partículas alfa, las cuales producen corrientes de ionización en un gas o efectos de luminiscencia en determinadas sustancias.

Al penetrar un haz de neutrones lentos en una cámara de ionización con gas que contenga boro, siendo el trifloruro de boro el más adecuado, se desprenden en el propio gas abundantes partículas alfa, las cuales provocarán una corriente de ionización cuya medida es proporcional a la intensidad del haz de neutrones.

Para detectar también los neutrones de mayor energía, se rodea el detector con un cilindro de grafito, parafina o polietileno, que constituyen un moderador y ser detectados con mayor eficacia, al incidir sobre el detector que contiene trifloruro de boro.

La figura 11 muestra dos detectores de neutrones NRD y HP-280 (neutron radiation detector)

FIGURA 11 Detectores de neutrones



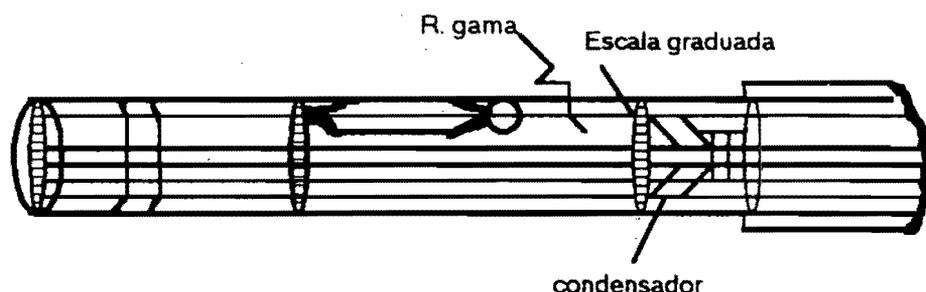
2.5 DOSIMETROS PERSONALES

Los dosímetros personales miden la dosis total recibida durante intervalos relativamente largos, por ejemplo de varias horas, días o semanas. El poe suele llevarlo de manera obligatoria prendido en la ropa de trabajo. Actualmente el personal de registros geofísicos cuenta con:

a) Dosímetros de lectura directa

Los dosímetros de lectura directa consisten de una pequeña cámara cilíndrica, del tamaño aproximado de una pluma estilográfica que, actuando como un condensador eléctrico, se carga a una tensión determinada para descargarse después, a medida que va recibiendo la radiación y por la corriente de ionización que ésta provoca. El usuario puede observar al trasluz por un pequeño orificio y sobre una escala graduada, la indicación de su estado de carga y por lo tanto la dosis recibida. La figura 12 muestra este tipo de dosímetro.

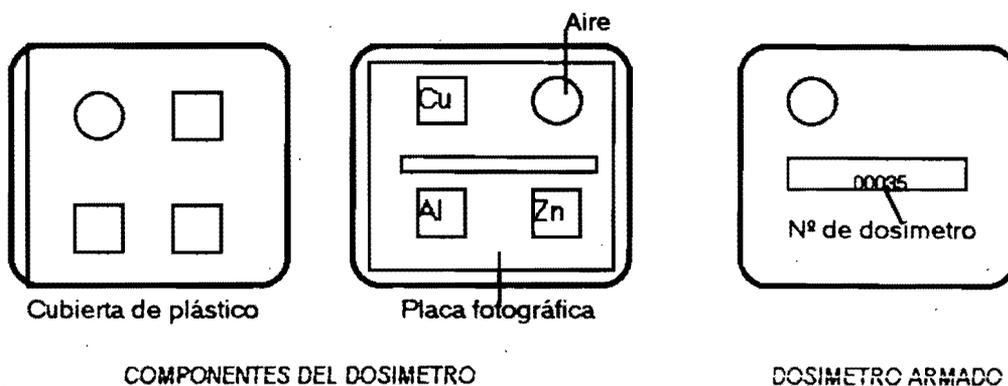
FIGURA 12 Dosímetro de lectura directa



b) Dosímetros de película fotográfica

En los dosímetros de película fotográfica, ver figura 13, la radiación imprime una pequeña placa (penetrando a través de la envoltura que la protege de la luz) que se revela bajo normas establecidas y se mide su grado de ennegrecimiento, deduciendo la dosis total de radiación recibida.

FIGURA 13 Dosímetro tipo película fotográfica



c) Dosímetros de termoluminiscencia

Los dosímetros de termoluminiscencia se construyen con ciertos sólidos cristalinos, los cuales después de haber recibido una dosis de radiación, emiten luz si son calentados a temperaturas del orden de los 100 °C, siempre muy por debajo de su temperatura de incandescencia. De esta manera miden la radiación que atravesó el dosímetro.

Estos dosímetros tienen forma de pastilla circular de varios centímetros de diámetro, y debe contarse con un sistema de calentamiento del dosímetro y de medida de luz desprendida.

Al calentar y medir la luz emitida por el dosímetro de termoluminiscencia desaparecen en él los efectos de la radiación recibida y queda dispuesto para ser nuevamente utilizado.

Las lecturas de los dosímetros personales se anotan como "dosis recibidas por el poe" y se lleva un registro de las dosis acumuladas para cada uno de ellos, asegurándose que no se excedan las dosis máximas permisibles. Cuando aparezcan anomalías o resulten dosis excesivas, el encargado de Seguridad Radiológica deberá investigar el motivo y tomar las medidas oportunas para asegurar la debida protección del poe.

2.6 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Para reducir al máximo la exposición del personal ocupacionalmente expuesto, Petróleos Mexicanos ha dotado, a estos trabajadores con el siguiente equipo de protección personal:

- a) Lentes de cristal con plomo**
- b) Mandiles de plomo**
- c) Guantes de plomo**

Estos dispositivos que están provistos de una capa de plomo, protegen las partes del cuerpo que son más sensibles a la radiación; tal como: el cristalino de los ojos, las gónodas y las manos.

3 DESARROLLO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD

3.1 FASE CONCEPTUAL

3.1.1 Definición del sistema de seguridad

El departamento de Servicios a Pozos, a través de su sección de Registros Geofísicos; cuyo propósito es tomar los registros radiactivos mediante el uso de fuentes radiactivas, y consciente de los peligros potenciales de irradiación a sus trabajadores, ha decidido establecer un sistema de seguridad tanto para el personal ocupacionalmente expuesto como para el público en general.

El sistema de seguridad se basará en el monitoreo, la detección y alarma de las radiaciones ionizantes que producen las fuentes radiactivas.

3.1.2 Selección del lugar donde se establecerá el sistema

Se ha seleccionado el lugar de almacenamiento de las fuentes radiactivas, por ser el que más riesgos potenciales ofrece al poe; pues es aquí donde se efectúan las mediciones de los niveles de radiación a los contenedores con sus respectivas fuentes, a fin de determinar posibles fracturas de los mismos. También en esta área se realizan las pruebas de fuga a las fuentes para asegurarse que los envases que contienen el material radiactivo están herméticamente sellados.

Las fosas de almacenamiento también representan un blanco para el robo de material radiactivo el cual por ignorancia o intencionalmnte puede ser manejado inadecuadamente.

3.1.3 Componentes del sistema

Para el establecimiento del sistema de seguridad en las fosas de almacenamiento de material radiactivo, se utilizará el equipo con que cuenta la sección de Registros Geofísicos, tales como:

detectores Geiger

alarmas audibles

PC con procesador 386

monitor

impresora

3.1.4 Organización administrativa

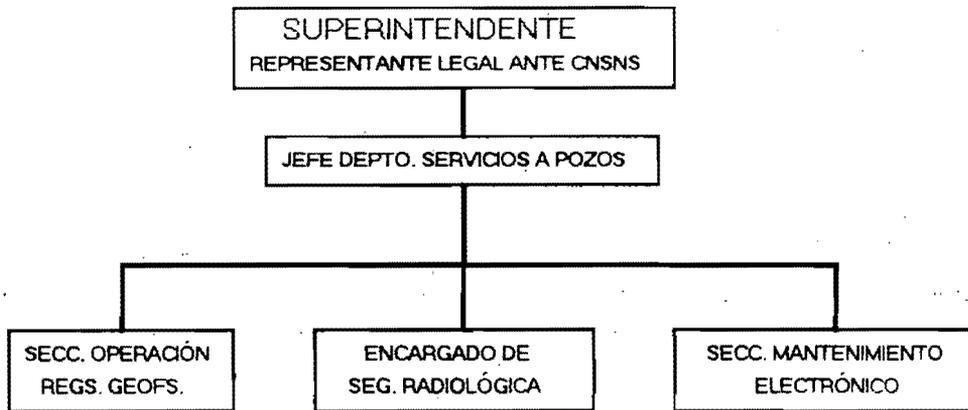
Para alcanzar los objetivos del sistema de seguridad propuesto, es necesario establecer un programa el cual considere las prácticas y normas de seguridad radiológica en el manejo de las fuentes radiactivas.

