



MX0500296

XVI Congreso Anual de la SNM y XXIII Reunión Anual de la SMSR
XVI SNM Annual Meeting and XXIII SMSR Annual Meeting
Oaxaca, Oaxaca, México, Julio 10-13, 2005 / Oaxaca, Oaxaca, México, July 10-13, 2005

Sistema de Monitoreo de Radiación Gamma tipo Portal para Vehículos

Raúl Mario Vázquez Cervantes y Gustavo Molina
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Km 33.5 Carretera México - Toluca
rmvc@nuclear.inin.mx; gm@nuclear.inin.mx

Efrén Gutiérrez Ocampo
Francisco Javier Ramírez Jiménez
José Manuel García Hernández
Miguel Ángel Aguilar Bautista
Alejandro Evaristo Vilchis Pineda
Pedro Cruz Estrada
Marco Antonio Torres Bribiesca
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Km 33.5 Carretera México - Toluca

Resumen

Se presenta un sistema de monitoreo de radiación gamma para vehículos del tipo portal desarrollado en el ININ. Dicho sistema realiza el monitoreo radiológico de los vehículos en forma continua, detectando el fondo radiológico ambiental y la presencia de material nuclear transportado en vehículos. Los vehículos son monitoreados mientras pasan a baja velocidad a través del portal. Los detectores son centelladores plásticos de gran volumen que permiten alta sensibilidad de detección. El arreglo de detectores se encuentra interconectado en red, y los datos son concentrados en una computadora personal, cuya interfaz hombre máquina puede accederse desde cualquier computadora personal conectada a internet. El sistema monitorea en tiempo real con opciones de tiempos de muestreo desde 50 ms configurable hasta 500 ms.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), tiene la misión de coadyuvar al progreso económico y social del país, mediante investigación y desarrollo de excelencia en ciencia y tecnología nucleares y en temas afines, vinculados con la comunidad académica y el sector productivo. Por las diversas actividades que se realizan en las instalaciones de este instituto se cuenta con material radiactivo que debe ser manejado por personal calificado ya que un manejo inadecuado puede causar efectos nocivos en el hombre, dependiendo del tipo de radiación y la cantidad de radiación absorbida.

Para garantizar un mejor control del material radiactivo del instituto y para cumplir con los procedimientos de seguridad radiológica internos, se requirió diseñar y construir un sistema de

monitoreo de radiación gamma tipo portal para vehículos en los accesos de entrada y salida del instituto, con lo que se tiene un control adicional sobre dicho material evitando así que el material nuclear no autorizado ingrese o salga del instituto transportado en vehículos. El sistema de monitor de portal está diseñado de tal manera que aprovecha las cualidades de una computadora personal para la medición, despliegue y almacenamiento de la información obtenida. En la figura 1, se muestra la ubicación de los detectores de portal para vehículos en los accesos de entrada y salida del instituto.

