



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

CAMPUS ARAGON

**“DESARROLLO DE UN NODO DE ADQUISICION
DE DATOS PARA LA RED DE MONITOREO
RADIOLOGICO AMBIENTAL”**

T E S I S

281945

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

presenta:

ROBERTO BENITEZ SANCHEZ

San Juan de Aragón, Julio 2000.





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por ayudarme e iluminarme en todo momento a cumplir las metas que me he planteado.

A mis padres:

Por el apoyo que me han brindado durante toda mi vida. Especialmente a ti madre que has hecho de mi un hombre honesto y trabajador. LOS AMO.

A Yazmín y Juan Manuel:

Porque a pesar de estar lejos somos unidos, les agradezco el apoyo incondicional que me han brindado.

A Cristina y Luisa Fernanda:

Mis dos grandes amores, gracias a su entusiasmo por la vida ahora termino este trabajo, esta es la primera de las metas que les ofrezco, sé que no las decepcionare. LAS AMO.

A la familia Sánchez:

A mis abuelitos y mis tíos por que en su momento me han apoyado.

A la familia Benítez:

A mis tíos y tías que me han aconsejado sabiamente. LOS QUIERO.

A mis primos:

Espero que este trabajo le sirva de motivación para realizar sus metas. SIGAN LUCHANDO.

Al Ing. Benito Zúñiga:

Por sus enseñanzas, experiencias y apoyo para la realización de este trabajo y mi formación como profesionista.

A Carlos y Edgar:

Por que aunque los caminos lleven diferentes rumbos siempre seremos amigos. GRACIAS.

A la memoria:

De Sabás Benítez, Rosa Ma. Hernández, Rubén Benítez y Rodolfo Sánchez, les dará gusto saber que soy ingeniero. NUNCA LOS OLVIDARE

RECONOCIMIENTOS

Este es un reconocimiento especial al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis dentro de sus instalaciones; así mismo les doy las gracias por su apoyo a todas las personas que intervienen en el programa de becarios.

Agradezco a todo el Departamento de Protección Radiológica, por ofrecerme sus conocimientos al cien por cien. A **Pépe, Gustavo, Jorge, Marco, Luis, Mary** por todas sus atenciones, amistad y consejos que mucho me han servido.

A **Jorge Vizuet González**; por darme la oportunidad de dirigir mi tesis, por mostrarme un lado diferente de la Ingeniería, por darme todos sus conocimientos acerca de la computación y por su amistad. Gracias.

A **José Luis Reyes**; por enseñarme a ser analítico con mi trabajo, a ver la vida de un modo diferente y ante todo la responsabilidad que representa el trabajo de una persona universitaria. Por tu amistad y consejos Gracias.

Al Departamento de electrónica, en especial al Ing. **Mario Romero Garcilazo**, por la ayuda que me ofreció para poder programar en LabVIEW.. Gracias.

Y a todas aquellas personas que participaron en el desarrollo de éste trabajo de tesis.

DESARROLLO DE UN NODO DE ADQUISICION DE DATOS PARA LA RED DE MONITOREO RADIOLOGICO AMBIENTAL

INDICE

	Página
Introducción	
Capítulo I Las Radiaciones Ionizantes	1
Radiactividad	2
Interacción de la radiación con la materia	3
Medición de las radiaciones ionizantes	6
Detectores Geiger-Muller	9
Tiempo muerto de un detector Geiger-Muller	10
Sistemas de medición de la radiactividad	12
Capítulo II Protección Radiológica	13
Objetivo primario de la protección radiológica	14
Principios generales de protección radiológica	15
a) Justificación	15
b) Optimización	16
c) Limitación de dosis	16
Principios básicos de protección radiológica	18
Capítulo III Sistema de Monitoreo de Radiaciones RMS-II	20
Los detectores DA1-X	21
Los canales electrónicos EC1-X	23
Calibración de los canales electrónicos EC1-X	24
1.- Ajuste electrónico	25
2.- Calibración radiológica	26
Capítulo IV Circuito de Adquisición de Datos y Programación	34
Teoría de funcionamiento	35
Circuitaría interface del canal PC I/O	36
Circuito de adquisición de datos y entrada analógica	37
Circuito de la entrada analógica	38
Adquisición de datos por canal individual	39
Adquisición por canal múltiple (búsqueda)	39
Valores de adquisición de datos	40
Configuración de la tarjeta	40
Software	41
La instrumentación virtual	42
LabView	43

Programación básica de la tarjeta PC-LPM-16	45	
Programación en LabView	46	
Diseño del software	48	
Presentación de resultados	54	
Conclusiones	58	
Glosario	59	
Anexos	64	
Anexo I	Señalamientos de radiación ionizante	64
Anexo II	Puntos de interconexión del RMS-II	65
Anexo II	Especificaciones del detector DA1-X	66
Anexo IV	Especificaciones del canal electrónico EC1-X	67
Anexo V	Certificado de calibración de los detectores	68
Anexo VI	Panel frontal de conexión del VI	69
Bibliografía	70	

INTRODUCCION

El uso de material radiactivo, implica un beneficio, pero también un riesgo radiológico al personal que lo maneja, al público y al medio ambiente. Es por ello, la importancia de contar con un sistema que registre la información (niveles de radiación) en áreas de trabajo, para que en su momento se tomen las medidas correctivas pertinentes.

El presente trabajo de tesis, consiste en el desarrollo de un sistema de adquisición de datos, relativos a los niveles de radiación de cada uno de los laboratorios o instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Haciendo una interconexión entre el sistema de monitoreo radiológico existente (RMS-II), con una computadora personal mediante el uso y programación de una tarjeta de adquisición de datos (PC-LPM-16).

Este sistema trabaja en tiempo real, presentando en pantalla la medición de cada uno de los detectores conectados, las señales de alarma que se tengan cuando se sobrepasan los niveles permitidos y el registro de éstos niveles de alarma; para su posterior procesamiento en gráficas de rapidez de exposición contra el tiempo.

Las principales características que se deben cubrir son las siguientes:

- Vigilancia de área de los niveles de radiación gamma en forma automática utilizando para ello un equipo de detección tipo Geiger, una tarjeta de adquisición de datos y una computadora personal.
- Se debe anunciar al personal correspondiente en caso de rebasar algún límite superior prefijado en forma visual y auditiva.
- Se deben crear archivos de datos diarios los cuales deben contener los niveles de radiación de cada detector por minuto.
- Se debe generar un archivo de contingencias el cual contendrá el registro de los casos cuando se sobrepasen los diferentes niveles de alarma.

Por facilidad en cuanto a la obtención de los niveles de voltaje proporcionales a las dosis, el desarrollo de éste trabajo ha sido enfocado al sistema Eberline modelo RMS-II, sin embargo, cualquier sistema de detección puede ser incluido realizando pocos cambios a los subprogramas correspondientes a la adquisición de datos y a la programación de la tarjeta convertidora que se este utilizando, lo que permite al sistema ser flexible.

Esta primera fase cubre todo lo relacionado a la instalación y funcionamiento del sistema de vigilancia correspondiente a un nodo; y se pretende posteriormente, con la conexión de más nodos de este tipo, tener una configuración en red.

El trabajo desarrollado se dividió en cuatro partes:

- En el Capítulo I se da una breve historia de la naturaleza de las radiaciones ionizantes, su interacción con la materia y las formas en que fueron descubiertas. Así también de como es posible detectarlas y medirlas.
- En el Capítulo II se hace mención de la Protección Radiológica y de las normas en que se basa.
- El Capítulo III describe el sistema de monitoreo de radiación RMS-II (el cual es utilizado para detectar y medir radiaciones ionizantes), su calibración y obtención de curvas de funcionamiento.
- El Capítulo IV describe el funcionamiento del circuito de adquisición de datos, la programación basada en instrumentación virtual y su importancia.
- Por ultimo, se dan las conclusiones obtenidas del presente trabajo.

La realización del presente trabajo de tesis profesional, se desarrolló en la Gerencia de Seguridad Radiológica del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, bajo la Asesoría del F. Jorge Vizuet González y del M. C. Gustavo Molina.

CAPITULO I

LAS RADIACIONES IONIZANTES

Las radiaciones ionizantes son principalmente de cuatro tipos: rayos X, rayos gamma, rayos alfa y rayos beta. Los rayos X y los rayos gamma son ondas electromagnéticas como la luz, las ondas de radio, microondas y ultravioleta, pero de longitud de onda muy corta. Los rayos alfa y rayos beta son radiaciones de partículas: éstos es, los "rayos" están compuestos de partículas alfa y partículas beta. Todas éstas radiaciones son emitidas de la materia como resultado de procesos naturales. Los rayos gamma, alfa y beta son producidos como resultado de transformaciones nucleares asociadas con el decaimiento radiactivo. Los rayos X son producidos de transformaciones en la estructura electrónica del átomo.

El descubrimiento de la radiactividad y de los elementos radiactivos naturales en los últimos años del siglo pasado marcó el inicio de una serie de descubrimientos importantes que cambiaron completamente la idea que se tenía sobre la estructura de la materia. Se tuvo que abandonar la noción que en el siglo XIX se tenía del átomo como un objeto simple, compacto e indivisible en favor del concepto de una estructura más compleja.

En 1896 el físico Henri Becquerel descubrió la radiación emitida por los minerales de uranio. Los estudios que realizaron en ese año Pierre y Marie Curie sobre los minerales de uranio y torio condujeron al descubrimiento de dos elementos: el polonio y el radio; estos elementos despertaron un gran interés por una de sus principales características: emitir radiaciones muy penetrantes, a semejanza del uranio y el torio. A esta propiedad del radio y otros elementos inestables de emitir energía en forma de radiación al desintegrarse, Marie Curie la llamo **Radiactividad**.

La radiactividad es un fenómeno que manifiestan los núcleos inestables; por medio de ella esos átomos tienden a la estabilidad. En 1911, utilizando como herramienta una fuente de polonio emisora de radiación, Rutherford realizó experimentos que lo llevaron a proponer el modelo nuclear del átomo, modelo que sentó las bases del conocimiento que se ha desarrollado actualmente sobre la estructura de la materia.

Ernest Rutherford y su colaborador químico Frederick Soddy propusieron una teoría que describía el fenómeno de la radiactividad. A este proceso se le conoce ahora como decaimiento radiactivo. En 1902, explicaron la naturaleza de la radiactividad y encontraron que el átomo ya no podría considerarse como una partícula indivisible; estudiaron los productos del decaimiento de un material radiactivo separado químicamente del resto de los elementos de donde provenía, y descubrieron que los materiales radiactivos, al emitir radiación, se transforman en otros materiales, ya sea del mismo elemento o de otro. La radiación emitida por el uranio y otros elementos radiactivos resulta ser compleja; la radiación ionizante esta constituida por tres componentes, a los cuales les da los nombres de alfa (α) beta (β) y gamma (γ) respectivamente, tomados de las tres primeras letras del alfabeto griego. Cuando se hace pasar un haz de radiación a través de un campo electromagnético, se encuentra que los rayos alfa se desvían hacia el polo negativo del campo, en tanto que los rayos beta se desvían hacia el polo positivo y finalmente los rayos gamma no se desvían ante la presencia del campo, ver figura 1.1.

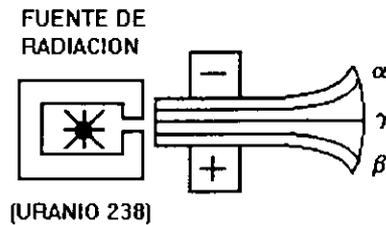


Fig. 1.1 Desviación de las radiaciones

Rutherford fue el primero en detectar los rayos alfa, y concluyó que éstos están cargados positivamente, además identificó que los rayos alfa son átomos de helio doblemente ionizados.

Becquerel demostró que los rayos beta consisten en electrones cargados negativamente, ya que se desvían en el mismo sentido y en la misma proporción que éstos.

Finalmente Rutherford y Audiade, descubrieron que los rayos gamma son en realidad radiaciones electromagnéticas parecidas a los rayos X y a la luz visible, pero de diferente energía.

Interacción de la radiación con la materia

Cada una de las radiaciones nucleares alfa, beta y gamma se caracterizan por su diferente poder de penetración en la materia. Ya que cada tipo de radiación tiene propiedades particulares de interaccionar con la materia, por ejemplo, las partículas alfa son frenadas por una hoja de papel, que no les permite continuar su trayectoria, mientras que esta misma hoja sí permite pasar a las partículas beta y a la radiación gamma; una hoja delgada de aluminio aprox. de 1mm de espesor solo deja pasar una pequeña fracción de la radiación beta y casi la totalidad de la radiación gamma, una placa de plomo intercepta la radiación gamma, dejando pasar solamente una fracción de ella (fig. 1.2).

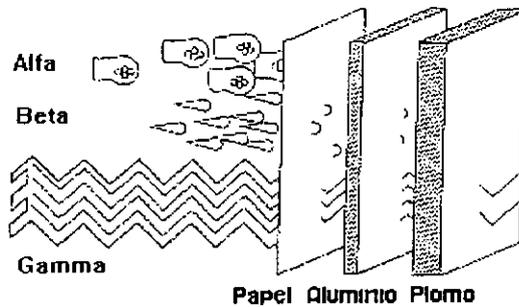


Figura 1.2 Penetración de las radiaciones alfa, beta, gamma.

La poca penetración que tienen en la materia las radiaciones alfa y beta se debe principalmente a que son partículas cargadas eléctricamente y a que interactúan con los electrones orbitales de los átomos, a través de fuerzas coulumbianas. Existen dos tipos de interacción de las partículas cargadas con la materia: la ionización y la excitación. La **ionización** es el fenómeno en el que las partículas alfa y beta al recorrer el material le ceden parte de su energía arrancándole electrones de sus átomos y dejándolos cargados positivamente; a estas especies se les llama iones (fig. 1.3). En este proceso también se liberan electrones, que tienen cargas negativas. La **excitación** consiste en que cuando las partículas cargadas alfa o beta, atraviesan el material dejan a los electrones periféricos de sus átomos con mayor energía que la que tenían antes (fig. 1.4). El átomo queda así con un exceso de energía, y puede volver a su estado original básico emitiendo en forma de luz la energía sobrante.

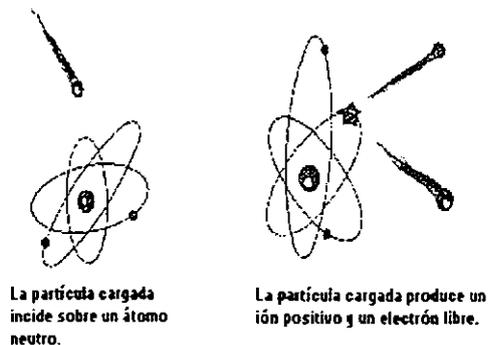


Figura 1.3 La ionización

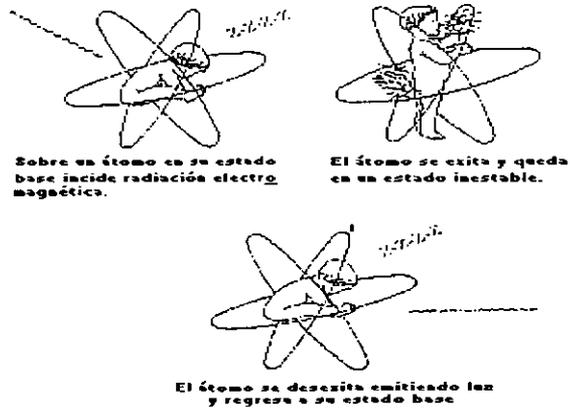


Figura 1.4 La excitación.

El número de iones liberados y el tipo de luz emitida en un material por el paso de la radiación dependen de la energía que pierden las partículas cargadas alfa y beta al atravesarla. La energía máxima que puede ser transferida de una partícula cargada de masa m , con energía cinética E a un electrón de masa m_e en una simple colisión es $4Em_e/m$. Porque ésta es una pequeña fracción de la energía total, la partícula primaria debe perder su energía en muchas interacciones durante su paso a través del absorbedor. En cualquier tiempo la partícula esta interaccionando con muchos electrones, así que el efecto neto es disminuir su velocidad continuamente hasta que la partícula es frenada.

La radiación gamma no tiene masa ni carga y su poder de penetración es muy grande, aunque un gran número de posibles mecanismos de interacción en la materia son conocidos para rayos gamma, solo tres tipos son importantes en la medición de la radiación: absorción fotoeléctrica, dispersión Compton y producción de pares. Lo más importante de estos tres efectos es que en todos ellos aparecen partículas cargadas electricamente; las que producen a su vez como fenómenos secundarios, la ionización y la excitación.

En el proceso de absorción fotoeléctrica, un fotón sufre una interacción con un átomo absorbedor, en el cual el fotón desaparece completamente. En su lugar, un fotoelectrón energético es expulsado por el átomo de una de sus capas. La interacción de este fotón es con el átomo y no con los electrones libres.

La vacancia creada en el átomo ionizado es llenada con la captura de un electrón libre del medio y/o

el rearrreglo de electrones de otra capa del átomo, generándose así uno o más rayos X característicos. Este efecto predomina para rayos gamma o rayos X de baja energía.

En el proceso de interacción de dispersión Compton, el fotón incidente en el átomo absorbedor es desviado con respecto a su dirección original. El fotón transfiere una porción de su energía a un electrón del átomo absorbedor, la energía transferida al electrón puede variar de cero a una fracción grande de la energía del fotón incidente.

La probabilidad de la dispersión Compton por átomo absorbedor, depende del número de electrones disponibles como blancos de dispersión y por lo tanto se incrementa con el número atómico.

En la producción de pares, si la energía del rayo gamma excede dos veces la energía de la masa en reposo de un electrón (1.02 MeV), el proceso es energéticamente posible. En la interacción (la cual debe tener lugar en el campo coulombiano del núcleo), el fotón desaparece y es reemplazado por un par electrón-positrón. La energía excedente de 1.02 MeV del fotón incidente es utilizada como energía cinética del par producido. Ver figura 1.5.