Cuando la radiación se utiliza sin control ó sin las debidas precauciones puede presentar un riesgo para los usuarios. Debido a lo anterior es primordial contar dentro de la empresa con personal administrativo responsable de la seguridad, para que vigile, controle, asesore e implante los procedimientos adecuados para que el poe permanezca dentro de la limitación de dosis recomendada por la CIPR.

Para cumplir con lo anterior y tener responsabilidad ante la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias es necesario crear el grupo de Seguridad Radiológica. Este grupo deberá cubrir los requisitos establecidos por la CNSNS.

La figura 14 muestra un organigrama donde se incluye los directivos y el personal que tomará decisiones respecto al uso de material radiactivo, así como la ubicación del Encargado de Seguridad Radiológica.

FIGURA 14 Organigrama del grupo de Seguridad Radiológica



Representante Legal.- Tiene como obligaciones solicitar la licencia para posesión y uso de material radiactivo ante la CNSNS, registrar al personal ocupacionalmente expuesto, al Encargado de Seguridad Radiológica y auxiliar. Vigilar que se utilicen las fuentes bajo las condiciones solicitadas, y notificar de inmediato a la CNSNS cualquier robo o extravío de las mismas. Además, tiene que apoyar y vigilar que el Encargado de Seguridad Radiológica cumpla con la elaboración, ejecución y supervisión del programa de seguridad radiológica.

Encargado de Seguridad Radiológica.- Tiene como obligaciones, establecer los procedimientos de seguridad radiológica, así como los procedimientos aplicables a la adquisición, importación, posesión, uso, transferencia, transporte, almacenamiento y desecho ó disposición final de los materiales radiactivos amparados por la licencia otorgada por la CNSNS.

Debe adiestrar y calificar al poe en la aplicación correcta de las normas y procedimientos operativos y determinar, registrar, analizar, y evaluar los equivalentes de dosis recibidos y acumulados para cada trabajador.

Debe llevar un registro de la calibración y pruebas de buen funcionamiento de los equipos detectores y medidores de radiación, corregir las deficiencias y anomalías detectadas en auditorías de seguridad y verificaciones por parte de la CNSNS.

Debe elaborar análisis de riesgos para casos de emergencia, que comprenda tanto los incidentes como los accidentes radiológicos potenciales durante operaciones rutinarias, y aquellos que pudieran ocurrir como consecuencia de un incendio, explosión, inundación, derrumbe u otro siniestro.

En caso de que ocurra un accidente radiológico, el Representante Legal y el Encargado de Seguridad Radiológica actuarán de acuerdo a los planes elaborados para casos de emergencia y avisarán de inmediato a la CNSNS, entregando un informe preliminar en un término de 24 horas, indicando las medidas y procedimientos que se están tomando y posteriormente se enviará el informe final correspondiente.

3.1.5 Análisis preliminar de riesgos.

Durante esta fase se analizarán los riesgos probables que pueden suceder durante el tránsito al pozo, en la operación y en el lugar de almacenamiento de las fuentes radiactivas, con el fin de controlarlos y/o minimizarlos, evitando con ello consecuencias que pueden ser lamentables.

1.- Riesgo en transportación.

Las unidades de registro CSU en las que se transportan las fuentes radiactivas, cuentan siempre con equipo detector de radiación, y con letreros con símbolos radiactivos que indican la presencia de material radiactivo, así como listones diseñados especialmente para delimitar áreas.

Debe hacerse lo siguiente en caso de:

a) Volcadura de la unidad

- i) Atender a los heridos, alejarlos de la zona del accidente y proporcionarles atención médica.
- ii) Delimitar la zona del accidente por medio de los listones y señalamientos, de acuerdo con las mediciones hechas con el detector estableciendo la zona donde existe radiación superior a 2 milirems por hora.
- iii) Evacuar a todas las personas de la zona del accidente, impedir el acceso a personas no autorizadas.
- iv) Avisar de inmediato al Encargado de Seguridad y al Representante Legal. El grupo de seguridad radiológica se organizará con el personal y equipo necesario para el caso.
- v) Nunca abandonar el área de seguridad.

b) Extravío de fuentes en tránsito

- i) Revisar periódicamente que las fuentes se encuentren aseguradas a una parte fija de la unidad.
- ii) Verificar que la tasa de exposición se mantenga al mismo nivel del inicial
- iii) Al terminar de tomar el registro revisar que todas las fuentes son subidas a la unidad para el regreso a la base

Para evitar robo ó extravío de las fuentes se establecerá un control del material radiactivo, creando registros de verificación física durante la transportación.

En la figura 15 se propone un formato para el control de fuentes durante su transportación

FIGURA 15 Control de fuentes radiactivas durante su transportación

PETROLEOS MEXICANOS				
CONTROL DE FUENTES RADIATIVAS DURANTE SU TRANSPORTACIÓN				
NOMBRE DEL POZO _____		UNIDAD CSU _____		
DATOS DEL USUARIO				
RECIBIÓ EN FOSAS DE ALM.	_____			
TRANSPORTÓ AL POZO	_____			
RECIBIÓ EN EL POZO	_____			
TRANSPORTÓ A LA BASE	_____			
DEPOSITÓ EN FOSAS DE ALM.	_____			
DATOS DE LAS FUENTES				
RADIOISÓTOPO	ACTIVIDAD	FUENTE	CONTENEDOR	Nº ECONÓMICO
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
REVISIONES EN TRÁNSITO				
LUGAR		HORA (DÍA)		
_____		_____		
_____		_____		
_____		_____		
_____		_____		
LUGAR Y FECHA				

2.- Riesgos durante la toma del registro

Atrapamiento de la sonda con fuente

Si una sonda con fuente radiactiva es atrapada dentro del pozo, debe de aplicarse el método de pesca adecuado; como es el método de hilar y enhebrar, que consiste en cortar el cable y pasarlo a través de la tubería, tramo por tramo, llevando al frente la herramienta pescante hasta llegar a donde se encuentra atorada la sonda, allí actuará el pescante atrapando a la sonda. Se tomarán todas las medidas precautorias para evitar la ruptura de la cubierta de la fuente radiactiva durante la operación de pesca, pues la fuente no resistirá operaciones de pesca moliendo, perforando o golpeando.

En caso de que no sea posible recuperar la sonda con la fuente, se informará a todas las autoridades interesadas y se tomará la decisión de abandonar la fuente radiactiva, para lo cual se considerará lo siguiente:

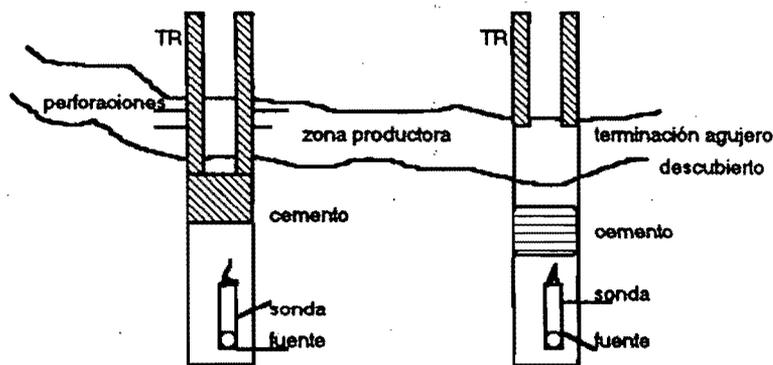
- i) Costo diario del equipo de perforación, comparado con el costo diario de la operación de pesca, y costo de la sonda y fuente.
- ii) El riesgo de atrapamiento de la tubería de perforación al efectuar constantes viajes con el pescante, especialmente si la zona productora está encima de la sonda atorada.
- iii) La disponibilidad del equipo de perforación, programado para una perforación más profunda.
- iv) El costo para limpiar el pozo y dejar en condiciones el agujero para toma de registros adicionales.

a) Abandono de fuente en pozo seco

Si la sonda está atrapada en un pozo donde no se encontró zona productora, se hace el reporte y se pide autorización para abandonar la fuente, suspendiendo la perforación del pozo.

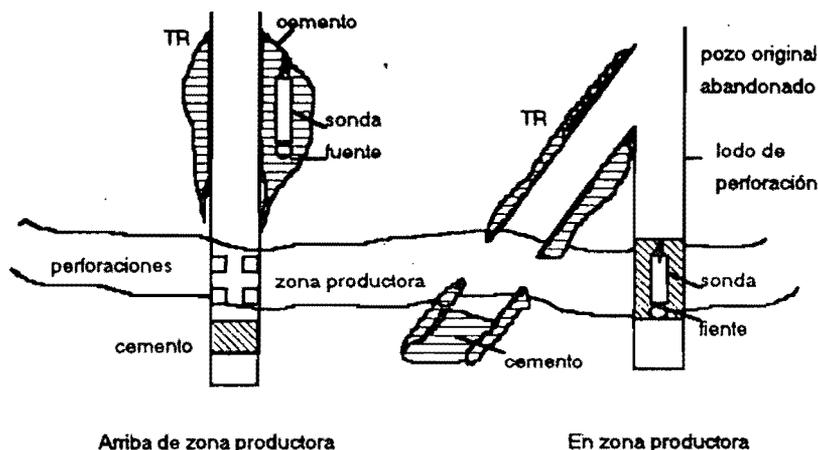
b) abandono de fuente abajo de una zona productora (figura 16). Se cementa la tubería de revestimiento del pozo (TR), la cual aislará la zona donde está la fuente. Si se deja el pozo productor en agujero abierto, es necesario bombear cemento alrededor y arriba de la fuente para evitar que la abrasión, debido al movimiento de fluidos destruya el envase de presión de la fuente.