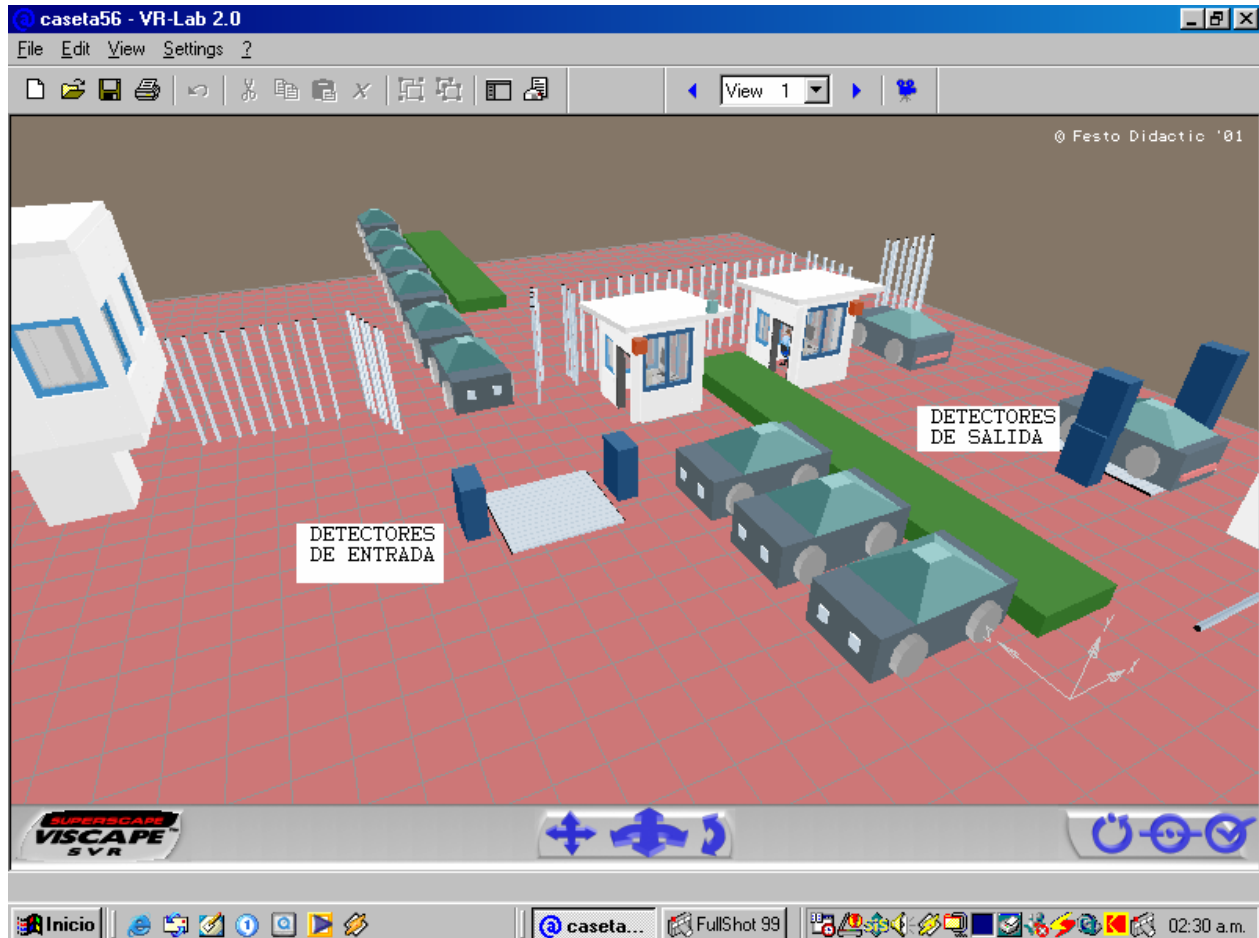


Figura 1. Vista panorámica virtual de las instalaciones del ININ, con los portales en accesos de entrada y salida.

Los detectores del portal de vehículos son del tipo centellador orgánico plástico los cuales presentan alta sensibilidad a la radiación gamma y un gran volumen de detección [1]. El sistema monitorea los vehículos en forma continua las 24 Hrs, los vehículos pueden circular entre los detectores a baja velocidad lo cual permite un flujo vehicular constante. El sistema de monitoreo mide continuamente la radiación de fondo, pudiendo establecer automáticamente un nivel de alarma que se emplea como límite mínimo cuando se monitorea un vehículo, mediante una lógica que use algoritmos estadísticos basados en las mediciones del fondo radiactivo ambiental.

Cuando pasa un vehículo por el monitor y se detecta un número de cuentas promedio durante un periodo de muestreo dado y dicho número de cuentas es mayor al nivel de alarma establecido,

entonces se activa una alarma sonora en la computadora personal y se registra dicho evento en un archivo histórico.

La interfaz hombre máquina muestra un diagrama esquemático de los detectores de entrada y de salida en la pantalla de la computadora, junto a ellos se muestran los valores en tiempo real de los promedios de los conteos correspondientes al periodo de muestreo preestablecido por el usuario, ver figura 2.



Figura 2. Interfaz hombre máquina del sistema de monitoreo de radiación gamma de vehículos tipo portal.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE RADIACIÓN GAMMA TIPO PORTAL PARA VEHÍCULOS

La medición de la radiación nuclear se realiza mediante el conteo del número de interacciones de los fotones en un detector que se encuentre acoplado a un sistema electrónico. El sistema de detección de radiación gamma se basa en el conteo de fotones y nos da un número de eventos presentes en la salida del detector por unidad de tiempo [2]. Consta de un conjunto de ensamblajes de detectores ubicados en los accesos de entrada y salida del instituto. En la entrada se encuentran un conjunto de 2 detectores, uno en cada lado, en la salida se instalaron 2 bastidores conteniendo 2 detectores cada uno como se muestran en la figura 3 y 4.

La información de cada uno de los detectores de la entrada y de salida se concentra en la computadora personal por medio de una red local con cableado subterráneo, la comunicación en red se realiza a través de tarjetas de red Ethernet usando el protocolo TCP/IP, la computadora personal se localiza en la caseta de vigilancia, donde se registran los datos y se muestra en la pantalla la interfaz Hombre Máquina desplegando los datos en tiempo real, con el tiempo de muestreo preestablecido por el usuario.



Figura 3. Portales para el monitoreo en la entrada al instituto.



Figura 4. Portales para el monitoreo en la salida del instituto.

Los datos provenientes de cada detector son enviados a la computadora personal donde se procesan y se comparan con un valor establecido como límite para alarma. Actualmente el sistema se encuentra operando con un límite fijo preestablecido. Si el valor del conteo obtenido excede este límite se activa el sistema de alarmas el cual consiste de una alarma audible y otra visual en la computadora personal.