Así pues, se puede generalizar diciendo que la radiación nuclear interacciona con la materia que atraviesa y produce de manera directa o indirecta ionización o excitación de los átomos y por éste efecto se puede detectar y medir.

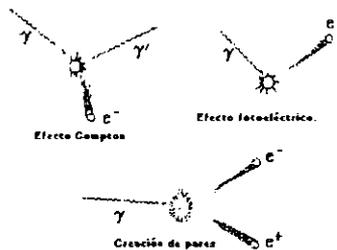


Figura 1.5 Efectos Compton, fotoeléctrico y creación de pares.

Medición de las Radiaciones Ionizantes

La radiactividad es un fenómeno que tardó mucho en descubrirse, pues el ser humano no tiene sentidos o sensores biológicos que puedan percibir la radiación emitida por los elementos radiactivos. Pero en cuanto se descubrió que el uranio emitía radiaciones se empezaron a fabricar

instrumentos que ayudaran a los sentidos a detectar lo imperceptible. Las radiaciones nucleares sólo se pueden observar indirectamente a través de los efectos que producen al atravesar la materia, y los aparatos diseñados para medir su energía e intensidad, están basados en la medición de este efecto, siendo estos:

Efecto	Tipo de Instrumento	Detector
Eléctrico	1. Cámara de ionización 2. Contador proporcional 3. Contador Geiger 4. Estado sólido	1. Gas 2. Gas 3. Gas Semiconductor
Químico	1. Película 2. Dosímetro químico	1. Emulsión fotográfica 2. Líquido o sólido
Luz	1. Contador de centelleo 2. Contador Cerenkov	1. Cristal o líquido 2. Cristal o líquido
Termoluminiscencia	Dosímetro termoluminiscente	Cristal
Calor	Calorímetro	Sólido o líquido

Un sistema completo de detección esta formado por un detector de radiación y un sistema de procesamiento de señales. En general, el detector de radiación consiste en los siguientes componentes:

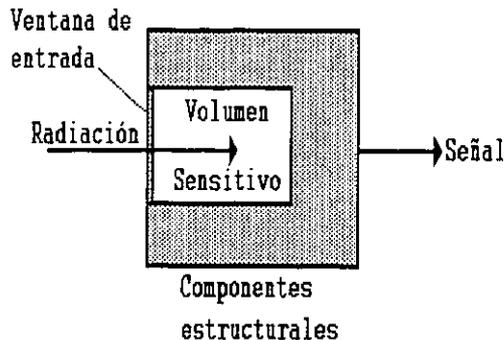


Figura 1.6 Elementos básicos de un sistema de detección.

1.- Volúmen sensitivo. Es el lugar en el que se detecta la interacción de la radiación con la materia, para su posterior procesamiento.

2.- Componentes estructurales. Incluye una estructura física para mantener el volumen sensitivo y el suministro eléctrico requerido. Normalmente, los componentes estructurales encierran al volúmen sensitivo, e incluyen una ventana de entrada que es transparente a la radiación que será detectada.

3.- Mecanismo de salida de datos. Es el medio de la salida de datos del volumen sensitivo hacia el sistema de procesamiento de los mismos.

El sistema de detección empleado en el desarrollo del presente trabajo de tesis es del tipo Geiger-Muller.

El principio físico en que se basa el funcionamiento del detector tipo Geiger, es mediante la medición de corriente eléctrica, producida por el fenómeno de ionización de la radiación al interaccionar con la materia (gas). Esta ionización puede medirse gracias a que los iones son producidos en un campo eléctrico, generando así la corriente eléctrica y midiéndola con un instrumento apropiado.

Para detectar partículas alfa o beta se requieren ventanas extremadamente delgadas del detector, pues de otra forma éstas partículas se frenan en la ventana y no la pueden penetrar. La radiación gamma es mucho más penetrante, puede pasar a través de las paredes de un contador ordinario, por lo que no se requiere de ventanas especiales.

La facilidad o dificultad con que una radiación pasa a través de una pared o ventana de un detector ayuda para poder identificarla. Por ejemplo, la partícula alfa no atraviesa las ventanas que se emplean para detectar partículas beta. Una lámina delgada de metal colocada sobre la ventana para medir partículas beta excluirá a estas partículas beta, pero no detendrá a la radiación gamma.

La intensidad de la ionización producida por una partícula cargada en movimiento, en su trayectoria a través de un gas, se expresa por la *ionización específica*. Esta representa el número de pares de iones formados por centímetro de trayectoria. En el caso de las partículas de igual masa, la ionización específica aumenta según la magnitud de la carga.

De hecho, el número total de pares de iones producidos por una partícula cargada se determina principalmente por su energía, ya que se pierde una cantidad constante por cada par de iones formado. En aire a presión y temperatura estándar, la formación de un solo par de iones

requiere aproximadamente 33.5 eV de la partícula cargada en movimiento. Los rayos gamma y rayos X, también pueden ionizar gases, sin embargo, lo hacen de manera indirecta mediante la expulsión de electrones (efectos fotoeléctrico, Compton y producción de pares). Son estos electrones secundarios rápidos, los que producen los pares de iones en su trayectoria. La ionización específica de las radiaciones electromagnéticas dependen de la energía del electrón expulsado.

Cabe la observación de que en el proceso de ionización, se despoja a un átomo o molécula de uno o más electrones, dando como resultado un ión positivo, en tanto que los electrones despojados serán los iones negativos. Por regla general, un *par de iones*, esta constituido por un ión positivo y otro negativo, que se producen en todo proceso de ionización.

Detectores Geiger Muller.

El principio de operación del tubo Geiger-Muller (GM), es tal que permite tener una gran variedad de tipos. Los tubos se construyen y operan con diámetros que van desde 2mm a varios cm y con longitudes del orden de 1cm a más de un metro.

El electrodo interno o colector es un alambre fino del orden de tres o cuatro milésimas de pulgada de diámetro y esta hecho de tungsteno. El colector generalmente es un alambre recto y en los extremos esta unido a un buen aislante. En otros casos, sólo está unido al aislante en un extremo. La configuración del tubo GM generalmente es cilíndrica con el electrodo colector montado coaxilmente. El otro electrodo generalmente se le conoce como cátodo y es la parte envolvente del tubo. Si la envoltura es de metal, sirve directamente como cátodo; si es de vidrio, su superficie interior se cubre con un material conductor para formar el cátodo.

El gas usado para llenar el tubo es un gas noble, como el helio, argón o neón. Usualmente se agregan pequeñas cantidades de vapor orgánico o halógenos (alcohol, éter, etc.), con el propósito de evitar descargas múltiples. El requisito principal para una operación satisfactoria es que la afinidad electrónica del gas sea suficientemente pequeña para que la transferencia de carga negativa en el tubo sea por electrones libres.

En la figura 1.7 se muestra un circuito común para los detectores Geiger:

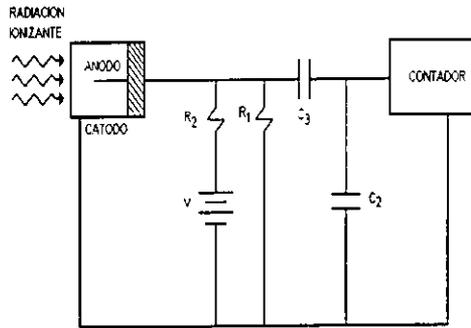


Figura 1.7 Circuito común para un detector Geiger Muller.

Con este circuito se puede registrar un conteo, cada que un pulso de voltaje excede un valor mínimo establecido por el discriminador del contador. El capacitor C_2 representa la capacitancia de entrada del contador.

Una fuente de alto voltaje V suministra el voltaje entre el electrodo colector y el cátodo. En este circuito el cátodo esta a un potencial a tierra, lo cual representa una ventaja cuando la envoltura del tubo es de metal. El electrodo colector está a un alto potencial positivo con respecto a tierra.

El potencial de corriente directa es bloqueado a la entrada del contador por el capacitor C_3 . El resistor R_2 , en serie con la fuente de poder, aísla a ésta del electrodo colector, permitiendo la recolección de los electrones, seguida de una descarga del tubo. La resistencia R_3 en unión con R_1 , permite que los valores de equilibrio de voltaje sean establecidos de nuevo después de la descarga.

Tiempo Muerto de un Detector Geiger Muller

El alto voltaje aplicado a un tubo Geiger hace que el campo eléctrico $E(r)$ entre el alambre central y la pared interior del tubo sea grande. Cuando la radiación ionizante penetra en la región sensible del detector, se produce ionización. Los electrones primarios viajan rápidamente al alambre central o ánodo, al igual que los electrones secundarios formados en la avalancha; en cambio, los

iones positivos, por ser más pesados se desplazan lentamente requiriendo un tiempo de 100 a 400 μs para llegar al cátodo. Durante ese tiempo el detector es insensible, pues estando los iones positivos cerca del ánodo, forman una carga espacial positiva que hace que $E(r)$ disminuya de tal manera, que si en ese momento entran más radiaciones ionizantes, no se producirán pulsos, pues la intensidad del campo eléctrico es muy baja. Como consecuencia, el número de pulsos observados por el detector no corresponde al número de radiaciones que entraron al mismo. A este intervalo de tiempo se le conoce como tiempo muerto de detector.

Se define entonces como tiempo muerto t de un detector GM, al tiempo transcurrido entre el momento en que se origina el pulso inicial y la formación de un segundo pulso. El segundo pulso es muy pequeño, pues los iones positivos, aunque se han alejado lo suficiente del ánodo como para permitir que se produzca éste segundo pulso, impiden que el campo se restablezca a su valor original. Así, a medida que los iones positivos se alejen del ánodo, la intensidad del campo eléctrico va creciendo hasta recuperar su magnitud inicial y como efecto paralelo, se presenta el crecimiento de la altura de los pulsos formados hasta llegar a adquirir el tamaño del primer pulso. Analizando la gráfica del tiempo contra el tamaño de pulso, es posible observar en la pantalla de un osciloscopio acoplado a un detector Geiger-Muller como se ilustra en la figura 1.8.

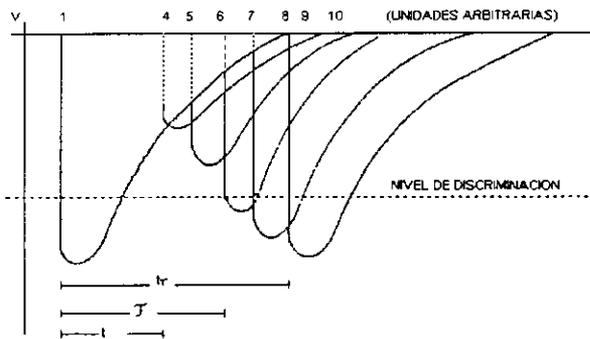


Fig.1.8 Tiempo muerto de un detector.

Como puede verse, el primer pulso es muy grande; el voltaje aplicado al detector V_0 decrece rápidamente hasta un valor mínimo, después crece lentamente hasta V_0 . Se define como tiempo de recuperación t_r , al intervalo de tiempo que tarda el detector en restablecer la intensidad de campo eléctrico original y este tiempo es el transcurrido entre el inicio del primer pulso y el nuevo

pulso de altura igual al inicial.

La importancia de lo anteriormente mencionado estriba en que la electrónica asociada al detector GM, es tal que sólo se registran pulsos que tengan una altura mayor a un cierto nivel de discriminación, localizado a una altura un poco menor que el tamaño del pulso inicial. Se conoce como tiempo de resolución τ del sistema contador GM, al tiempo en que no se produce conteo alguno debido a que los pulsos formados no tienen altura suficiente para rebasar el nivel de discriminación o nivel de disparo. Para un sistema que tenga un amplificador de voltaje muy sensible, este tiempo de resolución τ del sistema, se aproxima al tiempo muerto del detector o tubo GM. Para un amplificador menos sensible estará entre t_m y τ .

Sistemas de Medición de la Radiactividad

Los detectores Geiger entregan impulsos de corriente al ser expuestos a un campo de radiación. Tales impulsos son recibidos por circuitos electrónicos encargados de acondicionarlos, medirlos y analizarlos, para proporcionar datos relativos a la intensidad, energía y algunas otras características de la radiación detectada, como lo es la actividad. Dependiendo de cual de las características antes mencionadas es la de interés y del tipo de detector empleado, se tendrán que utilizar algunos o todos los bloques del diagrama general que se muestra en la figura 1.9.

En el capítulo III se describirá el sistema que se emplea para monitorear los laboratorios e instalaciones donde se maneja material radiactivo dentro del ININ, (RMS-II).

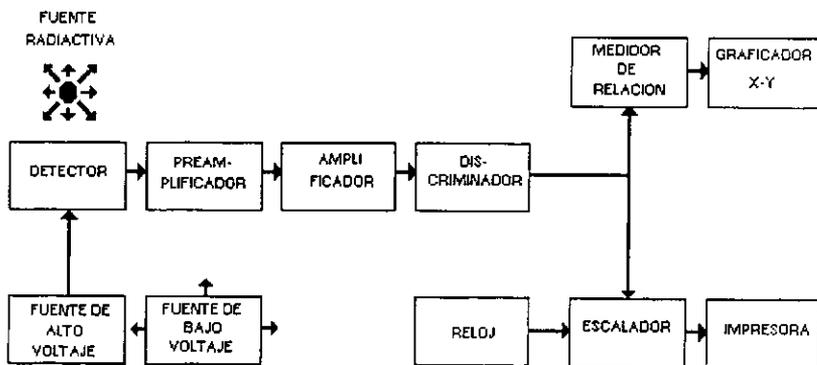


Figura 1.9 Diagrama general a bloques de un sistema de monitoreo de radiación.

CAPITULO II

PROTECCION RADIOLOGICA

El objetivo fundamental de la protección radiológica es reducir los riesgos provenientes del uso y manejo de radiaciones ionizantes a niveles tan bajos como razonablemente sea posible, tomando en cuenta factores sociales y económicos.

Los materiales radiactivos siempre han sido y formado parte del medio ambiente (por ejemplo: U^{238} , K^{40}), sin embargo debido a que los sentidos humanos no son capaces de detectar las radiaciones, estas fueron desconocidas hasta finales del siglo XIX. Desde entonces, mediante la investigación y el estudio, han sido encontradas un gran número de aplicaciones importantes de las radiaciones ionizantes, así como el desarrollo de un gran número de procesos tecnológicos para producirlas artificialmente. El mundo moderno utiliza la tecnología nuclear para la producción de energía eléctrica, en la industria, en la medicina, en la agricultura y en otros sectores que van desde las aplicaciones espaciales hasta las ciencias básicas. A pesar de los beneficios que se han obtenido, se sabe que la interacción de la radiación con la materia biológica puede producir efectos nocivos a varios niveles.

Entre las fuentes de radiación ionizante creadas por el hombre, las que más contribuyen a la exposición de la población, son las utilizadas en radiología diagnóstica. Aproximadamente la mitad de la población realiza por lo menos, un exámen radiográfico por año, por lo que es necesario una atención especial a las dosis que reciben los pacientes en este campo. La exposición médica es la única categoría en la cual es posible una reducción significativa de la dosis recibida por la población.

Objetivo Primario de la Protección Radiológica

El objetivo primario de la protección radiológica, es ofrecer un estándar apropiado de protección para el hombre, sin limitar los beneficios obtenidos por la aplicación de las radiaciones ionizantes. Este objetivo no puede ser alcanzado solamente con base en consideraciones científicas, todos los asuntos relacionados con la protección radiológica necesitan de elementos de juicio sobre la importancia relativa de diferentes tipos de riesgos y sobre el balance entre riesgos y beneficios. En ese aspecto los conceptos aquí usados no difieren de los de otras actividades que involucran el control de la ocurrencia de daños.

La responsabilidad de dar recomendaciones en materia de protección radiológica es asumida por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), establecida en 1928.

La ICRP trabaja en conjunto con la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (ICRU) y tiene relaciones oficiales con la Organización Mundial de la Salud y el Organismo Internacional de Energía Atómica. Tiene también relaciones con la Organización

Internacional del Trabajo, el Comité Científico de las Naciones Unidas para los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR), la Comisión de la Comunidad Económica Europea, la Organización Internacional de Estandarización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional y la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA).

En 1991 fueron publicadas las "nuevas recomendaciones" del ICRP, con modificaciones en las magnitudes dosimétricas básicas y en el sistema de limitación de dosis, presentando una nueva metodología utilizada para estimar el riesgo asociado al uso de las radiaciones.

El sistema de protección radiológica tiene en consideración desde la aplicación de los límites de dosis individuales, donde la función principal es evitar efectos determinísticos y disminuir la posibilidad de los efectos estocásticos. Es posible evitar los efectos determinísticos de la radiación dado que existe un umbral de dosis, sin embargo, los efectos estocásticos no pueden ser evitados totalmente puesto que no existe un umbral que pueda ser utilizado.

Principios Generales de Protección Radiológica

El sistema de protección radiológica, recomendado por la ICRP para las prácticas propuestas y las ya existentes se basa en tres principios fundamentales que orientan las acciones de la protección radiológica: Justificación, Optimización y Limitación de dosis. Los principios de optimización y justificación, se aplican a las fuentes para su aceptación y criterios de diseño, en base a su repercusión (detrimento) sobre toda la población afectable. Los límites de dosis se aplican a los individuos (trabajadores y miembros del público) a fin de asegurar una adecuada protección a cada uno de ellos teniendo en cuenta que pueden recibir dosis de radiación provenientes de distintas fuentes. Estos principios básicos es lo que se conoce como el sistema de limitación de dosis, establecido en la publicación 26 del ICRP.

a) Justificación.

Como principio general ninguna práctica que implique exposición a la radiación puede ser adoptada a menos que produzca un beneficio neto a los individuos expuestos o la sociedad, para compensar el detrimento que provoca tal exposición. El análisis de justificación se realiza considerando la aceptación de una práctica nueva con fuentes de radiación; una fuente puede ser un reactor nuclear, un equipo sencillo de rayos X o cualquier instalación en que se utilicen radiaciones ionizantes.

b) Optimización.