FIGURA 16 Abandono de fuente abajo de zona productora



c) Abandono de fuente arriba de una zona productora (figura 7). Se cementa la tubería de revestimiento del pozo lo más bajo que se pueda, y se coloca exceso de cemento, si es posible, para aumentar la protección de la fuente a la abrasión. Se debe tener precaución al bajar la tubería de revestimiento más abajo de la fuente, para evitar desplazarla, y tomar un registro de rayos gama para asegurarse que la fuente no está más abajo.

FIGURA 17 Abandono de fuente arriba y en zona productora



e) **Abandono de fuente en zona productora, (figura 17).** Debe desviarse el pozo y cementar la fuente en el pozo abandonado, deben tomarse muchas precauciones al desviar el pozo, para no entrar en el pozo original y dañar el envase o cápsula de la fuente. Es recomendable que haya por lo menos 5 metros entre el pozo viejo y el pozo nuevo, para asegurarse de que no se dañará la fuente durante la perforación.

3.- Riesgos en las fosas de almacenamiento

a) En caso de inundación

Las fosas de almacenamiento están diseñadas para que no se filtren fluidos, sin embargo, como consecuencia de lluvias abundantes, si esto llegase a suceder, se deberá sacar una muestra del agua contenida dentro de las fosas de almacenamiento y efectuar un análisis para detectar posible contaminación. En caso necesario, sacar el agua de las fosas y efectuar una prueba de frotis a las fuentes.

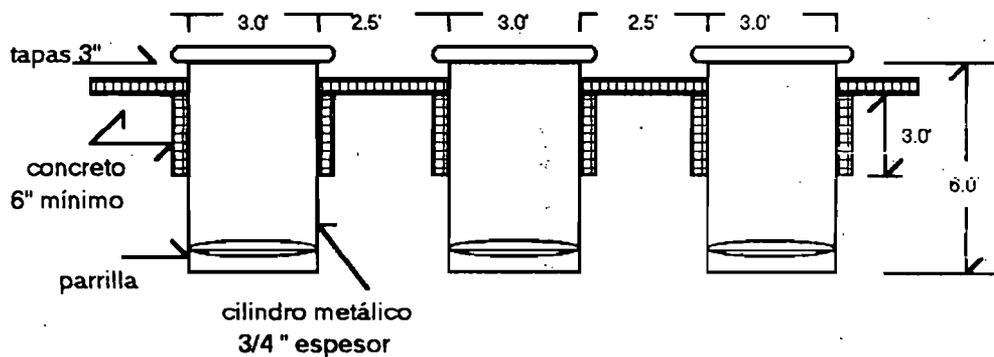
b) En casos de incendio

Al tratar de apagar un incendio en donde existe presencia de vapores de material radiactivo, se deberá combatir el fuego a favor del viento, monitorear el área que se sospeche está contaminada, efectuar una revisión a los contenedores de las fuentes y solo volver al servicio normal estando seguro que no hay contaminación.

La instalación de las fosas de almacenamiento del Departamento de Servicios a Pozos, está dentro de la categoría Clase " A" (Reglamento General de Seguridad Radiológica, CNSNS, 1988, pag. 24) y se muestra en las figuras 19 y 20, siendo sus especificaciones las siguientes:

- 1.- Un mínimo de 2.5 pies (76 cm) de tierra, concreto o relleno entre fosas adyacentes.
- 2.- Las fosas tienen una profundidad mínima de 6 pies (182 cm), sus paredes pueden ser de concreto o cilindros metálicos de 3/4 de pulgada (2 cm) de espesor.
- 3.- Las tapas de concreto deben tener 3 pulgadas de espesor (7.6 cm) o 3/4 de pulgada (2 cm) si son de fierro, y están diseñadas para excluir el agua de la superficie.
- 4.- Las fosas no deben permitir filtración de agua por las paredes.
- 5.- En el fondo de la fosa, colocar una parrilla, para evitar contacto con la superficie.

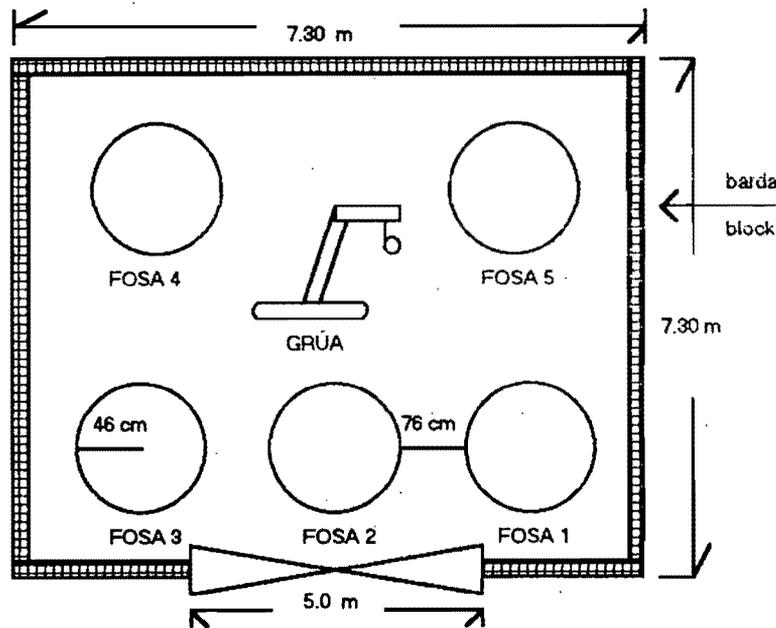
FIGURA 19 Fosas de almacenamiento de fuentes radiactivas



ESPECIFICACIONES

- 1.- Un mínimo de 2.5 pies (76 cm) de tierra o concreto entre fosas adyacentes
- 2.- Fosas con una profundidad de 6 pies (182 cm)
- 3.- Tapas con 3 pulgadas de espesor de concreto y diseñadas herméticamente
- 4.- Las fosas no deben admitir agua a través de filtraciones.

FIGURA 20 Fosas de almacenamiento Clase A (vista planta)



3.2 FASE DE DISEÑO

En esta fase de diseño, se considerarán los componentes del sistema, así como sus características y especificaciones, para asegurar que cumplan sus funciones y reúnan las condiciones de seguridad.

Descripción de los componentes del sistema

3.2.1 Contador Geiger portátil, modelo E-520

El contador Geiger Muller portátil combina la confiabilidad de los detectores Geiger con circuitos electrónicos eficientes. La escala de medición es grande, y proporciona una lectura con exactitud, así como linealidad con un tiempo de respuesta variable. La circuitería especial proporciona una saturación del detector mayor a 1000 Roentgen/hora. La estabilidad de la calibración se debe a la regulación de voltaje y a la compensación de temperatura. Los circuitos de alta eficiencia son alimentados por dos baterías tipo D (1.5 v). Un switch rotatorio combina las funciones del encendido, chequeo de baterías y la selección de uno de los 5 rangos de sensibilidad de la escala. La salida del amplificador puede conectarse a una bocina ó a un contador de pulsos externo.

Para obtener los 5 rangos (0-0.2, 0-2, 0-20, 0-200 y 0-2000 mR/h), se utilizan 2 tubos detectores Geiger Muller diferentes, uno localizado dentro de la caja para detección de un nivel alto de radiación gama, en un rango de 0-2000 mR/h; el otro tubo detector es sensible a un menor nivel de radiación gama y beta, se ubica en la probeta de mano y se usa en los otros cuatro rangos inferiores.

La discriminación entre la radiación gama y beta es hecha por medio de una cubierta rotatoria sobre la probeta, ambas lecturas (con la cubierta cerrada) en mR/h y (con la cubierta abierta) en cuentas por minuto (cpm), se muestran en la escala del medidor.

Las características de diseño incluyen un amplificador de pulso, un circuito integrado disparador monolítico, un medidor con tiempo de respuesta variable, una salida de sonido, una fuente alimentadora de alto voltaje controlado, regulado y retroalimentado, y controles de calibración individual para cada rango. Una simple tarjeta de circuito impreso interconecta a la mayoría de los componentes, disminuyendo el número de juntas con soldadura, la cual amplía la confiabilidad del instrumento. Además es a prueba de humedad y polvo y, aunado con la estabilidad de su temperatura, puede usarse bajo cualquier condición atmosférica.