Este concepto es aplicado en las más diversas circunstancias de la vida de una sociedad, muchas veces de manera empírica y no consciente. Consiste en definir el orden de magnitud de los recursos que deben asignarse para lograr un objetivo, de modo que el empleo de la totalidad de los recursos disponibles por una sociedad resulte óptimo, considerando que existe necesidad de satisfacer también otros objetivos.

Este concepto general, aplicado a la protección radiológica, suele enunciarse diciendo que la optimización consiste en reducir las dosis colectivas y la probabilidad de exposiciones potenciales tanto como sea razonablemente posible, tomando en cuenta factores económicos y sociales, esto es lo que se conoce como principio ALARA. El término ALARA significa " tan bajo como razonablemente pueda alcanzarse". (**A**s **L**ow **A**s is **R**easonable **A**chievable); es un criterio que establece que no sólo se deben tomar las medidas y precauciones apropiadas para mantener la dosis de radiación al personal ocupacionalmente expuesto (POE) y al público en general, por debajo de los límites fijados, sino además, deben hacerse todos los esfuerzos razonables para mantenerla tan bajo como sea posible, tomando en cuenta los factores tecnológicos disponibles y los factores económicos y sociales aplicables.

c) Limitación de dosis.

Los criterios de justificación y optimización se aplican a conceptos colectivos (detrimento/dosis colectiva) y se refieren a la aceptabilidad de una fuente y las restricciones para su diseño instalación y operación, desde el punto de vista de sus efectos sobre el conjunto de la población afectada.

Sin embargo, éstos criterios no aseguran una distribución homogénea de la dosis en la población, que podrían llegar a ser muy desiguales, lo que implicaría la existencia de inequidades severas en la distribución de riesgos y beneficios en la sociedad.

Para restringir esa posible inequidad se establecen límites de dosis individuales, estos límites acotan el rango de valores que pueden tomar las dosis (con restricciones adicionales que surgen del tipo de práctica y del análisis de optimización); de éste modo toda posible inequidad queda acotada.

Los límites de dosis deben adoptarse para impedir los efectos determinísticos y limitar los

probabilísticos. El primer aspecto es relativamente sencillo de lograr, pues dado que existe un umbral de dosis, basta con elegir valores menores a éste umbral. El segundo aspecto es más complicado, pues adoptar un valor como límite de dosis implica aceptar un orden de magnitud de riesgo (probabilidad de efectos estocásticos) y esto no es una decisión puramente científica. toda decisión al respecto involucra inevitablemente cierto grado de arbitrariedad, en este sentido es útil considerar los ordenes de magnitud de riesgos a los que la sociedad esta expuesta habitualmente y que de algún modo se consideran aceptables. De cualquier manera la decisión no es simple y el criterio adoptado al respecto consiste en definir un nivel de riesgo cuya superación implicaría una situación claramente inaceptable, al cual se hace corresponder el límite de dosis.

Para determinar los límites de dosis se analizan diversos componentes del detrimento tales como: la probabilidad de muerte por cáncer, la probabilidad de inducción de cáncer no fatal, la probabilidad de efectos hereditarios, la disminución de la esperanza de vida, etc. se comparan esos efectos para diversos valores de dosis anuales que podrían ser recibidas por los individuos durante todos los años. Los límites de dosis son valores establecidos para la exposición ocupacional, en el caso de la exposición médica no sería posible, en principio, establecer límites de dosis ya que estos podrían restringir indebidamente la practica y el beneficio médico. Sin embargo para este caso, la ICRP y el OIEA, recomiendan adoptar "niveles orientativos" de dosis para cada tipo de estudio diagnóstico a fin de asegurar una calidad de imagen mínima. Esto es una novedad en el campo médico que tiende a imponer un cierto grado de optimización sin limitar la dosis al paciente.

Los límites de dosis adoptados actualmente en nuestro país son:

LÍMITES ANUALES DE DOSIS		
	Exposición ocupacional	Exposición del público
Dosis equivalente efectiva	50 mSv (5 rem)	5 mSv (0.5 rem)
Dosis equivalente:		
órganos o tejidos	500 mSv (50 rem)	50 mSv (5 rem)
crystalino	150 mSv (15 rem)	15 mSv (1.5 rem)

No se prescriben disposiciones particulares aplicables a mujeres aptas para procrear, salvo

que toda exposición necesaria deberá distribuirse en el tiempo lo mas uniformemente posible.

Tales principios forman un sistema coherente, de tal manera que no pueden ser tratados de forma aislada; ésto significa, por ejemplo, que el cumplir con los límites de dosis no es suficiente para demostrar que la protección radiológica es adecuada.

Principios Básicos de Protección Radiológica

Los peligros del uso de las radiaciones ionizantes se clasifican en dos tipos:

Aquellas que provienen de material externo al cuerpo y aquellas que provienen de material que puede ser incorporado al cuerpo.

El peligro externo puede provenir de fuentes abiertas o fuentes selladas, mientras que el peligro interno solo proviene de fuentes abiertas.

La práctica de la protección radiológica en tales situaciones, consiste en aplicar métodos para reducir los peligros de la radiación, siendo éstos:

a) Protección a la radiación externa.

1. Reducción del tiempo de exposición. Aunque muchos efectos biológicos de la radiación dependen de la rapidez de dosis, esta puede ser resumida, para su control, de la siguiente relación:

$$\text{rapidez de dosis} \times \text{tiempo de exposición} = \text{dosis total.}$$

en donde se puede observar que entre mayor sea el tiempo que uno permanece en un campo de radiación, mayor será la dosis recibida, por lo que se deberá evitar estar expuesto a campos de radiación durante períodos de tiempo largos.

2. Uso de distancia para reducir exposición. La intensidad de un campo de radiación disminuye conforme aumenta la distancia a la fuente de radiación, suponiendo una fuente puntual, la disminución en la intensidad será inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, esto es conocido como la "ley del inverso del cuadrado" es decir:

$$D \propto 1/r^2$$

3. Uso de blindajes para reducir exposición. Cuando los dos factores anteriores se ven restringidos, puede disminuirse la exposición a la radiación colocando un material adecuado o una combinación de materiales entre la fuente de radiación y la

persona o área que se desea proteger.

En la elección del material de blindaje usualmente la primer consideración es la protección personal. sin embargo, otros factores deben considerarse para elegir el material que se usara como blindaje, entre tales factores podemos señalar: su costo, su manejo, su resistencia estructural, etc.

b) Protección a la radiación interna.

Existen dos formas principales por las cuales el material radiactivo puede entrar al cuerpo: por inhalación y por ingestión, además, a través de la piel por absorción. Para prevenir o reducir al mínimo la posibilidad de incorporación de cualquier manera se considera:

1. Diseño adecuado del lugar de trabajo (laboratorio y equipo)
2. Instalar sistemas de monitoreo de radiación y contaminación.
3. Abastecer de ropa y equipos de protección.
4. Implementar reglas de seguridad operativa en las instalaciones.

La estimación de la dosis equivalente al POE, se obtiene mediante una vigilancia radiológica ocupacional. Garantizando así que las exposiciones del POE se mantengan en valores bajos a fin de cumplir con el criterio de ALARA y asegurar que los límites de dosis no se sobrepasen.

El indicativo de la exposición del personal en condiciones normales de trabajo es realizado mediante una vigilancia radiológica de áreas. Para facilitar la vigilancia de áreas, estas se clasifican en: zona controlada y zona supervisada. Una zona controlada se define como aquella área en que se requiere de la observancia de procedimientos y prácticas bien definidas que tengan como objetivo controlar la exposición a la radiación y prevenir las exposiciones potenciales. Una zona supervisada es toda zona que no haya sido ya definida como zona controlada, pero en la que se precisa mantener bajo examen las condiciones de exposición ocupacional.

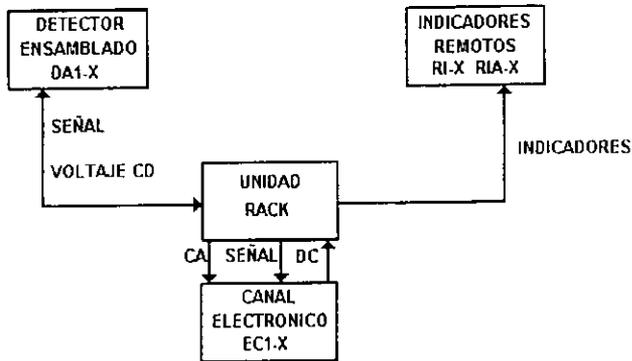
El acceso a una zona controlada o supervisada, deberá estar señalizada adecuadamente con el símbolo internacional que indica la presencia de radiación ionizante y con la leyenda respectiva. Ver anexo I.

CAPITULO III

SISTEMA DE MONITOREO DE RADIACION RMS-II

El Sistema de monitoreo de radiación RMS-II de Eberline, que utiliza detectores tipo Geiger Muller, presenta grandes ventajas para la vigilancia de áreas controladas y restringidas, y en un momento dado da una aproximación de que tan peligroso puede ser el entrar a un área de éste tipo. Se elige éste sistema debido a que es el más utilizado en las instalaciones radiactivas

El Sistema de Monitoreo de Radiación Eberline (RMS II), es utilizado para detectar y medir campos de radiación gamma en localidades remotas dentro del ININ. Su conexión se muestra en el diagrama a bloques de la figura 3.1.



**DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA DE
MONITOREO DE RADIACION II**

Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema RMS-II

La unidad "rack" es un gabinete de interconexión entre los Canales Electrónicos y los detectores. Este suministra el voltaje de línea de corriente alterna a seis canales independientes, la energía máxima que puede suministrar con los seis canales conectados es de 105 a 125 Vca, 50 a 60 Hz para 1.0 A. Las especificaciones de los puntos de conexión se muestran en el Anexo II.

Los detectores DA1-X

Los detectores ensamblados DA1-4 y DA1-6 son del tipo Geiger Muller, usados para campos de radiación gamma (γ), con energías de 1.0 mR/h a 10000 R/h y de 0.1 a 10000 mR/h, respectivamente. Contienen dentro de su estructura una fuente de alto voltaje, que puede ser de +900 Vcd o de +500 Vcd, dependiendo del detector utilizado; un circuito convertidor de pulsos, un circuito amplificador, un circuito regulador de bajo voltaje y un circuito manejador de la señal de salida. El voltaje de alimentación es suministrado por los Canales electrónicos.

Debe utilizarse cable calibre 18 para alcanzar una distancia de 1523 m. sin tener pérdida de señal.

Los detectores DA1-X puede también contener una fuente radiactiva de prueba, que se opera a larga distancia presionando la luz Normal de la parte frontal de los Canales Electrónicos.

El elemento de detección que utiliza el detector DA1-4, es un GM. Donde la corriente de salida es proporcional al campo de radiación al cual esta expuesto. La salida del detector es acoplada a un convertidor de pulsos, esta corriente es convertida a una frecuencia cuyo intervalo de pulsos es también proporcional al campo de radiación al cual está expuesto. Estos pulsos son amplificados y enviados a través de un circuito (manejador de señal de salida) el cual acopla la salida a un par de cables trenzados que entregan esta serie de pulsos a los Canales Electrónicos, donde la señal es procesada y mostrada en una escala logarítmica de la rapidez de exposición. Los detectores DA1-X no requieren de calibración, ésta se realiza en los Canales Electrónicos.

La figura 3.2 muestra el diagrama a bloques de los detectores DA1-X, y el Anexo III muestra las hojas de especificaciones.

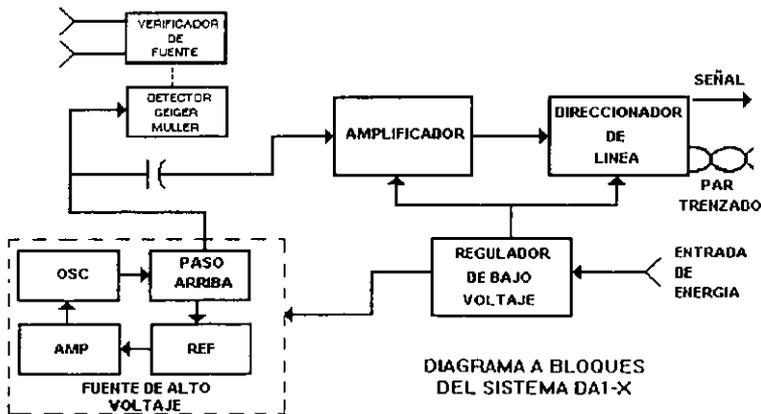


Figura 3.2 Diagrama a bloques del detector DA1-X

Los Canales Electronicos EC1-X

Los Canales Electrónicos de EBERLINE modelos EC1-X, reciben la señal desde el detector remoto, la procesan y muestran la información como rapidez de exposición.

Los Canales Electrónicos proporcionan el bajo voltaje para el detector remoto. Cada canal tiene su fuente de bajo voltaje, circuitos electronicos para el procesamiento de la señal, señales de salida y señales de alarma. Los controles para calibrar la conversión de pulsos a rapidez de exposición de estos circuitos son accesibles a través de la parte frontal y pueden ser ajustados mientras esten en operación.

Los indicadores de los niveles de las lecturas son tres luces de estado (Verde nivel normal. Amarillo nivel de investigación, Rojo nivel de intervención) las cuales están localizadas en la parte frontal del Canal Electrónico. El interruptor de restablecimiento está instalado dentro de las luces. Si existe una fuente radiactiva opcional de prueba en el detector remoto, ésta es operada por la luz verde o Normal. Las alarmas pueden desactivarse por un control interno.

Los Canales Electrónicos difieren unicamente en los intervalos que muestran las carátulas con cuatro o cinco escalas logarítmicas que indican los niveles de rapidez de exposición. Dependiendo del nivel de exposición que se va a detectar, a cada canal EC1-X se le puede conectar alguno de los Detectores Ensamblados Remotos modelo DA1-X. La X en los modelos EC1 y DA1 indican el nivel de rapidez de exposición que pueden detectar en 4 o 5 escalas logarítmicas de acuerdo a la siguiente relación:

Canal Electronico	Rapidez de Exposición	Con Detector	No. de Ciclos
EC1-4	0.01 - 100 R/h	DA1-4	4
EC1-8	0.1 - 10000 mR/h	DA1-6	5

La figura 3.3 muestra el diagrama a bloques de lo Canales Electrónicos EC1-X, que estan instalados dentro de un gabinete (Unidad Rack) y el Anexo IV muestra las especificaciones de éstos.

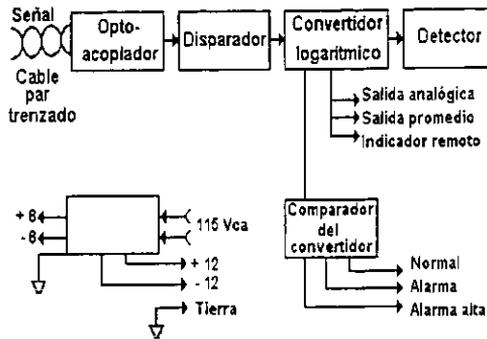


Figura 3.3 Diagrama a bloques del canal electrónico EC1-X

La operación de los Canales Electrónicos inicia con los pulsos provenientes del detector remoto, que son aplicados al circuito optoaislador. La salida del optoaislador es aplicada al circuito disparador, la salida de éste es de cierto ancho y amplitud. El conjunto de éstos pulsos de voltaje son entonces promediados a una corriente, la cual maneja un convertidor logaritmico, así el rango de pulsos puede ser mostrado en un medidor como una rapidez de exposición del detector.

Los comparadores de voltaje son usados para fijar los niveles de alarma. Las salidas de éstos comparadores determinan el estado de los relevadores de alarma. Los contactos de los relevadores son llevados a la salida del gabinete por medio de la tarjeta principal para los circuitos auxiliares. Del mismo modo una señal de voltaje (que varía de 0 a ± 5 V) equivalente a los pulsos de entrada presentes, es llevada a la salida del gabinete, para un uso externo. Dicha señal de voltaje es la que se utiliza para realizar la adquisición de datos para cada uno de los Canales Electrónicos

Calibración de los Canales Electrónicos EC1-X

La calibración de los diferentes canales electrónicos utilizados para el desarrollo, se realizó en dos etapas que son las siguientes:

1.- Ajuste Electrónico.- El cual consistió en hacer pruebas aplicando a cada uno de los detectores una entrada de pulsos de voltaje de amplitud +5 Volts. con ancho de pulso de 0.9 a 1. μ s. a diferentes frecuencias, ver figura 3.4 (simulandose así la respuesta de los detectores DA1-X. para valores de rapidez de exposición mínimos y máximos), teniendo que para una frecuencia de 0.166 Hz, se debe ajustar la aguja de la carátula del canal electrónico a una rapidez de exposición de 0.02 mR/h (para el detector DA1-6 con el Canal Electrónico EC1-8), paso seguido se aplicó una señal de las mismas características a una frecuencia de 6666.66 Hz, para una rapidez de exposición de 8000 mR/h, repitiéndose este procedimiento hasta que las lecturas establecidas de rapidez de exposición no varien al subir o bajar la frecuencia; después se aplicaron valores intermedios de frecuencias para comprobar así la linealidad de los detectores.

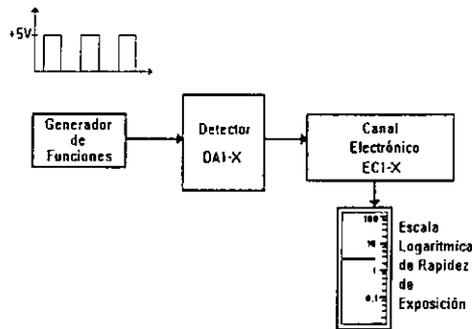


Figura 3.4 Arreglo experimental para el Ajuste Electrónico

La gráfica de frecuencia contra rapidez de exposición se muestra en la figura 4.5. Con esto se dió una aproximación de calibración.

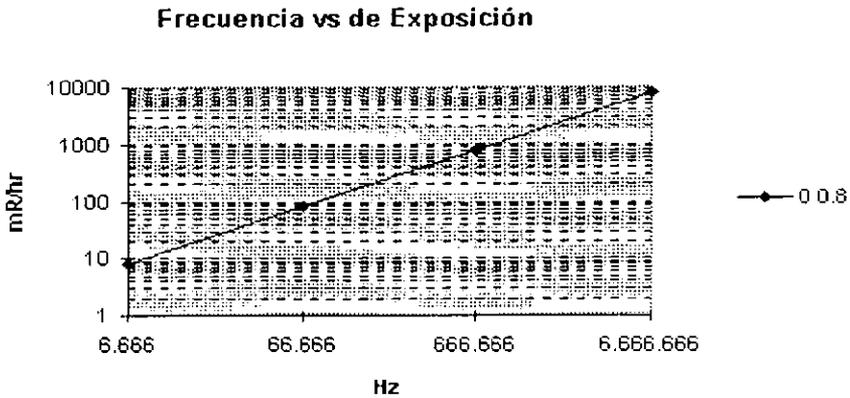


Figura 3.5 Grafica de Frecuencia vs. Rapidez de Exposición

2.- Calibración Radiológica. Esta fue realizada en el Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica del ININ, utilizándose para ello la Sala de Calibración de Radiación Gamma.

El detector fue expuesto a una fuente patrón de ^{137}Cs , de la cual se conoce su actividad y el valor de rapidez de exposición en un punto dado (calculado y certificado), de tal manera que a dos distancias diferentes, se tendrán lecturas distintas de rapidez de exposición en la escala del Canal Electrónico, las cuales se ajustarán contra los valores calculados para dicha fuente en función a las distancias establecidas; se consideró calibrado el canal electrónico, cuando al variar las distancias máxima y mínima las lecturas esperadas no variaban. La figura 4.6 muestra el arreglo fuente-detector utilizado y los anexos V y VI muestran los certificados de calibración de los detectores DA1-6 y canales electrónicos EC1-8 utilizados.

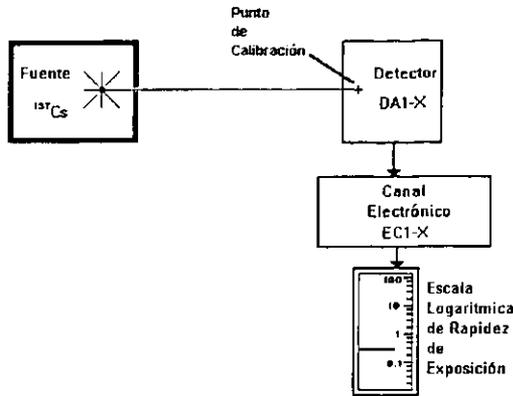


Figura 3.6 Arreglo experimental para la calibración Radiológica

Una vez calibrado el equipo, se volvió a aplicar una señal pulsada al detector a frecuencias intermedias (con las mismas características del ajuste electrónico), pero en este caso se midieron los voltajes de la salida opcional del Canal Electrónico, al variar las frecuencias, el voltaje de la salida opcional varía proporcionalmente con la rapidez de exposición mostrada en las carátulas de los Canales Electrónicos, este voltaje se encuentra en un intervalo de milivolts. Las lecturas obtenidas se muestran en la tabla T3.1.

Paso seguido se graficaron los voltajes de salida contra la rapidez de exposición. Dichas gráficas se dibujaron sobre papel semilogarítmico, donde el eje logarítmico representa la rapidez de exposición y el eje lineal a los voltajes obtenidos, ver figura 3.7.

Voltaje [V]	Rapidez de exposición [mR/h]
0.0012	0.4
0.0024	1
0.0043	3
0.0049	4
0.0061	6
0.0073	15
0.0085	30
0.0098	80
0.011	100
0.0122	300
0.0128	400
0.0134	600
0.014	800
0.0146	1000
0.0153	1500
0.0159	2000
0.0165	4000

Tabla T3.1

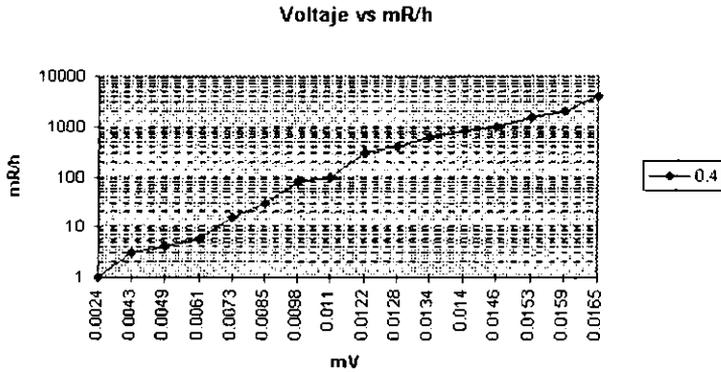


Figura 3.7 Gráfica de Voltaje vs. Rapidez de Exposición.

Efectuando un ajuste para los datos exponenciales anteriores, y proponiendo una función del tipo:

$$y = a 10^{nx} \dots\dots\dots 1$$

aplicando logaritmos a la función:

$$\log y = \log a 10^{nx} \dots\dots\dots 2$$

de la propiedad de los logaritmos para un producto:

$$\log y = \log a + \log 10^{nx} \dots\dots 3$$

aplicando la propiedad de los logaritmos para exponentes:

y puesto que $\log 10 = 1$

$$\log y = \log a + nx \log 10 \dots\dots 4$$

Donde puede observarse que ésta relación tiene la forma de una recta, es decir:

donde $m = n$ y es la pendiente de la recta, y $b = \log a$5

$$y = mx + b \dots\dots\dots 6$$

Aplicando el metodo de maximos y minimos a la ecuacion 5, tenemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\Sigma \log y_i = n \Sigma x_i + Nb \dots\dots\dots 7$$

$$\Sigma x_i \log y_i = n \Sigma x_i^2 + \Sigma x_i b \dots\dots\dots 8$$

donde N = número de datos.

Resolviendo el sistema de ecuaciones simultáneas 7 y 8, tenemos:

$$n \frac{\Sigma x_i \Sigma \log y_i - N \Sigma x_i \log y_i}{(\Sigma x_i)^2 - N \Sigma x_i^2} \dots\dots 9$$

$$b = \frac{\Sigma \log y_i - n \Sigma x_i}{N} \dots\dots\dots 10$$

Calculando los valores de las variables de las ecuaciones 9 y 10, tenemos:

Datos	x (V)	y (mR/h)	log y	x log y
1	0.0012	0.4	- 0.3979	4.775 E-4
2	0.0024	1	0	0
3	0.0043	3	0.4771	2.05 E - 3
4	0.0049	4	0.602	2.95 E - 3
5	0.0061	6	0.778	4.75 E - 3
6	0.0073	15	1.176	8.59 E - 3
7	0.0085	30	1.477	1.26 E - 2
8	0.0098	80	1.903	1.87 E -2
9	0.011	100	2	0.022
10	0.0122	300	2.477	3.02 E -2
11	0.0128	400	2.602	3.33 E -2
12	0.0134	600	2.778	3.72 E -2
13	0.014	800	2.903	4.06 E -2
14	0.0146	1000	3	0.0448
15	0.0153	1500	3.176	4.86 E -2
16	0.0159	2000	2.301	5.25 E -2
17	0.0165	4000	3.602	5.94E - 2
N = 17	Σx_i	Σy_i	$\Sigma \log y_i$	$\Sigma x \log y_i$

Tabla T3.2

Sustituyendo los valores de la tabla T3.2 en la ecuación 9:

$$n = 276.664$$

ahora sustituyendo el valor de n en la ecuación 10, se tiene que:

$$b = -0.9548$$

puesto que $b = \log a$ entonces:

$$a = \text{antilog } -0.9548 = 0.1109$$

finalmente tenemos que la curva ajustada es:

$$y = 0.1109 * 10^{27.6664x} \dots\dots\dots 11$$

donde:

$$[y] = \text{mR/h}$$

$$[x] = \text{volts}$$

Para comprobar que el ajuste anterior es el óptimo, se debe calcular el coeficiente de correlación como:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{NS_x S_y} \dots\dots\dots 12$$

en donde:

$$S^2_x = \frac{1}{N} \sum(x_i - \bar{x})^2 \dots\dots\dots 13$$

$$S^2_y = \frac{1}{N} \sum(y_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots 14$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum X_i \dots\dots\dots 15$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum y_i \dots\dots\dots 16$$

Calculando los valores necesarios para las ecuaciones 15 y 16, tenemos:

$$\bar{x} = 1.0011$$

$$\bar{y} = 637.6117$$

sustituyendo éstos valores en las ecuaciones 13 y 14, calculamos S_x y S_y :

$$Sx = 4.7653E - 3$$

$$Sy = 1.1618$$

calculando r:

$$r = 0.977$$

De donde se observa, que de las propiedades de la correlación:

- Su valor absoluto no debe exceder la unidad, esto es:

$$-1 \leq r \leq 1$$

- el coeficiente de correlación mientras más se acerca a 1 es mejor, ya que si se acerca a 0 los datos se encuentran dispersos.

Por lo que el ajuste es bueno y se puede observar mediante la gráfica de la figura 3.8, en donde se muestran los valores de las lecturas obtenidas y los valores corregidos.

Nota: Se hicieron ajustes polinomiales, exponenciales por métodos computacionales y se encontró que éste era el mejor ajuste.

De ésta manera el ajuste realizado a los valores obtenidos, puede utilizarse en la programación del sistema de adquisición de datos, que se presenta en el capítulo IV.

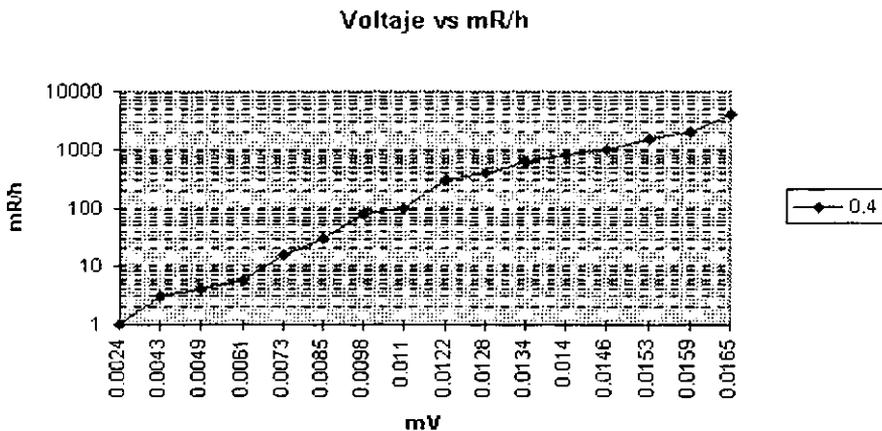


Figura 3.8 Gráfica de Voltaje vs Rapidez de Exposición después del ajuste

CAPITULO III

SISTEMA DE MONITOREO DE RADIACION RMS-II

El Sistema de monitoreo de radiación RMS-II de Eberline, que utiliza detectores tipo Geiger Muller, presenta grandes ventajas para la vigilancia de áreas controladas y restringidas, y en un momento dado da una aproximación de que tan peligroso puede ser el entrar a un área de éste tipo. Se elige éste sistema debido a que es el más utilizado en las instalaciones radiactivas

CAPITULO IV

CIRCUITO DE ADQUISICION DE DATOS Y PROGRAMACION

La tarea fundamental de un sistema de adquisición de datos es la medición y registro de variables físicas reales. Antes de que un sistema basado en una computadora personal pueda medir un fenómeno físico, un sensor o transductor debe convertir el fenómeno en una señal eléctrica, ya sea en voltaje o corriente. Posteriormente, un dispositivo convertidor, como lo es la tarjeta de adquisición de datos, tiene que convertir la señal proveniente del transductor a información digital.

Por lo tanto, es necesario realizar un estudio del sistema que se requiere desarrollar, para conseguir tener un trabajo óptimo, funcional y adaptable al sistema existente; para cumplir con los requerimientos de los usuarios.

Teoría de Funcionamiento

El siguiente diagrama de bloques muestra una apreciación global del funcionamiento de la tarjeta PC-LPM-16 (figura 4.1):

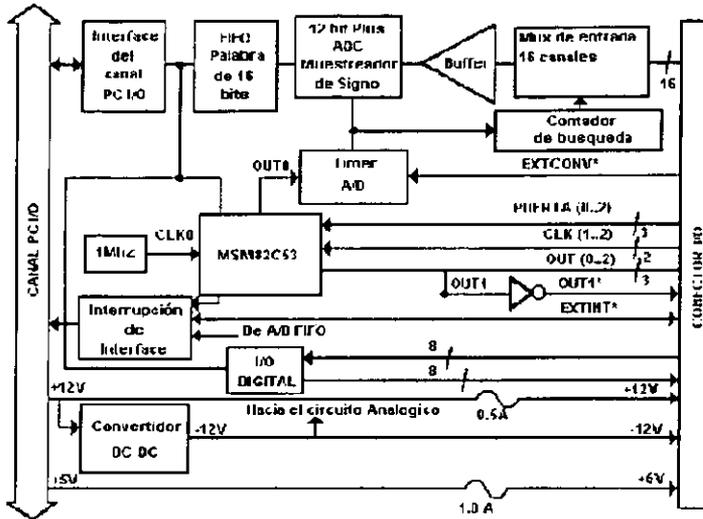


Figura 4.1 Diagrama a bloques de la tarjeta PC-LPM-16

Los siguientes son los componentes más importantes de la PC-LPM-16:

- * Circuitería interfase del canal PC I/O.
- * Circuitería de la entrada analógica.
- * Circuitería digital I/O.
- * Circuitería del Temporizador I/O.

Las funciones de adquisición de datos puede ser ejecutada utilizando la circuitería de la entrada analógica y algunos del temporizador I/O. Los datos internos y los buses de control interconectan los componentes. La teoría de operación de cada uno de éstos componentes es explicada más adelante en éste capítulo.

Circuitería Interfase del Canal PC I/O

La circuitería interfase del canal PC I/O consta de un bus de dirección, un bus de datos, líneas de la interrupción, y varios controladores y soportes de las señales. Los componentes de la interfase del canal PC I/O se muestran en el diagrama de bloques de la figura 4.2.

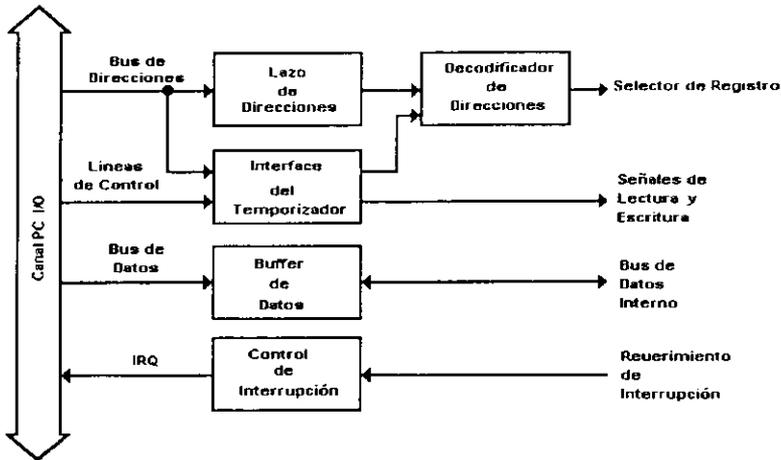


Figura 4.2 Componentes de la interfase del canal PC I/O

El circuito consta de circuitos de direcciones, decodificadores de dirección, buffers de datos, canal interfase I/O, circuito de control del temporizador. La circuitería monitorea las líneas de dirección SA5 a SA9 para generar la señal de habilitación, y usa las líneas SA0 a SA4 señales temporizadoras para generar en la tarjeta el registro de selección de signos leer/ escribir. Los buffers de datos controlan la dirección de los datos en las líneas bidireccionales de transferencia de datos, basándose en si la transferencia es leer o escribir.

El circuito de control de interrupciones dirige cualquier habilitación para seleccionar la línea de requerimiento de interrupción. Con la interrupción requerida, que señala en cual de los tri-estados se encuentra, la tarjeta PC-LPM-16 puede compartir las líneas de interrupción con otros aparatos. Seis líneas de interrupción se tienen disponibles para usar el PC-LPM-16: IRQ3, IRQ4, IRQ5, IRQ6, IRQ7, y IRQ9. El PC-LPM-16 que genera interrupciones en tres situaciones diferentes:

- Cuando una conversión A/D se puede leer del arreglo FIFO.
 - Cuando es detectado en la línea EXTINT* un cambio de nivel de bajo a alto.
 - Cuando es detectada una señal de borde de subida en la salida del contador 2.
- Cada una de estas interrupciones puede ser habilitada y limpiada individualmente.

Circuito de Adquisición de Datos y Entrada Analógica

El PC-LPM-16 tiene dieciséis líneas de entrada analógica con una conversión A/D de 12-bits. Usando el circuito temporizador, el PC-LPM-16 también puede realizar al mismo tiempo múltiples conversiones A/D. La figura 4.3 muestra un diagrama de bloques del circuito de adquisición de datos y la entrada analógica.