Las conexiones y controles de operación de este detector son:

- Switch de rangos: Con 7 posiciones; OFF, BATT, X0.01, X0.1, X1, X10, X100.
- Medidor: Robusto, a prueba de agua, 0 - 20 uA
- Control de RESPONSE (tiempo de respuesta del medidor)
- Switch de RESET (descarga el capacitor integrador)
- Conector de PHONE (pulsos de salida para uso con escalador)
- Conector del DETECTOR

Escalas de lectura:

- Hay cinco rangos lineales, los cuales son controlados por el switch : 0.2, 2.0, 200 y 2000 mR/h a escala completa.
- Escala del medidor: 0-20 mR/h con cubierta cerrada, y 0-24 K cpm con cubierta abierta. Los límites de BATT OK están indicados sobre la cara del medidor.
- Linealidad: Los rangos 0-0.2, 0-2, y 0-20 mR/h son +- 8 % de escala completa nominal, el rango 0-200 mR/h es +- 15 % de escala completa nominal, y el rango 0 - 2000 mR/h es +- 10 % de escala completa nominal.
- Tiempo de respuesta: Es variable dependiendo del switch de control, desde 10 seg a 2 seg, medidos a 90 % del valor final.
- Sonido: Hay un pulso por cada evento contado, el pulso negativo es de aproximadamente 2.5 volts en amplitud, el ancho del pulso es determinado por rango seleccionado por el switch rotatorio.
- Nivel de saturación: El medidor permanecerá a escala completa en todos los rangos en un campo de 1000 R/h.
- Coeficiente de voltaje: Las lecturas cambiarán menos del 10 % con baterías cuyo voltaje está entre de 3.0 a 2.0 volts.

Detector externo:

- El HP-270 es la probeta externa recomendada para usarse con el modelo Eberline E-520 .
- Tubo Geiger Muller: Pared delgada con halógeno inmerso.

- **Funda:** Un protector beta deslizable y un cuerpo de plástico que tiene una hoja de metal para compensación de energía.
- **Ambiente:** El rango de temperatura es de -55°C a 75°C y es a prueba de humedad.
- **Sensibilidad:** Aproximadamente 1200 cpm por mR/h para Cs-137
- **Cable:** Aproximadamente 3 pies de longitud.

Detector interno:

- El tubo interno Geiger Muller es más pequeño, también contiene halógeno inmerso, hay una capa de cadmio alrededor del tubo para compensación por bajas energías.
- **Sensibilidad:** Es de aproximadamente 100 cpm por mR/h para Cs-137.

Fuente de poder:

- **Baterías:** utiliza dos pilas tamaño D, debidamente sujetadas.
- **Voltaje requerido:** 1.6 V_{máx.} a 1.0 V_{mín.} por pila.
- **Duración:** La vida de las pilas es variable dependiendo del tipo de pila, edad, temperatura, etc. La vida nominal para pilas nuevas a temperaturas bajo sombra para cada tipo son:

C - Zn.....	300 horas
Alcalinas.....	500 horas
Mercurio.....	700 horas
Ni - Cd.....	200 horas

Especificaciones ambientales:

- **Intemperie:** A prueba de humedad por el uso de aro-sellos herméticos.
- **Temperatura:** El instrumento opera desde -40°C a 60°C con un coeficiente típico de lectura menor que 0.1 % por $^{\circ}\text{C}$.

El tipo de batería usado limita el funcionamiento a baja temperatura por la disminución del voltaje terminal y la impedancia interna aumenta. Para una operación prolongada a baja temperatura se sugiere usar el siguiente criterio.

tipo de batería	usar para
Mercurio	+ 0 $^{\circ}\text{C}$
C - Zn	- 18 $^{\circ}\text{C}$
Alcalina	- 40 $^{\circ}\text{C}$
Ni - Cd	- 40 $^{\circ}\text{C}$

Especificaciones mecánicas:

- **Dimensiones:** Mide aproximadamente 10.2 cm de ancho por 20.3 cm de longitud y 18.7 cm de altura, incluyendo el porta probeta.
- **Peso:** Aproximadamente pesa 2 Kg, incluyendo las baterías y la probeta HP-270.

Especificaciones eléctricas:

Refiriéndose a la figura 21, se observa que la fuente de alimentación de alto voltaje, está constituida por un oscilador, Q1, conectado al primario de un transformador T1 y obtiene su retroalimentación de un devanado menor del primario. El voltaje es elevado por el secundario del transformador T1, rectificado, filtrado y aplicado a un regulador V1, este regulador de referencia, regula el voltaje a +900 V. La corriente a través del regulador es enviada por Q2 el cual la amplifica y usa para controlar la corriente a través de Q3.

La corriente a través de Q3 controla el nivel de voltaje fijo al oscilador Q1, el cual tiende a mantener la corriente a través del regulador V1 a un valor constante, sin considerar el voltaje de la batería. El resultado es que la potencia de las baterías no es consumida, aumentando la vida de las baterías.

La fuente de voltaje entregará +900 V, los cuales son aplicados al tubo Geiger Muller. Cuando la radiación alcanza al tubo Geiger Muller, se generan pulsos negativos. Estos pulsos son acoplados a Q4 y Q5 que forman un amplificador retroalimentado, y que amplifica el pulso negativo del detector. La retroalimentación amplía la estabilidad y el pequeño voltaje aplicado a Q4 protege de un exceso. Q6 es interrumpido cuando su salida es cercana a 0 V. Un pulso positivo aparece a la salida que acciona el circuito de disparo.

La amplitud del pulso del circuito de disparo A1, (multivibrador monoestable) es controlado por la constante de tiempo RC establecida por el switch de escalas y por los controles de calibración, haciendo que la amplitud del pulso se ajuste continuamente.

Cuando el disparador es inicializado por el pulso de Q6, la salida es positiva y se mantiene hasta que el tiempo predeterminado por (RC) termina.

Los pulsos positivos del disparador A1 son enviados al dispositivo de medición Q8 que normalmente está desconectado, así que la corriente fluye a través de M1.

Cuando el disparador A1 acciona, Q8 es conectado y fluye la corriente a través de él. La duración del tiempo que la corriente fluye es determinado por la amplitud del pulso del disparador. Esta corriente forma una cierta carga que es transferida a C10 por cada evento contado. C10 descarga a través de M1 cediendo una cierta corriente promedio que depende de la tasa de pulsos de entrada.

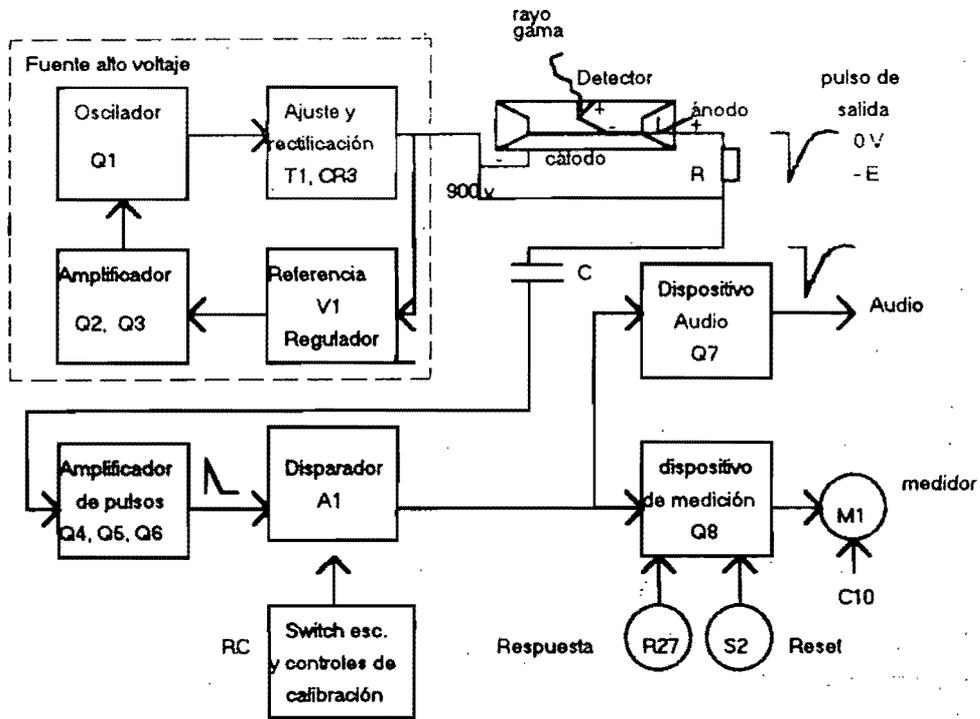
Cambiando la amplitud del pulso del disparador, (cambiando la escala o ajustando el potenciómetro de calibración) cambia la corriente promedio para un pulso de entrada dado; Esto permite al medidor ser calibrado para leer en cpm ó mR/h.