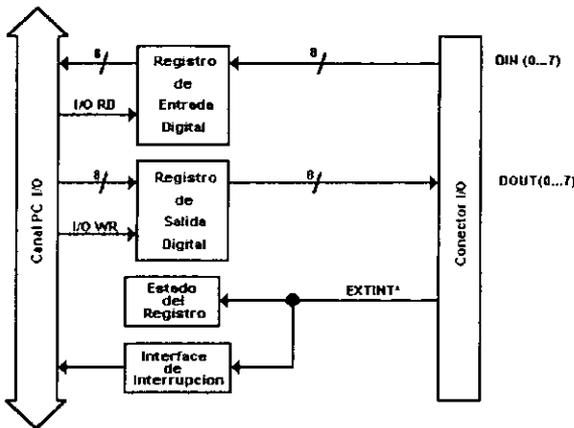


Figura 4.3 Circuito de adquisición de datos y la entrada analógica.

Circuito de la Entrada Analógica

El circuito de entrada analógica consta de un multiplexor de entrada, un puente selector de ganancia y un convertidor ADC de 12 bits plus. Los 12 bits plus de salida se pueden extender a 16 bits si se guardan en palabras de 16 bits en el arreglo FIFO de memoria. La etapa de entrada del multiplexor esta compuesta por un multiplexor de entrada analógica CMOS, y tiene dieciséis canales de entrada. En esta etapa se dispone de una protección de sobrevoltage de $\pm 50V$.

El PC-LPM-16 utiliza un convertidor ADC por aproximaciones sucesivas de 12 bits plus. Con el bit de signo, el ADC puede producir una efectiva resolución de 13 bits sobre su intervalo de signo bipolar que se extiende desde la escala negativa hasta la positiva. Con el bit de signo, también puede rendir 12 bits de resolución en el rango unipolar, que se extiende de cero hasta las escalas positiva y negativa. Así, la resolución de 12 bits es posible en los dos rangos (bipolar y unipolar) sin modificación de la entrada de 12 bits de la señal del ADC.

Las ganancias que se pueden habilitar son de 0.5, 1 y 2 por la entrada fija de 5V, rindiendo cuatro rangos de entrada de señal analógica. Estos rangos son: 0 a 10 V, ± 5 V, 0 a 5 V y $\pm 2.5V$.

Cuando es completada una conversión A/D, se almacena el resultado en los A/D arreglo FIFO. El A/D arreglo FIFO es de 16 bits de ancho y 16 palabras de fondo. Este arreglo FIFO sirve como buffer para los 12 bit plus de señal ADC y tiene dos ventajas. La primera, en cualquier tiempo una conversión A/D completa, el valor es salvado en el A/D arreglo FIFO para su posterior lectura, dejando libre el ADC para una nueva conversión. La segunda ventaja, es que el A/D arreglo FIFO puede coleccionar hasta 16 conversiones A/D antes de que cualquier conversión se pierda (16 veces el intervalo de la muestra) dándole tiempo al software a alcanzar al hardware. Si se sobrepasan mas de 16 muestras el A/D arreglo FIFO se satura y se pierde la información.

El A/D arreglo FIFO manda una señal que indica cuando contiene un dato de conversión, el estado de esta señal se puede leer en el registro de estado de la tarjeta.

La salida de signo 12 bits-plus del ADC, se encuentra en formato de complemento a dos. En modo de entrada unipolar (en configuración de 0 a 10 V o 0 a 5 V), el dato del ADC es

interpretado como un número positivo de 12 bits, en el rango de 0 a 4095. En modo de entrada bipolar (en configuración de $+5\text{ V}$ o $+2.5\text{ V}$), el dato del ADC es interpretado como un número de 13 bits en complemento a dos, en el rango que va desde -4096 a +4096. Las lecturas en el ADC pueden ser divididas en dos, produciendo lecturas de resolución de 12 bits, en el rango que va desde -2048 a +2048. la salida de signo de los 12bits-plus del ADC, es siempre extendido a 16 bits por medio de los circuitos de la tarjeta, así que los datos leídos del arreglo FIFO son de 16 bits de ancho.

El ADC en el PC-LPM-16 incluye un circuito de calibración para que hacer posible minimizar el cero su escala y los errores lineales. El ADC va a través de un ciclo de autocalibración bajo control de software. Para el uso adecuado de la autocalibración en el ADC, es necesaria una buena conexión de entrada, que no permita que se sume una señal significativa de nivel de offset y ganancia de error requerido. La entrada analógica del PC-LPM-16 esta diseñada para mantener los requerimientos de exactitud sin hacer ajustes.

Adquisición de Datos por Canal Individual.

Durante la adquisición de datos por canal individual, los bits de selección de canal en el Comando de Registro 1, selecciona el canal de entrada analógica antes de que se inicie la adquisición de datos. Este multiplexor muestra constantemente durante el proceso de entrada de adquisición de datos, por consiguiente, todos los datos de conversión del A/D esta leído desde un canal individual.

Adquisición por Canal Múltiple (Búsqueda)

El canal múltiple esta diseñado para permitir buscar durante la adquisición de datos. El canal múltiple, esta controlado por un contador de búsqueda.

Para operaciones de búsqueda, el contador de búsqueda va decreciendo desde el canal más alto (seleccionado por el usuario) a través del canal cero y entonces repite la secuencia. Así, cualquier numero de canales del 2 al 16 puede ser buscado. El intervalo de la entrada analógica, es utilizado para todos los canales en la secuencia de búsqueda.

Valores de Adquisición de Datos.

El máximo valor de datos adquiridos (número de muestras por segundo) está determinado por el período de conversión de adquisición de búsqueda y almacenamiento los 12 bits plus de signo del ADC. Durante la búsqueda del canal múltiple, el valor de adquisición está limitado por el tiempo de arreglo de la entrada de los multiplexores y amplificadores operacionales. Después de que la entrada del multiplexor está conectada, el amplificador debe poder asegurar el valor de la nueva señal de entrada, dentro de la exactitud de los 12 bits, antes de que se realice una conversión A/D, o la conversión no será archivada.

Si el valor de adquisición está excedido, el circuito de entrada analógica puede no presentar la exactitud de 12 bits, si este valor está excedido por más que algunos microsegundos, las conversiones A/D y la auto calibración pueden perderse. El máximo valor de adquisición para los casos de canal individual y multicanal, es 50 Kilomuestras/segundo, en todos los rangos de entrada excepto la unipolar. Típicamente, el máximo valor en el modo unipolar de 0 a 10 V es 45 Kilomuestras/segundo.

Este valor de adquisición recomendado, asume que los niveles de voltaje en todos los canales incluidos en la secuencia de búsqueda y están dentro del rango y son llevados por fuentes de baja impedancia. Los niveles de señal fuera de los rangos en los canales incluidos en la secuencia de búsqueda adversamente afecta la salida del ajuste de tiempo. Similarmente, grandes ajustes de tiempo pueden ser requeridos por canales llevados por fuentes de señal de alta impedancia.

Configuración de la Tarjeta

El PC-LPM-16 contiene tres jumpers y un DIP switch para configurar el bus de interfase del PC y direccionar las entradas analógicas. El DIP switch es usado para poner la base de dirección I/O. El jumper W3 selecciona el nivel de interrupción, los jumpers W1 y W2 configuran la circuitería de entradas analógicas. El DIP switch y los jumpers se muestran en las partes localizadas en el diagrama de la tabla 4.1.

La dirección I/O base para el PC-LPM-16 es determinada por la posición de los switches U34 (Ver tabla 5.1). Los switches están inicializados de fábrica para una dirección I/O base hex

260. Esa inicialización de fábrica es una dirección I/O base por default válida para paquetes de Software de National Instruments para el uso con el PC-LPM-16.

NOTA: *Se debe verificar que este espacio no este utilizado por otro equipo instalado en la computadora. Si otro equipo usa este espacio de dirección I/O base, se deberá de cambiar la dirección base del PC-LPM-16.*

Cada switch en U34 corresponde a una línea de dirección de la A9 a la A5. Presionando el lado marcado OFF para seleccionar un valor de uno en binario para corresponder a un bit de dirección. Presionar hacia el otro lado del switch para seleccionar un valor de cero binario para que corresponda a un bit de dirección. Los cinco bits de menor significancia de dirección (De A4 al A0) están decodificadas para el PC-LPM-16 para seleccionar el registro apropiado del PC-LPM-16.

PC-LPM-16	Direcciones utilizadas	Implementación del Hardware
Dirección I/O base	Hex 260	
Nivel de interrupción	Nivel de selección 5 elegido	W3: Fila 5
Entrada analógica	Entrada bipolar elegida ± 2.5 V	W1: B-C W2: B-C

Tabla 4.1

Software

Los fabricantes de tarjetas de adquisición de datos, proporcionan un conjunto de funciones que facilitan el manejo de su hardware, auxiliándose de lenguajes de programación como pueden ser Turbo C, Pascal, Basic, Ensamblador, etc.

Las tarjetas de National Instruments pueden programarse con los lenguajes citados, pero además tiene lenguajes propios como lo es el NI-DAQ o los paquetes gráficos LabWindows y LabView. El primero es un lenguaje del tipo C o Pascal; LabWindows y LabView utilizan lo que

se conoce como instrumentación virtual, la cual para programarse se presenta en dos bloques, una primer pantalla donde aparecen los gráficos de los instrumentos, y la pantalla propia de programación, en donde se encuentra la diferencia entre ambos, la cual es que en el primero se desarrolla en lenguaje C, y el segundo se programa por interconexión de iconos ya preprogramados en lenguaje C y orientado a objetos.

Por la facilidad que presenta la programación en LabView, se decidió desarrollar el sistema de monitoreo en este paquete.

La Instrumentación Virtual

Los instrumentos han evolucionado en términos de flexibilidad y grado en que se integran a los sistemas. En la primera generación de instrumentos, éstos eran controlados manualmente desde sus paneles frontales, y todas sus mediciones tenían que ser registradas en papel y observadas cuidadosamente. Los usuarios de éste tipo de instrumentos carecían de flexibilidad en cuanto al diseño de las interfases, capacidad de medición o computacional.

Con la invención del GPIB (General Purpose Interface Bus) y de instrumentos digitales, los usuarios pueden controlar los instrumentos de ambas maneras: manualmente y por programación.

Los instrumentos actuales, son una combinación de computadoras de propósito general y estaciones de trabajo, software gráfico, instrumentos programables y digitalizadores. Estos instrumentos optimizan el rendimiento de los sistemas de instrumentación utilizando programación de registros, memoria compartida y las ventajas que proporciona el uso de una computadora personal por su capacidad de adquisición y procesamiento de la información.

La *instrumentación virtual* combina el procesamiento digital de señales y herramientas de programación (software y hardware), dando lugar a que el usuario tenga una interfase programable de alto nivel. Los instrumentos virtuales proveen de gran flexibilidad, dejando la definición del instrumento en manos del usuario, ésto significa que cada instrumento programado puede ser tan completo como el usuario lo desee, teniendo ciertas limitaciones mismas que serán determinadas por el tipo de hardware que se utilice, así como también del software.

Para crear un instrumento virtual, debe utilizarse un análisis de datos para transformar los datos adquiridos o simulados en forma útil al usuario. combinando el análisis de datos con funciones de adquisición de datos y de control de instrumentos, pudiéndose definir la funcionalidad del instrumento independientemente del tipo de hardware de adquisición que se este utilizando.

Con lo anterior se puede construir instrumentos de acuerdo a la necesidad del usuario; éstos tienen la capacidad de monitorear y presentar la señal real en la pantalla de la computadora, la cual hace las veces del indicador, por ejemplo la de un multímetro, un osciloscopio, etc.

Se puede hacer también la instrumentación de otro tipo de fenómenos físicos, como lo es humedad, temperatura, conductividad, etc.. Esto se logra utilizando el transductor indicado para cada aplicación, caracterizándolo en la señal que proporcionan ya sea en corriente o voltaje.

LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)

LabView es una alternativa gráfica a la programación convencional, fue diseñado para instrumentación y está equipado con las herramientas necesarias para aplicaciones de medición y pruebas. En LabView, en lugar de escribir programas basados en texto, se construyen programas denominados Instrumentos Virtuales (VIs). Un VI en LabView, consiste de tres partes:

- Panel frontal. Es la interfase gráfica con el usuario.
- Diagrama de bloques. Es el código fuente gráfico del VI.
- Icono conector. Es la interfase de llamada a la rutina que contiene el código del VI.

Un diagrama de bloques contiene componentes de entrada/salida, de cálculo y subVIs representados por iconos e interconectados por líneas que guían el flujo de los datos. Los componentes de entrada y salida, comunican a LabView con las tarjetas de adquisición de datos o GPIB (también conocidas como IEEE 488) y con instrumentos físicos externos. Los componentes de cálculo ejecutan operaciones aritméticas y lógicas. Los subVIs llaman a otros VIs, pasando los datos por sus iconos/conectores.

La metodología de diagramas de bloques de LabView (lenguaje G) se basa en conceptos modernos de Programación Orientada a Objetos y flujo de datos. La programación por flujo de datos establece que un objeto no puede ejecutarse hasta que todos sus parámetros de entrada estén definidos, y sus parámetros de salida no están disponibles hasta que el objeto no haya concluido su ejecución. Por lo tanto, el flujo de datos entre objetos conectados entre sí es lo que establece el

orden de ejecución. Contrario a esto, un programa basado en texto restringe el orden de ejecución al orden secuencial en que se encuentran las líneas del programa. Libre de estas restricciones, se puede desarrollar una aplicación conectando bloques funcionales entre sí e incluso se puede indicar diferentes caminos de datos y por ende representar operaciones simultáneas. LabView es un sistema jerárquico, en donde cualquier VI puede servir como una subrutina para otro VI.

Al igual que en lenguajes de programación convencionales basados en texto, LabView contiene estructuras que controlan la ejecución de secuencias de comparación, condicionales e iterativas en el diagrama de bloques, entre ellas tenemos:

- a) La estructura SEQUENCE.
- b) La declaración CASE.
- c) El ciclo FOR.
- d) El ciclo WHILE.
- e) La estructura IF THEN.
- f) El nodo de fórmula

Estas estructuras están representadas como estructuras de borde (fig. 4.4). Su manejo es idéntico al de una estructura en lenguaje basado en texto.

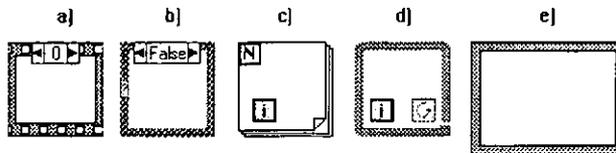


Figura 4.4 Estructuras de LabView

Dentro del ambiente de LabView se tienen tres niveles de VIs de adquisición (iconos) de datos:

- Easy I/O VIs. Iconos de adquisición de alto nivel.
- Intermediate VIs. Iconos de adquisición de nivel intermedio.
- Advanced VIs. Iconos de adquisición de bajo nivel. Al igual que en los lenguajes de programación, los iconos de bajo nivel proporcionan una mayor flexibilidad en cuanto al manejo de hardware con el que se cuenta. Los iconos de nivel intermedio y alto nivel están constituidos en base a los de bajo nivel.

Los iconos de alto nivel permiten realizar las operaciones básicas más comunes de entrada y salida. Son muy fáciles de usar pero no son muy flexibles o poderosos. En iconos de nivel intermedio se tiene mayor flexibilidad y mayor poder. En iconos de nivel intermedio se tiene una mayor flexibilidad y mayor poder para diseñar programas más complejos y de superior funcionalidad. Los iconos de bajo nivel son los VIs fundamentales a partir de los cuales se construyen los de nivel intermedio alto nivel. Debido a esto, son mucho más flexibles y poderosos. Todos los anteriores incluyen iconos para entradas y salidas analógicas o digitales, su uso depende de las características propias de cada aplicación que se desarrolle.

Programación Básica de la Tarjeta PC-LPM-16

Dentro de LabView se presenta un programa para dar de alta la dirección base I/O, los niveles de interrupción, así como el voltaje de las entradas analógicas; dichos valores deben corresponder con los valores seleccionados en el hardware. Esta programación se realiza en el icono WDAQConf, este programa se presenta mediante ventanas, en las que solo es necesario especificar los siguientes datos :

Número de dispositivo	1
Nombre del dispositivo	PC-LPM-16
Dirección base	0x320
Nivel IRQ	5
Entrada analógica	±2.5 V (bipolar)

Una vez programados éstos valores de inicialización, se realizan pruebas a la tarjeta para verificar su correcto funcionamiento, dichas pruebas son para las entradas analógicas, las entradas y salidas digitales, así como para los contadores. Después de dar de alta la tarjeta, es posible realizar la programación necesaria para hacer la adquisición de datos, así como cualquier control.

Programación en LabView

Para mostrar de un modo introductorio a la Instrumentación Virtual, se presenta un ejemplo de control de temperatura, el cual al sobrepasar un cierto nivel establecido enciende un ventilador de enfriamiento, o cuando disminuye demasiado la temperatura, enciende un calentador. La figura 4.5 muestra el panel frontal del control de temperatura.

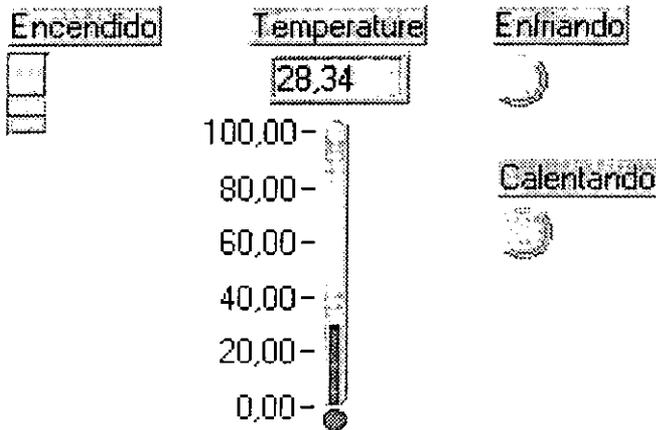


Figura 4.5 Panel frontal de un medidor de temperatura

De la figura 4.5 se pueden observar cuatro partes principales marcadas con las etiquetas:

- Encendido. Este gráfico simula un interruptor de dos posiciones encendido y apagado, el cual sirve para iniciar el programa.
- Temperatura. Se muestra en dos partes, la primera es un display que muestra la lectura de temperatura; la segunda es un termómetro simulado en el que se pueden ver los incrementos de temperatura.