El tiempo de respuesta de M1 es controlado por la constante de tiempo RC y por el control de respuesta de C10 y R27.

Con R27 se ajusta a una resistencia baja y la constante de tiempo es rápida y a una mayor resistencia la constante de tiempo es lenta.

En el dispositivo de audio Q7 amplifica e invierte el pulso de salida del disparador, proporcionando un pulso negativo amplio el cual es acoplado por un capacitor a un conector de audio.

FIGURA 21 Diagrama a bloques del contador Geiger E-520



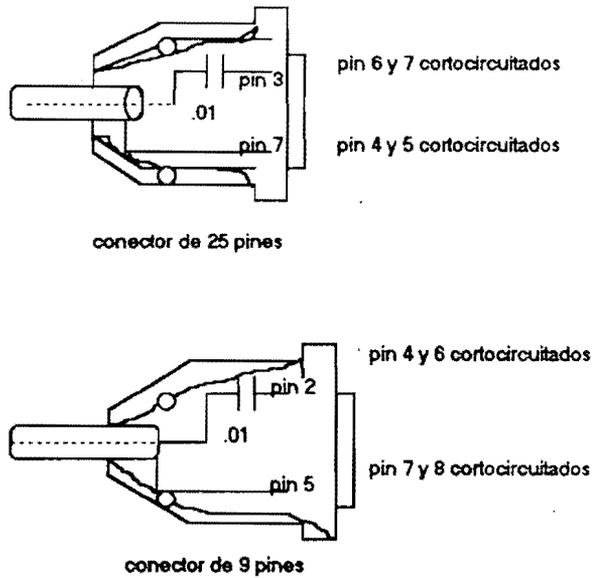
3.2.2 Cable de interfase entre computadora y monitor Geiger

Este cable debe construirse, observando la entrada del conector serie RS-232, ya sea que tenga 25 ó 9 pines, y obtener la correspondiente conexión hembra para este extremo del cable. Para el otro extremo del cable, debe usarse un conector serie coaxial BNC para unir al enchufe de audio del Eberline E-520.

Si tiene un conector de 25 pines, cortocircuite el pin 6 a pin 20 y pin 4 a pin 5. Conecte el pin 3 al alambre central del cable a través de un capacitor de 0.01uF, y conecte el pin 7 a la cubierta del cable (tierra).

Si tiene un conector de 9 pins, conecte el pin 4 a pin 6 y pin 7 a pin 8. Conecte el pin 2 al alambre central del cable a través de un capacitor de 0.01 uF, y conecte el pin 5 a la cubierta del cable. La figura 22 muestra los arreglos.

FIGURA 22 Cable de interfase computadora - detector Geiger



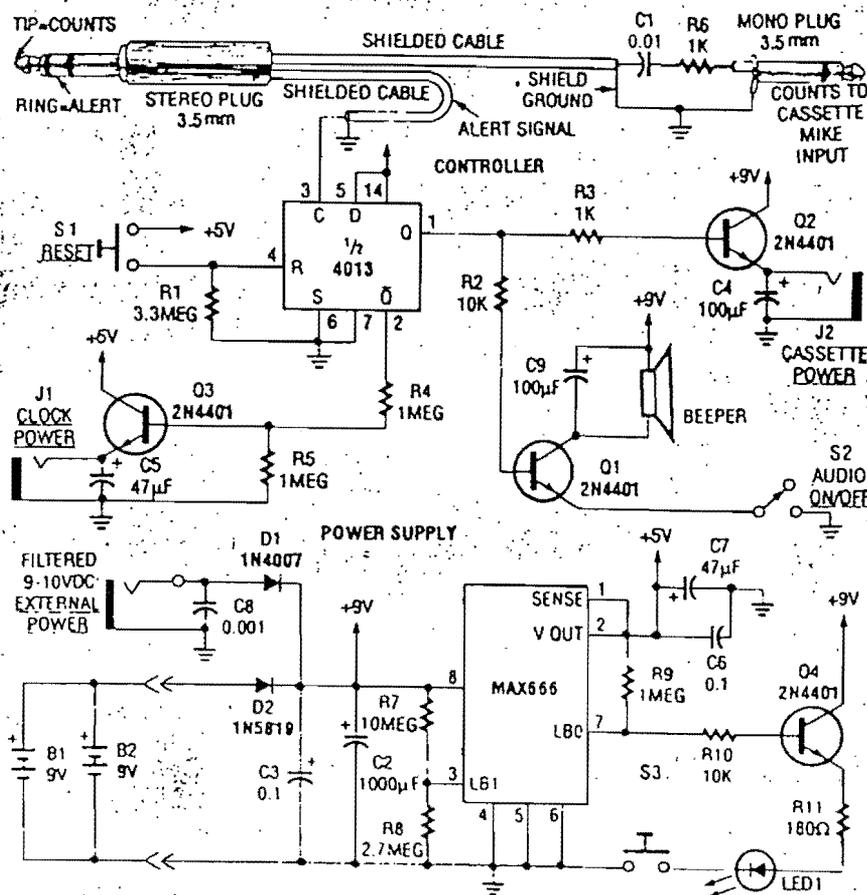
3.2.3 Circuito de control

La figura 23 representa el diagrama del circuito de control y en él puede verse que el cable coaxial BNC es conectado a la salida de audio (PHONE) del Eberline E-520, que es la salida de alerta o alarma. (Use un cable protegido con 2 conductores para conectar el enchufe a la tarjeta del circuito de control). Cuando la salida phone del eberline es alta, es decir cuando el nivel alerta ha sido excedido, el flip-flop IC1 (1/2 de un 4013) es mantenido on, accionando el switch de la bocina Q1, y el switch de encendido de la grabadora. Al mismo tiempo, Q3 es apagado, parando el reloj al cortar la potencia del enchufe del reloj J1. La bocina suena intermitentemente hasta que S1 es depresionado, reseteando el sistema.

El conteo de pulsos del Eberline E-520 son proporcionados a la entrada del micrófono de la grabadora, a través de C1, el cual proporciona aislamiento DC.

Para empezar la operación, ponga el reloj con el tiempo correcto, y ponga la grabadora en modo de grabar con un cassette. Asegúrese de que nadie alterará la disposición del equipo.

FIGURA 23 Circuito de control



3.2.4 Circuito demodulador

El circuito demodulador extrae los datos del cassette. Se utiliza un conector monófono y cable protegido (blindado) para conectar al audífono de la grabadora.

Los pulsos que fueron registrados anteriormente son fácilmente detectados por IC1, un amplificador operacional (1/4 de un LM324) configurado como un comparador.

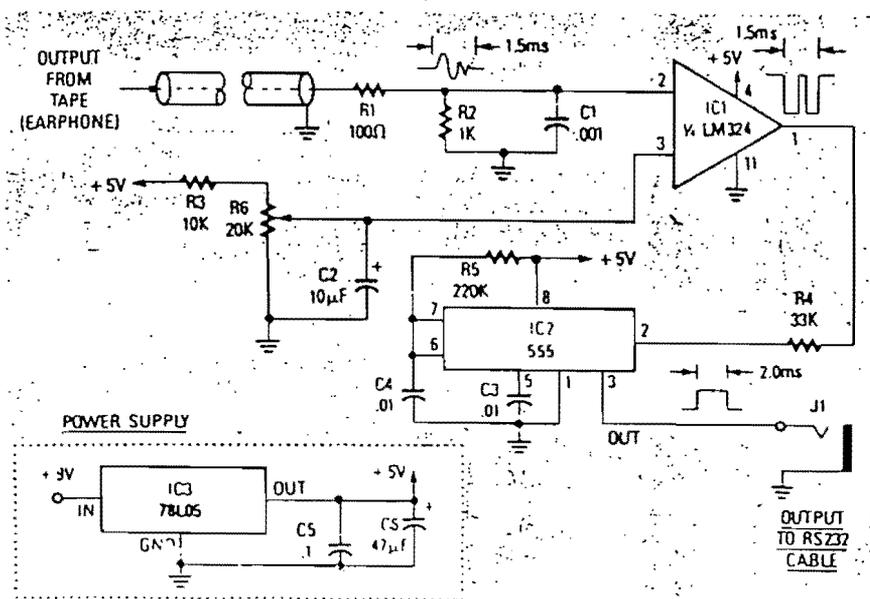
R6 debe ser ajustado tal que la salida de IC1 no dispare en ruido. Recuerde no cambiar el nivel de volumen en la grabadora una vez que R6 ha sido ajustado.

El pulso de salida, el cual puede tener algún sonido no deberá ser mayor de 1.5 ms. Ese pulso es alimentado hacia IC2, un timer 555 configurado como un disparador con un pulso de salida de 2 ms. El ancho del pulso de 2 ms disminuye la resolución a niveles altos de radiación, pero esto es necesario ya que el sonido no es detectado mas que en un solo pulso.

La salida es acoplada al conector de J1, el cual puede ser conectado al extremo del enchufe del cable de interfase RS-232.

Si se conecta el otro extremo del cable al puerto RS-232 en una computadora, teniendo el software o programa apropiado, se puede procesar y graficar los datos.

FIGURA 24 Circuito demodulador



3.2.5 Computadora personal

Especificaciones:

Procesador 386, compatible con IBM

Memoria mínima de 256 K

Memoria Ram 1 MB

Micrograbadora de cassette

Alimentación 9 V DC.

Reloj

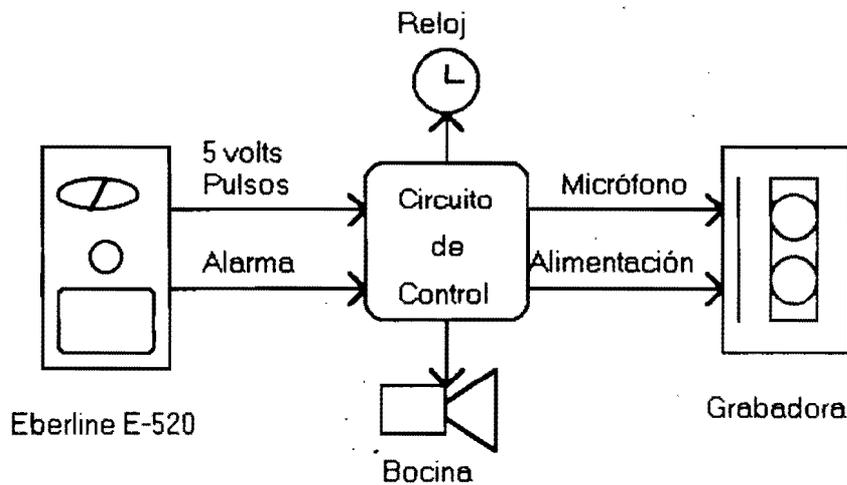
Alimentación 1.5 V batería.

3.3 FASE DE ENSAMBLAJE / OPERACIÓN

En esta fase se hará la configuración del ensamblaje de los componentes del sistema de seguridad y se incluirá el software (ver apéndice) para la operación del mismo. La figura 25 muestra el ensamblaje.

3.3.1 Diagrama a bloques del sistema de seguridad

FIGURA 25 Diagrama a bloques del sistema de seguridad



Secuencia.- Se ajusta la alarma del Eberline E-500 a un cierto nivel de radiación, cuando este valor excede, el circuito de control detiene el reloj, señalando el tiempo que el incidente ocurrió. Al mismo tiempo, el circuito de control enciende la grabadora para registrar el nivel de la radiactividad, y suena la bocina. Cada uno de los eventos de radiación es detectado como un "click" en la cinta del cassette.

La salida del Eberline manda una señal de 5 volts positivos, de aproximadamente 120 useg. de amplitud por cada evento de radiación ionizante en el tubo Geiger Muller. La señal de salida se acopla a la computadora a través del cable de interfase.

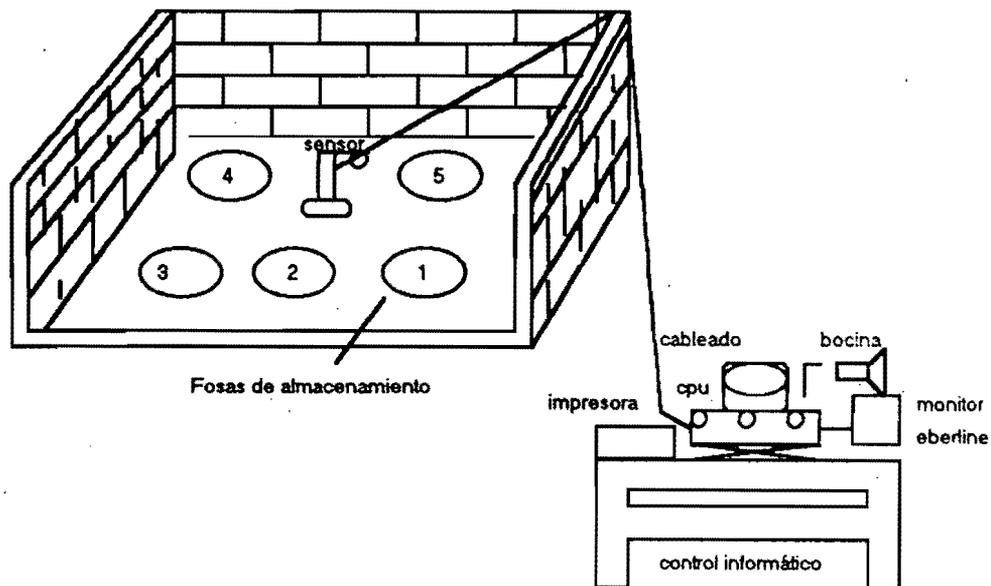
Con el programa operacional y la interfase, se establece la comunicación entre computadora y monitor Eberline. El programa de computadora que se enlista en el apéndice puede almacenar datos del proceso, graficarlos y ejecutar las siguientes funciones:

- 1.- Colección de datos de radiación para usar selectivamente un número de muestras. La computadora puede calcular la desviación standard de los datos. (este modo se denomina "modo survey").
- 2.- Colección y registro de datos de radiación, sonidos y alertar si se pre-ajusta a un nivel de radiación y éste es excedido. (a este modo se le llama "modo monitor").
- 3.- Salva los datos coleccionados (ya sea en modo monitor o survey) a un archivo de disco.
- 4.- Impresión y/o graficación de los datos almacenados en modo monitor en el disco. El programa está escrito en GW BASIC y se puede introducir a través del teclado, las indicaciones del programa se muestran en el apéndice.

3.3.2 Vista global del ensamblaje del sistema

La figura 26 muestra una vista global del ensamblaje del sistema de seguridad

FIGURA 26 Vista global del ensamblaje



4 RESULTADOS ESPERADOS Y RECOMENDACIONES

4.1 Beneficios para el personal ocupacionalmente expuesto

Al establecer un sistema de monitoreo, detección y alarma de radiaciones ionizantes, en el lugar de almacenamiento de las fuentes radiactivas; la más importante expectativa es eliminar, o cuando menos reducir, los riesgos probables de sobreexposición al personal ocupacionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes, porque al sonar la alarma se podrán adoptar las medidas adecuadas.

4.2 Cumplimiento de normas internacionales

Se espera obtener un mejor cumplimiento de las normas internacionales recomendadas por la Comisión Internacional de Protección radiológica, y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, en lo referente a la posesión, transporte y uso de fuentes radiactivas.

4.3 Organización administrativa para control y vigilancia

Al promover el grupo de Seguridad Radiológica cuyas funciones fueron mencionadas con anterioridad se espera asegurar el cumplimiento de los servicios de vigilancia radiológica y de vigilancia de la salud, se determinarán las medidas de prevención con la limitación de dosis, así como la evaluación de la eficacia de las medidas adoptadas.

El programa de vigilancia radiológica tendrá las siguientes actividades:

- a) Vigilancia rutinaria a las operaciones continuas
- b) Vigilancia especial que se aplicará en caso de situaciones de emergencia reales o planeadas

Por lo anterior, deben establecerse y llevarse registros en donde se conserven la información de la vigilancia radiológica.

Esta vigilancia se llevará a cabo en las fosas de almacenamiento (zona de radiación de la instalación) a fin de verificar si el nivel de radiación es satisfactorio para las operaciones que ahí se realizan.

4.4 Ventajas

Las ventajas que proporcionará este sistema son:

- 1.- Se minimiza el tiempo de exposición al personal ocupacionalmente expuesto a la radiación ionizante, debido a la señal preventiva de alarma.
- 2.- Con los programas de seguridad, se limitarán las exposiciones a la radiación, mediante la aplicación de un sistema de limitación de dosis que comprenderá la justificación de las prácticas, optimización de la protección radiológica y fijación de límites anuales de dosis equivalentes.