- Enfriando. Es un led indicador de que se a arrancado el ventilador de enfriamiento.
- Calentando. Es un led indicador de que se a arrancado el calentador.

El código fuente del panel frontal anterior se presenta en la figura 4.6, en primer lugar se presenta un icono while que envuelve otros iconos y esta conectado al interruptor encendido, ésto es con la finalidad de que sea un ciclo continuo el cual terminará cuando se vuelva a accionar el interruptor.

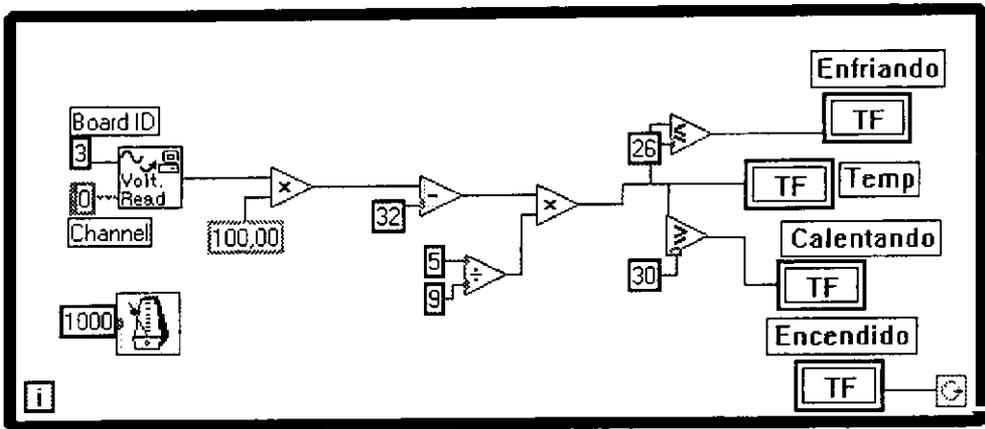


Figura 4.6 Diagrama de conexión del medidor de temperatura

El icono Volt Read adquiere voltaje, el cual nos proporciona lecturas en milivolt, éste se interconecta en principio con dos constantes, la primera (1) identifica el número de tarjeta de adquisición, el segundo número (0) direcciona el canal de adquisición; la salida esta conectada a un icono aritmético de multiplicación, el cual se multiplica por 100 para tener un valor mayor y simular una temperatura en grados Farenheit, al resultado obtenido de la operación anterior se le restan 32, al resultado de esta operación se le multiplica por 5/9 para tener lecturas en grados centígrados que es enviado directamente al panel frontal donde puede ser leído en el en el display indicado como temperatura; la lectura en grados centígrados también se aplica a los

íconos de comparación para tener los niveles mínimo y máximo establecidos en 20 y 30 °C respectivamente, los cuales pueden observarse en el panel frontal mediante los leds indicadores. Por último se encuentra en la parte inferior un icono retardador de tiempo conectado a la constante 100, con el de que las lecturas sean tomadas en intervalos de segundos.

Con éste ejemplo se puede observar la facilidad de la programación en instrumentación virtual, con el paquete de desarrollo LabView.

Diseño del Software

Para el diseño del software del nodo de adquisición de datos, por recomendación de los usuarios y para facilidad de lectura, se diseñó un panel frontal similar al del Sistema de Monitoreo de Radiación RMS-II, como se muestra en la siguiente figura:

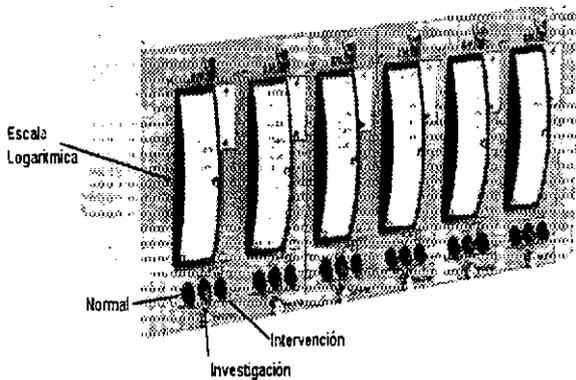


Figura 4.7 Sistema RMS-II

En la que sus partes principales son: la Escala Logarítmica en donde se toman las lecturas de la rapidez de exposición, lámpara indicadora de nivel Normal, lámpara indicadora de nivel de Investigación y lámpara indicadora de nivel de Intervención.

Tomando como base éstas partes se presenta el panel frontal del programa de adquisición de datos (Fig 4.8):

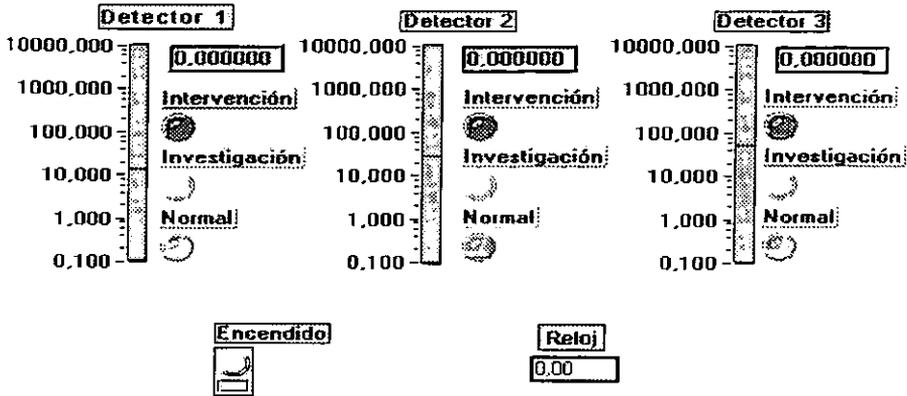


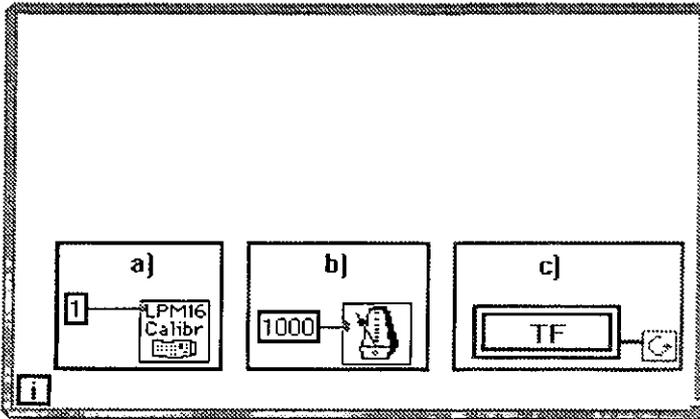
Figura 4.8 Panel frontal del nodo de adquisición de datos

Como se puede observar incluye las escalas logarítmicas, las lámparas de los niveles Normal, Investigación e Intervención, además incluye un botón de encendido del programa de adquisición y un display que muestra la hora actual.

Para describir El código fuente generado por el panel frontal anterior se presenta en tres partes que son las siguientes:

- Estructura WHILE.
- Adquisición de señales.
- Procesamiento de la señal.
- Archivo de las lecturas de alarma.

La estructura WHILE se utiliza para que el programa adquiriera datos mientras el botón de encendido se encuentre en un estado ON, la figura 4.9 muestra el código fuente de ésta estructura.



- a) Auto calibración de la tarjeta PC-LPM16.**
b) Retardo de tiempo.
c) Control del ciclo de adquisición de datos.

Figura 4.9 Estructura WHILE utilizada

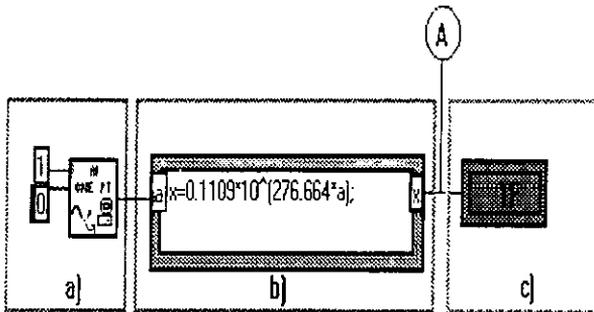
La estructura WHILE ejecuta tres bloques como se muestra en la figura anterior, aunque el orden de ejecución no es alfabético, el funcionamiento de cada uno de éstos bloques se describe como sigue:

- a) Autocalibración de la tarjeta PC-LPM-16, en el se muestra el icono de autocalibración propio de la tarjeta, ésta autocalibración consiste en que la tarjeta sensa voltajes predeterminados en sus terminales de entrada analógica, así como las entradas y salidas digitales y temporizadores, con el fin de que las lecturas que se tengan sean reales; el número 1 indica de que número de dispositivo se trata, como se describió anteriormente en la programación básica de la tarjeta.
- b) Retardo de tiempo, éste retardo de tiempo se refiere a como va a ser el tiempo de muestreo de la tarjeta, en éste caso se utiliza un retardo de tiempo de 1000, con el fin de que las muestra se tomen cada segundo.
- c) Ciclo de adquisición de datos, inicia cuanto en el panel frontal se acciona el botón de

encendido y termino cuando se vuelve a pulsar.

En la figura 4.9 se muestra un icono marcado con la letra i, la cual sirve para indicar el número de iteración en el cual se encuentra el programa, puede ser conectado a un display del panel frontal, en nuestro caso no se utiliza ya que el número de iteraciones llega a ser muy grande y no es necesario tener su conocimiento. En el ciclo WHILE, además de los bloques indicados, se encuentran las subrutinas de adquisición y procesamiento de la señal y de archivo de las lecturas de alarma.

La figura 4.10 muestra la programación de la rutina de adquisición y procesamiento de la señal.



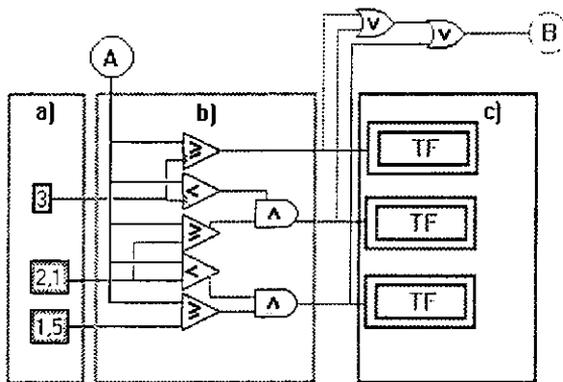
- a) Adquisición de datos.
- b) Aplicación de un nodo fórmula
- c) Nodo atributo del display del panel frontal

Figura 4.10 Rutina de adquisición de datos

- a) Adquisición de datos. La adquisición de datos se hace por canal analógico individual, con el fin de poder conectar el número deseado de detectores a cada nodo, en éste icono de canal individual se debe especificar el número de dispositivo de la tarjeta, que en nuestro caso es el 1, también se interconecta con otra constante que indica que canal esta haciendo la adquisición de los datos, las lecturas que toma son de voltaje proveniente del canal electrónico que se ha conectado.

- b) Aplicación de un nodo fórmula. La lectura tomada por el canal analógico, como ya se mencionó es de voltajes, como lo que se debe desplegar en el panel frontal es rapidez de exposición se debe hacer una correlación de voltaje a ésta rapidez, ésto lo logramos utilizando la relación calculada en el capítulo anterior, la aplicación se hace mediante un nodo fórmula, el que la lectura del voltaje se relaciona con la variable "a", de tal manera que x está en función de "a" y así tenemos ya la rapidez de exposición para cualquier valor de voltaje.
- c) Nodo atributo del display del panel frontal. Este icono marcado con las siglas TF es la relación del display del panel frontal denominado "Detector 1", así el valor resultado de la operación del nodo fórmula será desplegado en el panel frontal con unidades de rapidez de exposición.

El punto marcado con la letra "A" es el punto de interconexión con el bloque de la figura 4.11, en donde se hace un procesamiento de los valores de rapidez de exposición.

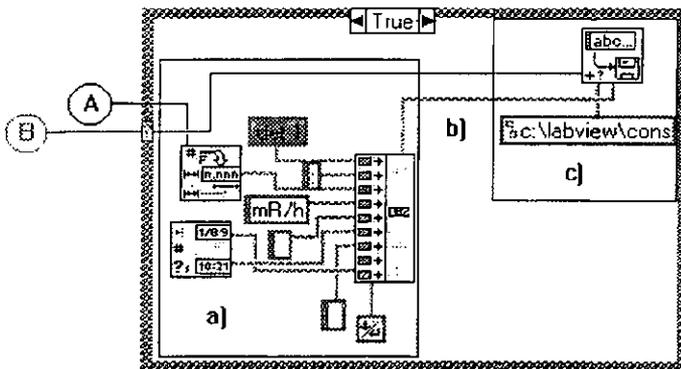


- a) Niveles de referencia.**
b) Comparación lecturas vs. Niveles de referencia.
c) Nodos atributos de los leds indicadores de estado.

4.11 Procesamiento de la señal de rapidez de exposición

- a) Niveles de referencia. Los niveles de referencia son los valores a los cuales se van a disparar las alarmas de Normal, Investigación e Intervención, los valores representados en la figura 4.11, son los niveles autorizados para el Laboratorio de Materiales Radiactivos (antes Producción de Radioisótopos P.R.I).
- b) Comparación de lecturas contra niveles de referencia. Aquí los valores de rapidez de exposición se comparan contra los niveles de referencia, de tal modo que la señal de un nivel normal se debe de encontrar en el intervalo $1.5 \leq x < 2.1$; para que se dispare la alarma de investigación la lectura de rapidez de exposición debe de encontrarse en el intervalo de $2.1 \leq x < 3$ y por último para que se dispare la alarma de intervención la lectura debe encontrarse en el intervalo de $x \geq 3$. Las lecturas son tomadas del punto de interconexión "A".
- c) Nodos atributo de los leds indicadores de estado. Al cumplirse cualquiera de las condiciones del inciso anterior ya sea Normal, Investigación o intervención, la señal de que se ha cumplido es desplegada por los leds indicadores de estado del panel frontal, siendo Verde el nivel Normal, Amarillo Investigación y Rojo Intervención.

El punto de interconexión "B" servirá para dar la señal que deberá abrir el archivo de los niveles de alarma, dicho bloque se muestra en la figura 4.12.



- a) Arreglo del archivo de salida
 b) Formato binario del archivo de salida.
 c) Ruta de acceso del archivo de salida.

Figura 4.12 Rutina de archivo de alarmas

det 1:0,m/h 11:12 A 07/08/norma
det 1:0,110900mR/h 11:12 A 07/08/norma
det 1:0,110900mR/h 11:12 A 07/08/norma
det 1:0,110900mR/h 11:13 A 07/08/norma
det 1:0,110900mR/h 11:13 A 07/08/norma
det 1:0,241355mR/h 11:13 A 07/08/norma
det 1:0,525268mR/h 11:13 A 07/08/norma
det 1:1,143156mR/h 11:13 A 07/08/norma
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion

det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion

det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:5,414453mR/h 11:13 A 07/08/intervención
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:5,414453mR/h 11:13 A 07/08/intervención
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:5,414453mR/h 11:13 A 07/08/intervención
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion
det 1:2,487883mR/h 11:13 A 07/08/97Investigacion

Conclusiones

- Se tiene un control detallado de los niveles de radiación ambiental en áreas controladas y restringidas dentro del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), para una oportuna toma de decisiones en caso de una emergencia.

- La utilización de un circuito de adquisición de datos para el desarrollo de los nodos que realizarán un preprocesamiento por almacenamiento local es buena y presenta las ventajas de poder manejarse varias señales al mismo tiempo.

- El programar utilizando el software de aplicación LabView, representó una gran ayuda ya que es sencillo y muy amigable al usuario, el número de detectores por nodo que se pueden conectar depende del tipo de computador, así como del tipo de tarjeta de adquisición utilizada, más no del programa.

- Dependiendo de la topología de red que se utilice, será el número de nodos conectados a futuro.

- Se pueden interconectar otro tipo de detectores (transductores) como pueden ser de temperatura, humedad, conductividad, etc..

- La información es preprocesada en cada nodo antes de ser enviada al computador central de la red. Almacenándose en forma parcial en cada nodo, para evitar una posible pérdida en caso de falla de la red.

- Información rápida y veraz de los acontecimientos en áreas controladas, al ser comparados las lecturas que presenta el programa y las reales en el sistema RMS-II.

- Poder ofrecer el servicio de monitoreo en red o aislado a instituciones que presenten las mismas necesidades que el ININ.

- La continuidad de este proyecto es viable, ya que se inició con la interconexión en red de los diferentes nodos.

- El programa puede ser compilado a través del Toolkit "Application Builder, con el fin de no tener cargado LabView en los nodos, así también para que no pueda ser alterado el programa por los usuarios de la red.

- Al utilizar LabView como herramienta de desarrollo en laboratorios, se puede bajar el costo de equipos necesarios, ya que una misma tarjeta de adquisición de datos puede servir como medidor de voltaje, corriente, etc.

- Las aplicaciones en LabView pueden ser tan completas como el usuario lo desee, ya que las restricciones dependen en mayor parte al PC que se utilice.

GLOSARIO

Actividad. Es el número de transiciones nucleares espontáneas que ocurren por unidad de tiempo (desintegraciones por segundo) en una cantidad dada de material radiactivo. Formalmente, la actividad A , de una cantidad dada de material radiactivo, es el cociente dN entre dt : siendo dN el número de transiciones nucleares espontáneas que ocurren en el intervalo dt :

$$A = \frac{dN}{dt}$$

El nombre específico de la unidad de actividad en el Sistema Internacional es el Bequerel [**Bq**], 1 Bq= 1 desintegración/seg. El Curie es una unidad especial de actividad no perteneciente al Sistema Internacional.

$$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$$

Arreglo FIFO. Es un tipo de arreglo de entrada y salida en la que el primero que entra es el primero que sale, en el momento de adquisición de datos.