- 3.- El programa de protección radiológica incluye supervisión y vigilancia de los trabajadores ocupacionalmente expuestos, durante el transporte al pozo y en el pozo mismo, así como en el lugar de almacenamiento, estudio ergonómico del manejo de las fuentes radiactivas, valoración de los métodos de trabajo desde el punto de vista de salud, seguridad y asesoramiento en los procedimientos.
- 4.- Con los esfuerzos del Grupo de Seguridad radiológica, se podrá garantizar:
 - a) La aplicación de los principios de la protección radiológica, instrucciones y prácticas correctas en el nivel deseado.
 - b) Motivación y estimulación a los trabajadores para que promuevan mejoras en sus métodos de trabajo.
 - c) Atención especial a las observaciones de los trabajadores sobre las consecuencias que las condiciones de trabajo ejercen en su salud y bienestar.
- 5.- El proceso de la optimización de la protección radiológica, se inició desde las etapas de planificación, diseño y construcción de las fosas de almacenamiento; Los parámetros comprendidos fueron; espesores de los blindajes, la separación entre fosas adyacentes y nivel máximo de radiación sobre las tapas de las fosas.
- 6.- Se apoyará el programa de garantía de calidad que es soporte al programa de protección radiológica, y consiste en asegurar que todo el equipo radiológico (medidores, detectores, monitores y alarmas) funcione correctamente, los procedimientos de calibración se efectúen a intervalos apropiados según el tipo de radiación para el que se utilicen y un mantenimiento adecuado.
- 7.- Finalmente, puede concluirse que la propuesta que se presenta, permite cumplir con los propósitos de evitar irradiación al personal ocupacionalmente expuesto a la radiación ionizante y al público en general. además con la participación del Grupo de Seguridad Radiológica, se establecerán los registros de control de información de equivalente de dosis y de exámenes médicos del personal, del control de las fuentes radiactivas y de equipo radiológico.
- 8.- Con el formato de control de las fuentes radiactivas y la vigilancia las 24 horas, se asegura que no habrá peligro de robo ó extravío de las mismas, de tal forma que pudiera causar daño al público en general, y se mejoran las relaciones con la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, dando cumplimiento a las recomendaciones que ésta hace a los usuarios, para llevar a feliz término la protección radiológica a los trabajadores.

4.5 Recomendaciones

Se recomienda revisar cuidadosamente y cumplir con:

- a) Los programas de protección radiológica en actividades planeadas, y en situaciones de emergencia impuestas por Pemex.
- b) Los programas de vigilancia y seguridad en las actividades rutinarias.
- c) Los programas de garantía de calidad, como son el correcto funcionamiento y calibración del equipo radiológico.
- d) Aplicar el concepto ALARA, (As Low As Reasonably attainable) basado en los tres principios: **justificación, optimización y limitación de dosis.**

BIBLIOGRAFÍA

BRANDAN M., DIAZ R., OSTROSKY P. (1990)

"LA RADIACIÓN AL SERVICIO DE LA VIDA"

Fondo de Cultura económica. México. pp. 21-99

CNSNS, 1988

COMISIÓN NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR (1988)

"REGLAMENTO GENERAL DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. México. pp 66

OIT, 1992

OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO (1992)

"PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES CONTRA LAS RADIACIONES"

Alfaomega, México. pp. 78

PEMEX, 1989

PETROLEOS MEXICANOS (1989)

"MANUAL DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA PARA PERSONAL DE REGISTROS GEOFÍSICOS"

Subgerencia de Perforación y Mantenimiento de Pozos. México. pp 130

PEMEX, 1969

PETROLEOS MEXICANOS (1969)

"RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO DE MATERIALES Y EQUIPOS QUE EMITEN RADIACIONES"

Boletín de Seguridad Industrial N° 36. México. pp. 47

RICKARDS JORGE (1986)

"LAS RADIACIONES: RETO Y REALIDADES"

Fondo de Cultura Económica, México. pp. 176

SCHLUMBERGER SERVICE OFFSHORE (1988)

"LOGGING SERVICE MANUAL"

Documentos de operación, Houston, Tx. pp. 160

SCHLUMBERGER ENGINEER TRAINING MANUAL(1987)

"BASIC RADIOACTIVITY THEORY"

Documentos de operación, Houston, TX. PP.85

APENDICE

Indicaciones sobre el programa operativo

Al tipear el programa, en la línea 90 dice: Para iniciar el programa tipee BASIC RLGW.BAS/C:20000, que es correcto para muchas computadoras, pero puede ser necesario una modificación dependiendo de la versión del BASIC, (por ejemplo, GWBASIC RLGW:BAS/C:20000).

En la línea 60 pregunta a que puerto serie el Eberline es conectado; si no se recuerda tipear "1". Si se selecciona el puerto erróneo, los cuentos no serán transferidos del Eberline a la computadora cuando se corra el programa. En este caso arranque el programa otra vez y tipee "2" para el puerto serie usado.

En la línea 200 pregunta por el punto de línea a usarse para graficar en el modo monitor. La mayoría de las impresoras permiten ajustarse a un espacio de línea programable, por ejemplo punto 216 renglones por columna. La línea standard es de 6 pulgadas/línea.

El nivel de radiación es graficado una vez cada minuto. Debe ajustarse el espacio de línea tal que conserve papel hasta que muestre minuto por minuto la variación.

Utilizando un punto de línea 2 permitirá graficar alrededor de 20 horas de datos en una hoja de papel de 11 pulgadas, dependiendo si la impresora tiene el parámetro programable de línea sencilla.

Si el nivel de radiación se ajusta al inicio del programa, y este es excedido, un asterisco (*) se imprimirá sobre la gráfica para mostrar donde ocurrió.

El programa completo, para una mayor referencia se transcribe a continuación.

Programa operacional

```
ss10 REM RLGW.BAS by Harold (Bud) Cole
20 'RADALERT Interface: 25 pin:
30 'Short pins 6 to 20 and 4 to 5
40 'pin 3 through 0.01ufd cap. to Tip of output jack on EBERLINE
50 'pin 7 (ground) to sleeve of output jack on EBERLINE
60 '9 pin:
70 'Jumper 4 and 6 together and 7 to 8
80 'pin 2 through 0.01ufd cap to Tip and pin 8 to sleeve
90 'Start Program as follows: [ BASIC RLGW.BAS/C:20000 ]
100 'this allows up to 20000 counts during any sampling period
110 CLEAR, , 45000! ' experiment with this value for best results with
115 'the basic you are using.
120 DIM READINGS(51)
130 TIMER OFF
140 CLS
```

```

150 'Most computers use port 1 (COM1)
160 IF TS = " " THEN INPUT "Enter Serial Port Used: ", TS
170 IF PS = " " THEN INPUT "Do you want to print/plot results? Y/N", PS
180 IF PS = "y" OR PS = "Y" THEN PS = "ON"
190 IF PS = "ON" THEN LPRINT CHR$(27) + "@"
200 IF PS = "ON" THEN INPUT "Enter dot row feed for plotting =", D
210 'Construct serial port file Name
220 CS = "COM" + TS + ":9600,E,7,1"
230 CLOSE 1: OPEN CS FOR OUTPUT AS 1
240 CLS : LOCATE 10, 20: PRINT "Select Funtion:"
250 LOCATE 11, 20: PRINT " (1) Radiation Survey"
260 LOCATE 12, 20: PRINT " (2) Monitor Radiation Level/min with Alarm"
270 KS = INKEYS
280 IF KS = "1" THEN GO TO 330
290 IF KS = "2" THEN CLS : GOTO 710
300 IF KS = CHR$(27) THEN CLOSE 1: CLS : END
310 GOTO 270
320 '***** SURVEY *****
330 CLS
340 'Input "No of samples to take for survey & sampling period
370 INPUT "Enter samples to take(50 max.) =", S
380 IF S = 0 THEN S = 30
390 IF S > 50 THEN S = 50
400 CLS
410 LOCATE 1, 60: PRINT "Running count ="
420 LOCATE 4, 60: PRINT "Interval =" + STR$(I) + " sec/s"
430 R = 0
440 LOCATE 5, 60: PRINT "# Rdgs to take "; S:
450 LOCATE 23, 60: PRINT "Start:";
460 LOCATE 24, 60: PRINT TIMES + " " + DATES
470 IF PS = "ON" THEN LPRINT "Interval =" + STR$(I) + " sec/s"
480 IF PS = "ON" THEN LPRINT "# Rdgs to take"; S
490 IF PS = "ON" THEN LPRINT "Start:"; TIMES + " " + DATES
500 'Set TIMER to I (Sampling period)
510 TIMER ON: R = R + 1
520 ON TIMER(60) GOSUB 620
530 LOCATE 6, 60: PRINT "to go ="; S + 1 - R;
540 'Empty serial buffer to clear out and reopen LOC(1)=0
550 CLOSE 1: OPEN C$ FOR OUTPUT AS 1
560 'Start a Time loop = to Sampling Period
570 KS = INKEYS
580 LOCATE 25, 60: PRINT TIMES;
590 LOCATE 1, 74: PRINT LOC(1);
600 IF KS = CHR$(27) THEN LOCATE 2, 60: PRINT "Total Count ="; LOC(1):
    TIMER OFF: GOTO 130

```

```

610 GOTO 570
620 TIMER OFF
630 'Save readings in an array set to S
640 READING (R) = LOC(1)
650 IF R = S THEN GOTO 1290
660 IF R > 25 THEN W = R - 25: COL = 26 ELSE W = R: COL = 1
670 LOCATE W, COL: PRINT "Rdg at "; TIMES, " = ", READINGS(R),
680 IF PS = "ON" THEN LPRINT "Rdg at ";TIMES, " = " ; READINGS(R)
690 GOTO 510
700 *****M O N I T O R*****
710 'See EBERLINE Instructions
720 IF a = 0 THEN INPUT "Enter Alarm Level:", a
730 LOCATE 24, 40: PRINT "Start:" + "=" + DATES;
740 LOCATE 12, 25: PRINT "Minutes before Hourly CPM update = 60";
750 M = 0: H = 0
760 IF PS = "ON" THEN GOSUB 1190
770 'Set TIMER to 60 seconds for a one minute count period
780 TIMER ON: ON TIMER(60) GOSUB 960
790 LOCATE 8, 25: PRINT "Monitoring Nuclear Radiation Level "
800 LOCATE 9, 25: PRINT "Monitoring Alarm Level/Min=", a
810 M = M + 1
820 'Empty com Buffer
830 CLOSE 1: OPEN CS FOR OUTPUT AS 1
840 'Start a new or initial interval = to 1 minute
850 KS = INKEYS
860 IF MIDS(TIMES, 4, 2) = "01" THEN P = 0
870 IF PS = "ON" AND MIDS(TIMES 4, 2) = "00" AND P = 0 THEN GOSUB
    1140
880 IF KS = CHR$(27) THEN TIMER OFF: CLOSE 1: GOTO 1100
890 LOCATE 25, 46: PRINT TIMES;
900 LOCATE 10, 25: PRINT "Current Level this minute="; LOC(1);
910 IF LOC(1) = a THEN LOCATE 4, 25: PRINT " RADIATION A L E R T ";
920 IF LOC(1) = a THEN SOUND 3000, 10: SOUND 2000, 5
930 IF LOC(1) = a THEN LOCATE 4, 25: PRINT SPACES(32);
940 'Loop for one minute
950 GOTO 850
960 TIMER OFF
970 LOCATE 25, 55: PRINT DATES;
980 MINCOUNT = MINCOUNT + 1 'acumulate LOC(1) FOR 60 MINUTES
990 C = LOC(1)
1000 GOSUB 1370 'Go check # minutes left to hourly CPM update
1010 IF M = 60 THEN CPM = (INT(H/60) * 100) / 100 ELSE : GOTO 1050
1020 M = 0: H = 0
1030 LOCATE 13, 25: PRINT "Last Hour average/ minute="; CPM;

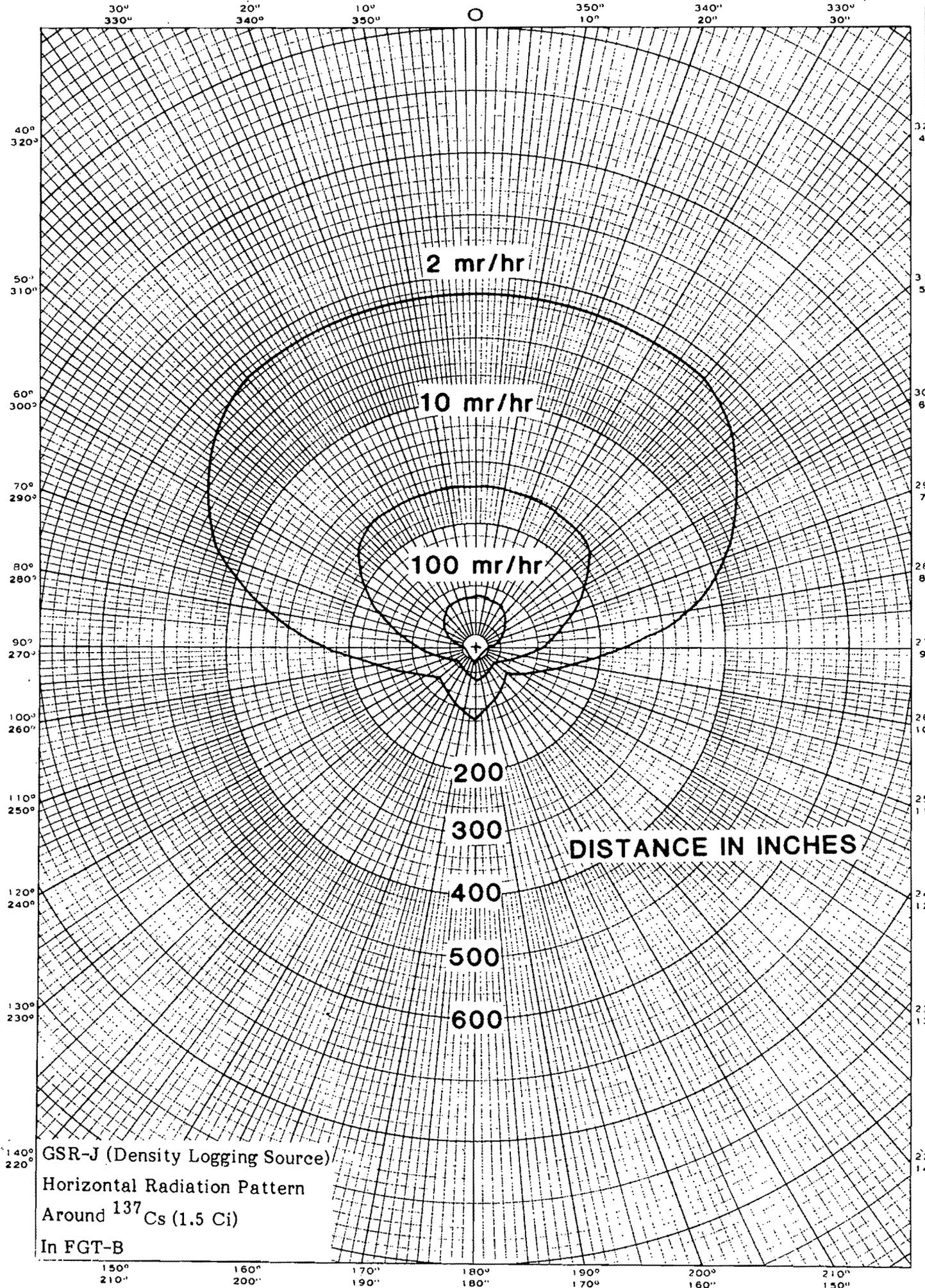
```

```

1040 IF PS = "ON" THEN LPRINT CHR$(27) + "3" + CHR$(0); TAB(90);
      "CPM="; CPM: LPRINT CHR$(27) + "3" + CHR$(D);
1050 LOCATE 10, 25: PRINT SPACES(45);
1060 LOCATE 11, 25: PRINT SPACES(45);
1070 IF PS = "ON" THEN LPRINT STRING$(C + 1, "-")
1075 IF C a AND PS = "ON" THEN LPRINT "*"
1080 LOCATE 11, 25: PRINT "Previous minute count="; C;
1090 GOTO 770 'Start another 1 minute loop
1100 a = 0: BEEP
1110 LOCATE 20, 30: PRINT "(Hit C to (C)ontinue)";
1120 KS = INKEYS
1130 IF KS = "C" OR KS = "c" THEN GOTO 130 ELSE GOTO 1120 wait for a C
1140 LPRINT CHR$(27) + "3" + CHR$(0); 'Zero LineFeed
1150 LPRINT "+ + + + + + + + + + " +
      TIMES + "/" + DATES
1160 P = 1
1170 LPRINT CHR$(27) + "3" + CHR$(D); 'set line feed to nn/218 (varies
      w/printers)
1180 RETURN
1190 WIDTH LPRINT 150
1200 LPRINT "Start:." + TIMES + " " + DATES
1210 LPRINT "Monitoring Nuclear Radiation Level"
1220 LPRINT "Monitoring Alarm Level/Min"; a
1230 LPRINT CHR$(15) 'sets for compressed print
1240 LPRINT "0 10 20 30 40 50 60 70
      80"
1250 LPRINT "+ + + + + + + + + +
      +"
1260 LPRINT CHR$(27) + "3" + CHR$(0);
1270 RECORDNO = 1: LPRINT CHR$(27) + CHR$(D) 'sets #dot row feed
1280 RETURN
1290 IF PS = "ON" THEN LPRINT "Survey DONE": lprint times + " " + DATES
1300 LOCATE 15, 60: PRINT "Survey Done"
1310 LOCATE 16, 60: PRINT TIMES + " " + DATES
1320 LOCATE 17, 60: PRINT "(Hit C to (C)ontinue)";
1330 BEEP
1340 KS = INKEYS
1350 IF KS = "C" OR KS = "c" THEN GOTO 130
1360 GOTO 1340
1370 IF M 61 THEN H = H + C
1380 B = 60 - M
1390 IF B = 0 THEN B = 60
1400 LOCATE 12, 25: PRINT "Minutes left before Hourly CPM update"; B;
1410 RETURN

```





GSR-J (Density Logging Source)
 Horizontal Radiation Pattern
 Around ^{137}Cs (1.5 Ci)
 In FGT-B