Certificado de calibración. Es el documento expedido por un laboratorio autorizado y bajo un procedimiento específico en donde se hace constar la correspondencia entre la magnitud a medir y la lectura del instrumento.

Concentración derivada en aire (CDA). Es un límite derivado que designa la concentración en aire que, de ser respirada por un trabajador durante un año laboral de 2,000 Horas, a un ritmo de respiración de $1.2\text{m}^3 \text{h}^{-1}$, se alcanzaría el límite anual de incorporación (LAI).

Dosis absorbida. Es la energía depositada por la radiación ionizante en la materia.

Técnicamente, la dosis absorbida D , se define como el cociente dE entre dm , donde dE es la energía promedio depositada por la radiación ionizante una masa dm .

$$D = \frac{dE}{dm}$$

La unidad es el Gray [GY], donde:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J Kg}^{-1} \quad (1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J Kg}^{-1})$$

como unidad especial y en desuso es el rad:

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ GY}$$

Dosis equivalente. Para los fines de protección radiológica se ha encontrado conveniente introducir una magnitud física que correlacione la dosis absorbida con los efectos deletéreos más importantes de la exposición a la radiación, en particular con los efectos estocásticos tardíos. La dosis equivalente es la cantidad que resulta de la ecuación: $H = DQN$, donde D es la dosis absorbida en Gy, Q es el factor de calidad y N es el producto de todos los demás factores modificantes, tomándose por ahora un valor para N igual a la unidad. El nombre específico para la unidad de dosis equivalente es el Sievert [Sv]. El rem es la unidad especial que se usaba anteriormente. $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

Efectos estocásticos. Efectos que aparentemente no tienen una dosis de umbral a partir de la cual se manifiestan, la probabilidad de que ocurra el efecto independientemente de su severidad, se considera una función de la dosis.

Efectos no estocásticos. Efectos de la radiación para los que existe un umbral por encima del cual la gravedad del efecto varía con la dosis.

Efluente radiactivo. Materiales radiactivos líquidos o en forma de aerosol que son descargados al medio ambiente.

Exposición. Término utilizado en protección radiológica, tanto en el sentido de magnitud definida específicamente, como el sentido general.

Como magnitud: La exposición es el cociente entre dQ y dm , siendo dQ , el valor absoluto de la carga total de los iones de un mismo signo, producidos en aire cuando todos los electrones y positrones liberados por los fotones incidentes en una masa de aire dm , se detienen completamente en este medio.

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Su unidad es el $C \cdot Kg^{-1}$

aún es utilizada la unidad especial el Roentgen [R].

$$1 R = 2.58 \times 10^{-4} C Kg^{-1}$$

Factor de calidad. Factor que ponderando, la dosis absorbida estima el daño biológico a nivel celular y en función del poder de frenado por colisión en agua. Los valores de Q han sido especificados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR).

Fuente abierta. Es todo aquel material radiactivo que durante su utilización puede entrar en contacto directo con el ambiente.

Fuente de radiación ionizante . Es un dispositivo, material o sustancia que emite o es capaz de generar radiaciones ionizantes.

Fuente sellada. Es todo aquel material radiactivo permanentemente incorporado a un material y encerrado en una cápsula hermética, con resistencia mecánica suficiente para impedir el escape del radionúclido o la dispersión de la sustancia radiactiva en las condiciones previsibles de utilización y desgaste.

Instalación radiactiva. Es la instalación donde se producen, manipulan, usan o almacenan equipos productores de radiación ionizante, materiales radiactivos o equipos que los contengan.

Límite. Es el valor de una magnitud, aplicado a circunstancias específicas, que no debe ser rebasado.

Nivel de radiación. Es la rapidez de exposición en Roengen por hora (R/h), o miliroentgen por hora (mR/h), o la rapidez de dosis equivalente expresada en milisieverts por hora (mSv/h), antes en milirems por hora (mrem/h), definidos para un punto específico para un campo de radiación.

Niveles de referencia. Son valores establecidos para cada instalación nuclear y radiactiva o tipo de actividad de ciertos parámetros relacionados con la protección radiológica, que al ser alcanzados y rebasados, implican una determinada acción por parte del usuario o de la autoridad competente.

Personal ocupacionalmente expuesto (POE). Es aquel que en ejercicio y con motivo de su ocupación está expuesto a radiación ionizante o a la incorporación de material radiactivo. Quedan excluidos los trabajadores que ocasionalmente, en el curso de su trabajo, puedan estar expuestos a este tipo de radiación, siempre que la dosis equivalente efectiva anual que reciban no exceda el límite establecido para el público.

Radiación ionizante. Toda radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir iones directa o indirectamente, debido a su interacción con la materia.

$$X = \frac{dx}{dt}$$

Rapidez de exposición. Es el cociente entre dX y dt , siendo dX el incremento de la exposición en el intervalo de tiempo dt . Sus unidades son (R/h) o C/Kgh.

Rapidez de dosis. Es el cociente entre dD y dt , siendo dD el incremento de la dosis en el medio, en un intervalo de tiempo dt .

$$X = \frac{dD}{dt}$$

Vi .Abreviación de instrumento virtual

Vida media biológica. Es el tiempo necesario para que la mitad de una sustancia incorporada sea excretada del cuerpo, de un órgano o tejido.

Vida media física. Es el tiempo requerido para que un radionúclido disminuya el 50% de su actividad, mediante decaimiento radiactivo. Cada radionúclido tiene vida media física propia.

Vigilancia radiológica ambiental. Son un conjunto de actividades realizadas para verificar que las dosis de radiación recibidas por el público de los alrededores de las instalaciones, no sobrepasen los límites autorizados por la autoridad competente y se cumpla con la filosofía de ALARA.

Zona controlada. Es aquella en la que bajo condiciones normales de trabajo, los niveles de radiación son tales que la dosis equivalente total acumulada en un año, corresponde a las condiciones de trabajo.

Zona restringida. Es aquella en la que bajo condiciones normales de trabajo, los niveles de radiación son tales que la dosis equivalente total acumulada en un año, corresponde a las condiciones de trabajo tipo "A", ésta equivale a la zona de alta radiación.

Bibliografía.

LA ENERGIA ATOMICA SUS PRINCIPIOS

Y FUNDAMENTOS BASICOS.

GLASSTONE, SAMUEL.

ED. CONTINENTAL, MEXICO, 1975.

MANUAL TECNICO DE PROTECCION RADIOLOGICA.

AUTORES VARIOS.

ED. ININ, MEXICO, 1989.

MANUAL DE USUARIO PC-LPM-16

NATIONAL INSTRUMENTS, AUSTIN TX., 1993.

LA RADIATIVIDAD.

BULBULIAN, SILVIA.

FONDO DE CULTURA ECONOMICA, MEXICO, 1991.

PRINCIPLES OF RADIOISOTOPE METHODOLOGY

L. RABINOWITZ, JOSEPH.

D. CHASE, GRAFTON

BURGESS PUBLISHIN COMPANY, MINNEAPOLIS, 1967.

REGAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLOGICA

REGLAMENTO INTERNO

ININ, MEXICO, 1993.

REGLAMENTO GENERAL DE SEGURIDAD RADIOLOGICA
COMISION NACIONAL DE SEGURIDAD
NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS, MEXICO, 1988.

FUNDAMENTOS DE ENERGIA NUCLEAR
THOMAS J. CONNOLY
ED. LIMUSA, MEXICO, 1983.

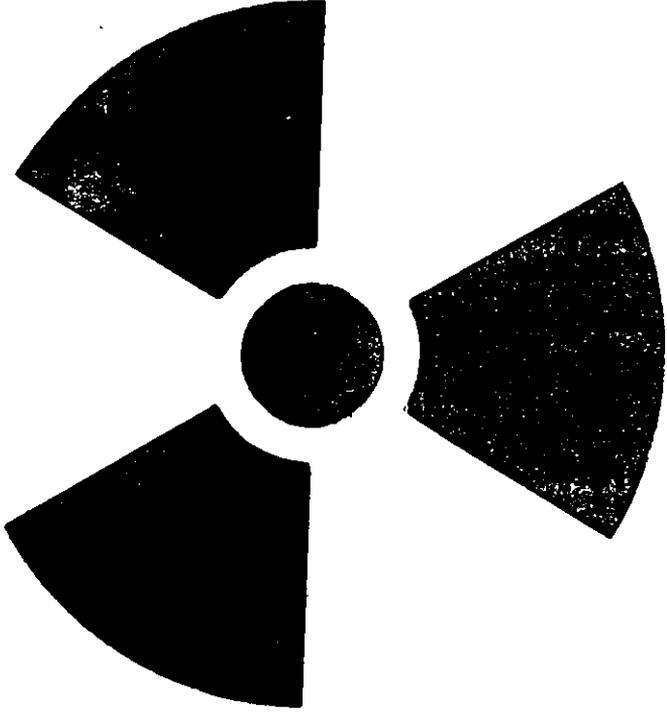
LabVIEW USER MANUAL FOR WINDOWS.
NATIONAL INSTRUMENTS, E. U. A., 1994.

LabVIEW DATA ADQUISITION VI REFERENCE MANUAL FOR WINDOWS
NATIONAL INSTRUMENTS, E. U. A., 1994.

LabVIEW ANALYSIS VI REFERENCE MANUAL.
NATIONAL INSTRUMENTS, E. U. A., 1994.

ANEXO I
SEÑALAMIENTOS DE RADIACION IONIZANTE

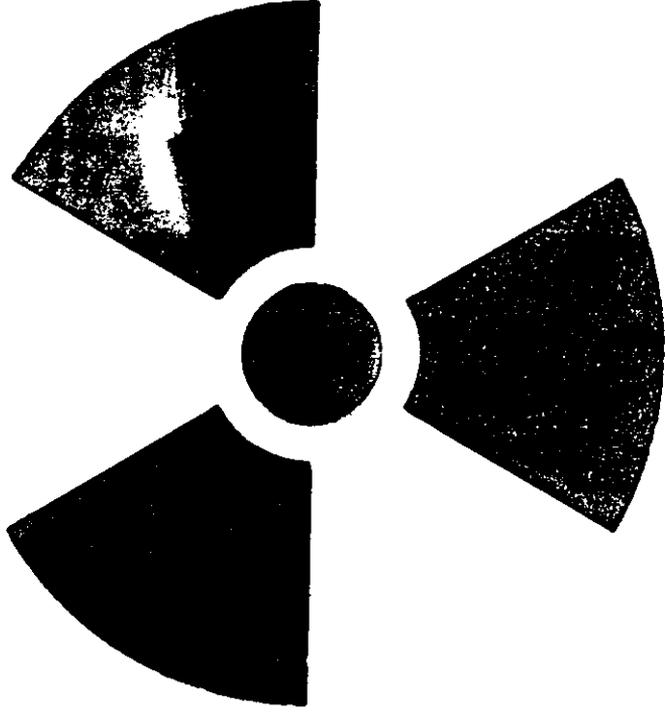
ZONA CONTROLADA



ACCESO REGLAMENTADO

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

ZONA RESTRINGIDA



ACCESO CON AUTORIZACION

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

ANEXO II
PUNTOS DE INTERCONEXION DEL RMS-II

SECTION II
RACK UNIT

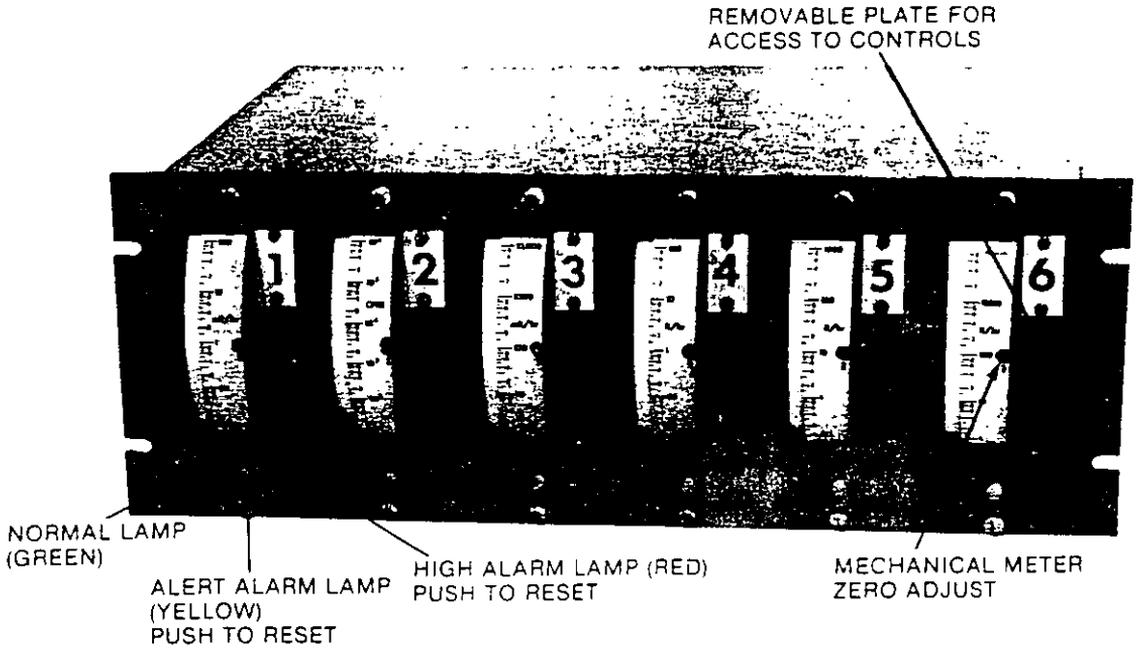


Figure 2-1. Rack Unit, Front

MODEL RMS II

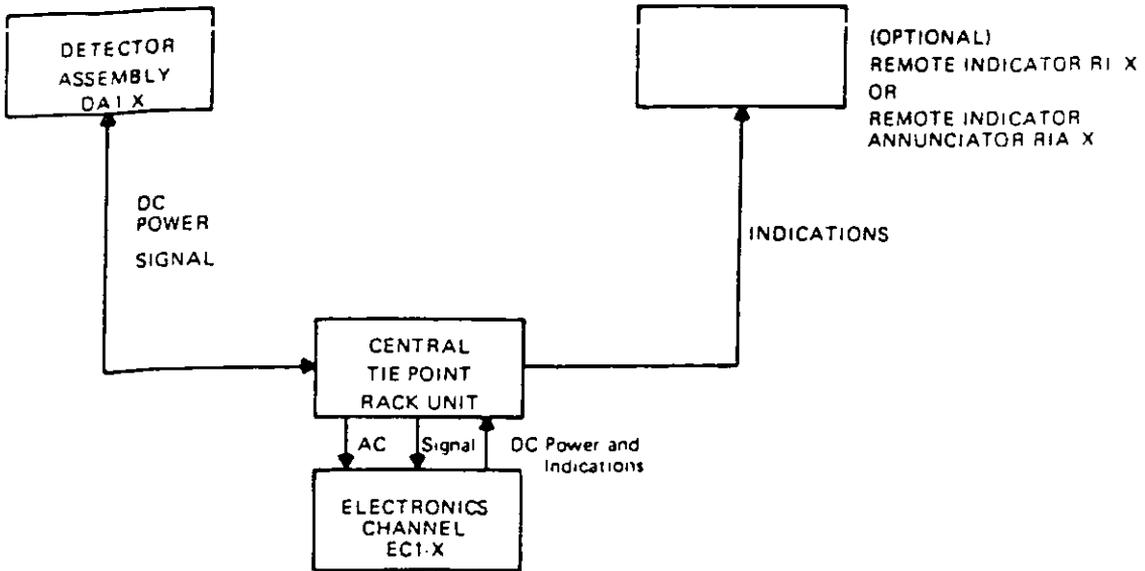
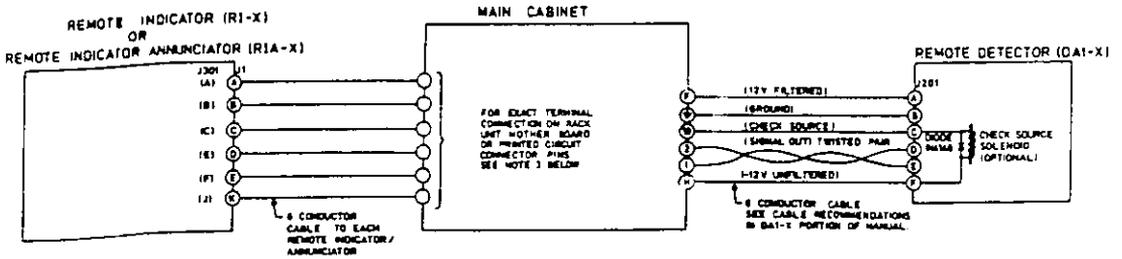


Figure 1-2. RMS II System Block Diagram



NOTES

1. TERMINALS IN PARENTHESES ARE PINS OF 1201 ON REMOTE INDICATOR
2. TERMINALS IN CIRCLES ARE PINS OF 121 ON REMOTE INDICATOR ANNUNCIATOR
3. FOR EXACT WIRING OF REMOTE INDICATOR OR REMOTE INDICATOR ANNUNCIATOR SEE APPLICABLE PORTION OF TECH MANUAL AS FOLLOWS

TYPE INDICATOR	INTERCONNECTING CABLE
RI-X	SECTION VI C.3.
RIA-X	SECTION VI C.2.

4. FOR EITHER TYPE OF REMOTE INDICATOR/ANNUNCIATOR A NUMBER IS REQUIRED ON THE RACK UNIT MOTHER BOARD OR THE ELECTRONIC CHANNEL PRINTED CIRCUIT CONNECTOR SEE 3 ABOVE

Figure 1-3. RMS II Typical Interconnection

MODEL RMS II
RACK UNIT

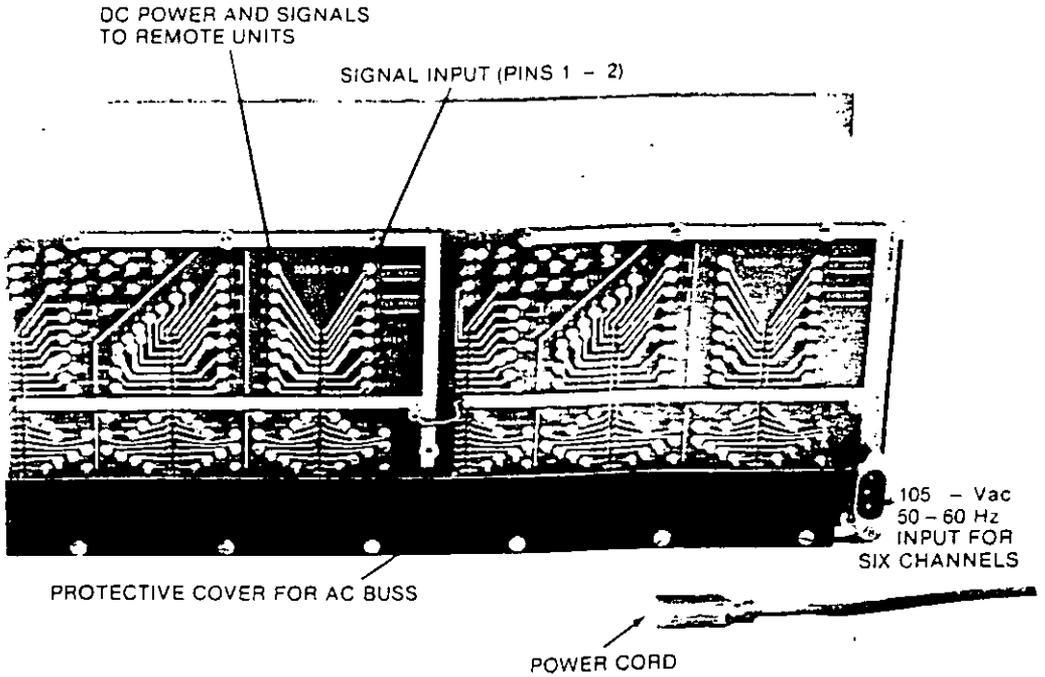


Figure 2-2. Rack Unit, Back

ANEXO III
ESPECIFICACIONES DEL DETECTOR DA1-X

MODEL RMS II

**SECTION III
DA1-1 AND DA1-6
GM DETECTOR ASSEMBLIES**

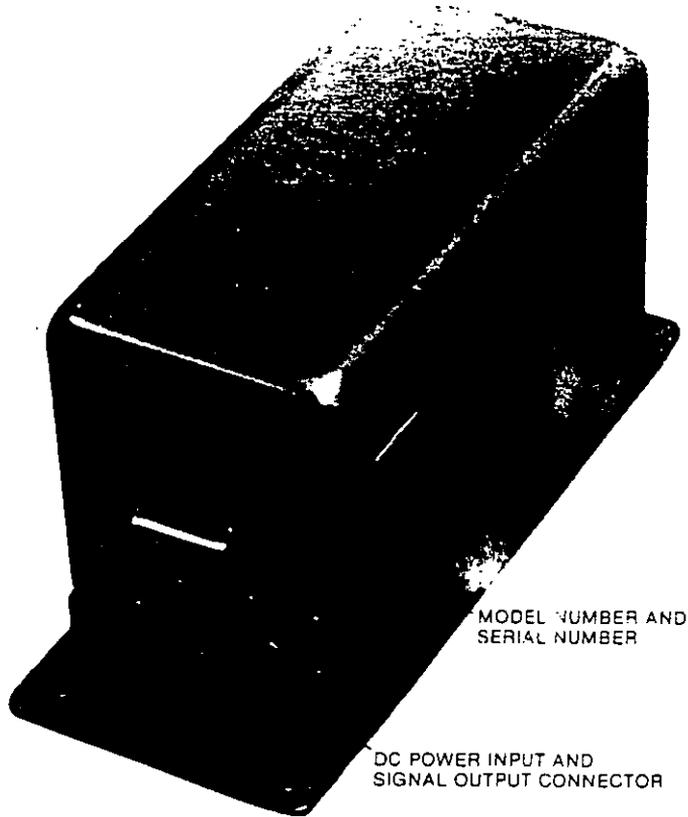


Figure 3-1. Model DA1-1 and DA1-6

MODEL RMS II
DAI-1 AND DAI-6

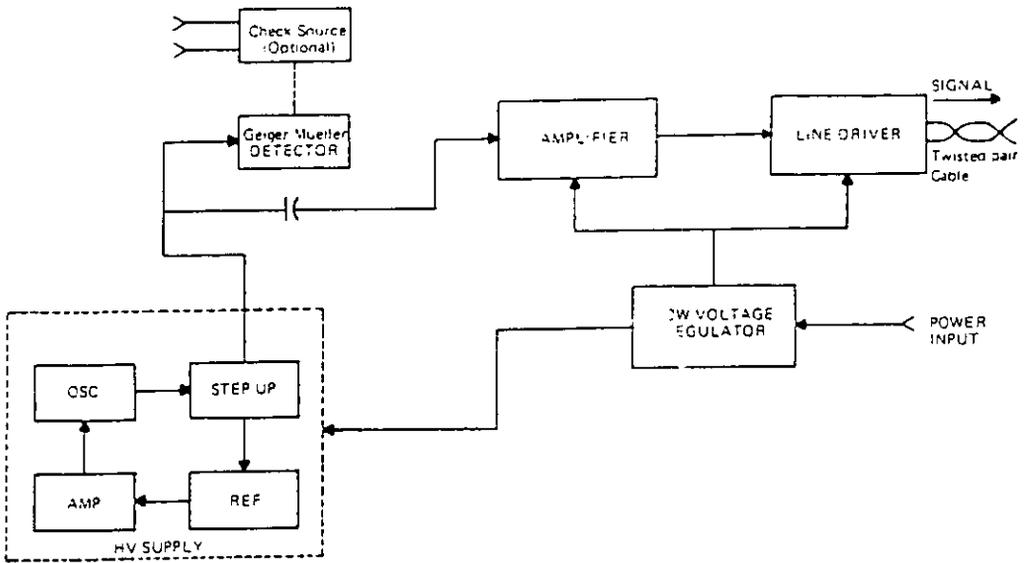


Figure 3-2. DAI-1 and DAI-6 System Block Diagram

MODEL RMS II

SECTION III DA1-1 AND DA1-6

A. PURPOSE AND DESCRIPTION

Remote detector assemblies DA1-1 and DA1-6 are GM type detectors. They contain their own high voltage supply, pulse amplifier, low voltage regulation and line driver. Low voltage power is supplied by the system electronics channel (EC1).

The wall-mounted assembly may also contain a check source assembly (optional) that is operated remotely by pushing the *NORMAL* light on the front panel of its electronics channel.

The signal from the detector is amplified and then processed by a line driver. The signal is carried on a twisted-pair cable to the electronics channel where it is processed and read out as dose rate.

The DA1-1 and DA1-6 differ only in the type of GM tube used and the high voltage generated for those tubes.

B. SPECIFICATIONS

1. Mechanical

a. Size: 9.5 inches high x 3.9 inches wide x 4.85 inches deep (24.1 cm x 9.9 cm x 12.3 cm).

b. Weight: 2.50 pounds (1.13 kg). Add 0.25 pounds (0.1 kg) if the check source option is installed.

2. Sensitivity

DA1-1 — 0.01 to 100 mR/h [approximately 1200 counts per minute (cpm) per mR/h].

DA1-6 — 0.1 to 10,000 mR/h (approximately 80 cpm per mR/h).

3. Low Voltage

Filtered +12 Vdc at 50 mA. Optional check source requires unfiltered ± 12 Vdc at 200 mA when actuated. All power is supplied by the electronics channel.

4. High Voltage

Internal high voltage supply +900 Vdc for DA1-1 and +500 Vdc for DA1-6.

5. Output: 3.4 Vdc (nominal) alternating polarity into a twisted-pair cable. Maximum normal cable length is 5000 feet (1523 m). Use 18-gauge wire if cable run is more than 2000 feet.

6. Mounting

Mounted with four screws through the back plate. The unit may be mounted in any position.

7. Connections

Signal output and power input:

Amphenol J201 connector mates with Amphenol 165-10.

8. Saturation

DA1-1 — Remains operational to 10 R/h field.

DA1-6 — Remains operational to 1000 R/h field.

C. OPERATION

1. Installation: Mount to any flat surface using the four holes in the back plate.

2. Mating Units: DA1-1 with EC1-1, DA1-6 with EC1-8.

3. Connections: P201 mates to J201. P201 is Amphenol 165-10. Connections to rack unit mother board are made to the position selected for that particular channel. Make sure wire size is compatible to power requirements and cable length.

<u>P201 Pin</u>	<u>Rack Unit</u>	<u>Description</u>
A	F	+12 Vdc filtered
B	GND	Ground (Common)
C*	19	Check Source Command
D	1	Signal Cable
E	2	Twisted Pair
F*	H	-12 Vdc unfiltered

*Connect only if check source option is installed.

With the above connections made, the electronics channel installed, and the rack unit plugged in, the unit is operational.

ANEXO IV
ESPECIFICACIONES DEL CANAL ELECTRONICO EC1-X

MODEL RMS II

SECTION V
EC1-1 THROUGH EC1-8

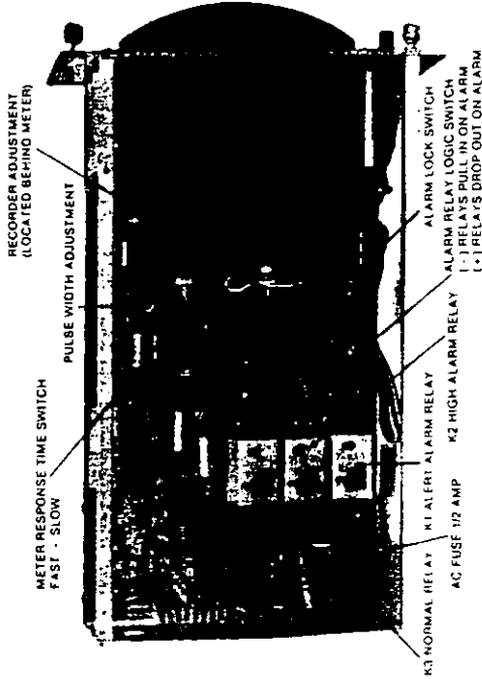


Figure 5-2. Model EC1-1 through EC1-8, Side One

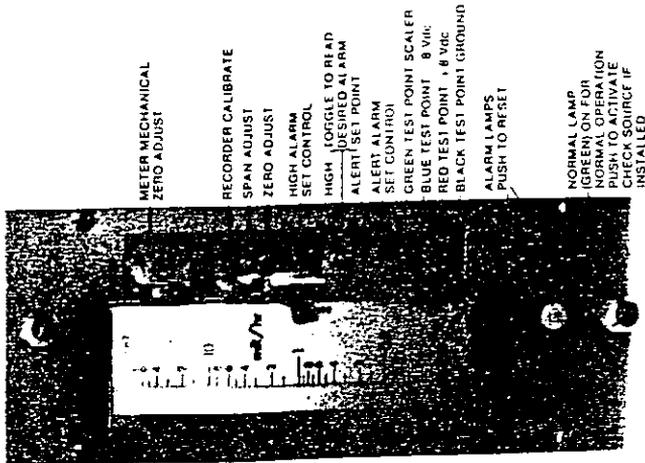


Figure 5-1. Model EC1-1 through EC1-8

SECTION V

EC1-1 THROUGH EC1-8

A. PURPOSE AND DESCRIPTION

The electronics channels (EC1-1 through EC1-8) receive the signal from the detector assembly, process the signal and display the information in dose rate on the meter.

The electronics channels also provide the low voltage to the detector assembly.

Each channel contains its own low voltage supply, electronics for signal processing, readout, and alarm sensing and display. Controls for calibration of these circuits are accessible through the front panel and may be adjusted while the channels are in operation.

The readout meter, three alarm lights, and resets are on the front panel. The reset switches are built into the alarm lights. If the optional check source assembly is installed in the remote detectors, it is actuated by pushing the *NORMAL* light. Alarms can be either locking or non-locking by an internal control.

The EC1-1 through EC1-8 differ only in the meter face installed.

B. SPECIFICATIONS

1. Mechanical

a. Size: 2.85 inches wide x 7 inches high x 11.75 inches deep (7.24 cm x 17.8 cm x 29.8 cm).

b. Weight: 3.75 pounds (1.70 kg).

2. Sensitivity (meter face markings):

EC1-1: 0.01 to 100 mR/h
 EC1-8: 0.1 to 10,000 mR/h
 EC1-3: 1.0 to 10,000 mR/h
 EC1-4: 0.01 to 100 R/h
 EC1-5: 0.1 to 1000 R/h
 EC1-6: 1.0 to 10,000 R/h

3. Indicators

a. Meter

(1) Scale: Four- or five-decade logarithmic depending upon series number.

(2) Scale Length: 3.87 inches (9.83 cm) mounted vertically.

(3) Response Time: Varies continuously with count rate. Generally, the time is set during calibration for the optimum in fluctuation and speed of reading.

(4) Linearity: ± 10 percent of reading typical. ± 25 percent reading maximum.

b. High and Alert Alarms

Exceeding the alarm set point lights a lamp on the front panel (red for *HIGH* alarm, yellow for *ALERT* alarm) and changes the state of alarm relay(s) for external indication. The alarm relays can either pull in at alarm (-logic) or drop out at alarm (+logic), selectable by an internal switch (S-8).

An internal control (S-7) allows alarms to be either locking or non-locking. Reset or a locking alarm is accomplished by pushing the lighted lamp on the front panel or by grounding the external reset line.

4. Connections

a. Signal Input: A twisted-pair cable connected to the printed circuit board connector pins 1 and 2. The input pulse height must be approximately +3.4 Vdc.

b. Relay contact rating is 120 Vac at 2.0 A resistive.

5. Temperature Dependence: Less than 20 percent meter reading change from 50 °F to 120 °F (10 °C to 49 °C).

6. Power Requirements: 105-125 Vac, 50-60 Hz, 0.16 A (supplied by the rack unit).

C. OPERATION

1. Installation: Slide the channel into the rack unit selected for that particular channel. When seated firmly, tighten the two holding screws.

2. Mating Units:

EC1-1 with DA1-1 and RI-1 or RIA-1
 EC1-8 with DA1-6 and RI-8 or RIA-8
 EC1-3 with DA1-4* and RI-3 or RIA-3
 EC1-4 with DA1-4* and RI-4 or RIA-4
 EC1-5 with DA1-5* and RI-5 or RIA-5
 EC1-6 with DA1-5* and RI-6 or RIA-6

*The DA1-4 and DA1-5 have been superseded by the DA1-8

ANEXO V
CERTIFICADO DE CALIBRACION DE LOS DETECTORES



instituto nacional de investigaciones nucleares

**GERENCIA DE SEGURIDAD RADIOLOGICA
CENTRO DE METROLOGIA DE RADIACIONES IONIZANTES
LABORATORIO SECUNDARIO DE CALIBRACION DOSIMETRICA**

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha: 27 de enero de 1997 . CERTIFICADO No: **015-97-G** LSCD No: **028**

USUARIO: ININ, DEPTO. PROTECCION RADIOLOGICA.
DOMICILIO: Centro Nuclear, Salazar.
ESTADO: México. C.P. 52045

Tipo de Instrumento: Geiger Muller.

Lector		Detector	
Marca	EBERLINE	Marca	EBERLINE
Modelo	RMS II EC1-8	Modelo	DA1-6
Serie	3512	Serie	3457

Resultados:

	INTERVALO	V.C.V. mR/h	FACTOR DE CALIBRACION (x)	ISOTOPO O ENERGIA
1	0 a 10,000	8,000.0	0.97 ± 15.0	137Cs
2	0 a 100	20.0	1.00 ± 15.0	

FECHA DE CALIBRACION: 14 de enero de 1997.

Observaciones:
Se ajustaron los niveles de alarma :
Alerta ; 10.0 mR/h
Alta ; 100.0 mR/h

(Véase las notas al reverso de esta hoja)



Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

ANEXO VI

PANEL FRONTAL DE CONEXION DEL VI

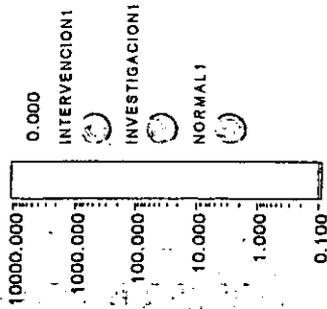
Front Panel

7/13/00

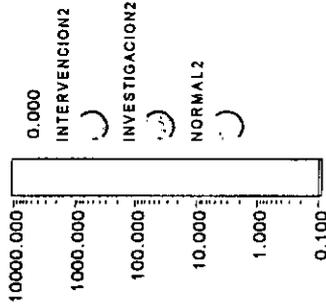
8:30 AM

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

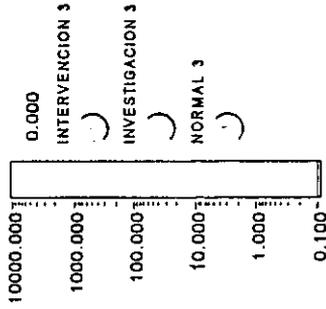
Detector 1



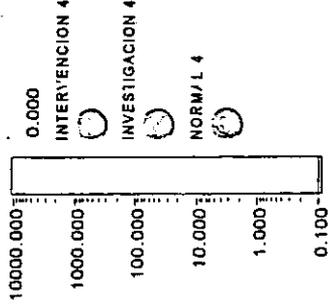
Detector 2



Detector 3



Detector 4



SALIR

Block Diagram