Los componentes que forman un ensamble de detección se muestran en la figura 5 y son los siguientes:

- 1.- Un detector de centelleo plástico, acoplado a un tubo fotomultiplicador.
- 2.- Una fuente de alto voltaje de corriente directa de 1250 V.
- 3.- Un preamplificador de pulsos nucleares.
- 4.- Un amplificador de pulsos
- 5.- Un discriminador de pulsos.
- 6.- Un sistema de conteo basado en microcontrolador.
- 7.- Una tarjeta de red Ethernet.
- 8.- Una fuente de alimentación de corriente directa de ± 12 V.

- 1.- El centellador plástico tiene las siguientes dimensiones 28 x 96.5 x 3.8 cm. Se usa para detectar la radiación, el fotomultiplicador con el que está acoplado ópticamente sirve para convertir la luz en que ha sido producida por los fotones en el centellador en pequeños pulsos eléctricos de salida.
- 2.- La fuente de alto voltaje, polariza la red de dinodos del tubo fotomultiplicador.
- 3.- El preamplificador de pulsos, reduce el ruido de la señal por la distancia que existe entre el detector y la etapa del amplificador de pulsos.
- 4.- El amplificador de pulsos amplifica y da una forma semigausiana al pulso producido por el detector cuando interacciona un fotón.
- 5.- El discriminador de pulsos selecciona los pulsos de interés.
- 6.- El microcontrolador cuenta el número de eventos presentes en el detector por unidad de tiempo.
- 7.- La tarjeta de red Ethernet es el medio de comunicación entre cada detector y la computadora personal.

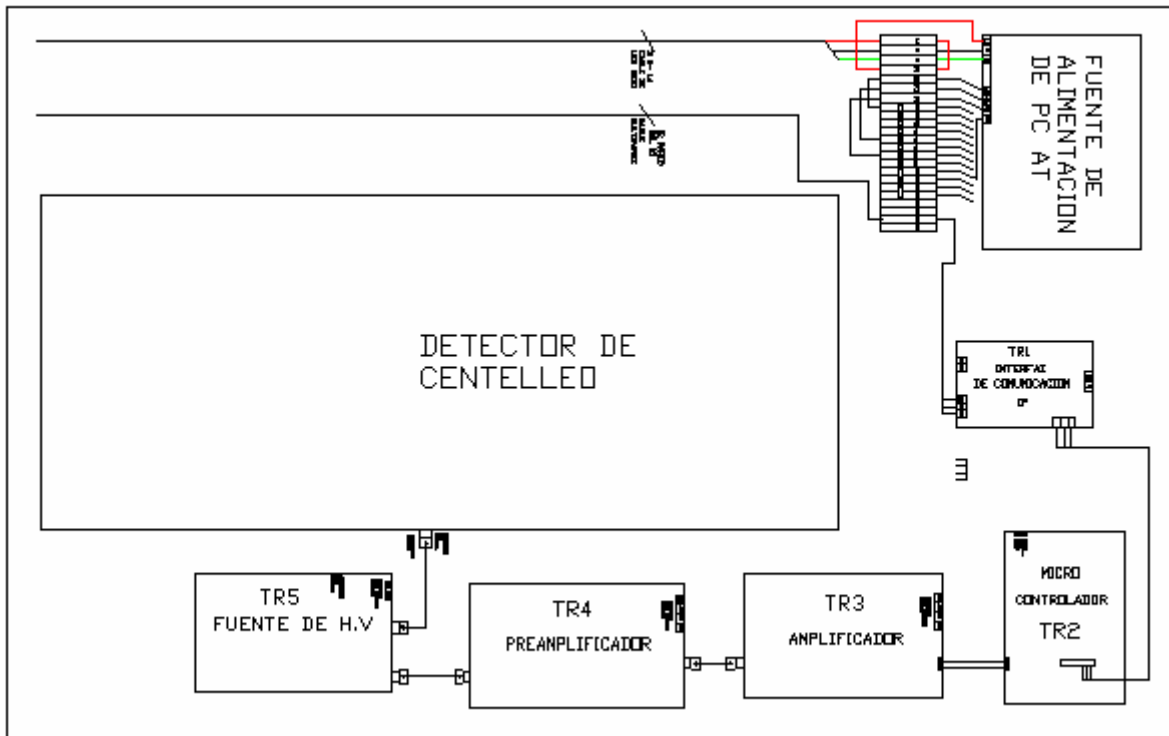


Figura 5. Diagrama a bloques de los componentes de un ensamble detector de portal.

La figura 6 muestra el interior de un ensamble de detección del portal, donde se percibe el detector centellador y los módulos electrónicos.

2.1 Características de Funcionamiento

Los monitores de radiación determinan cuando el material nuclear está presente, esto se realiza mediante la comparación de la actividad de rayos gamma respecto a un valor el cual se establece a partir de los niveles de radiación de fondo. Algunas características importantes en el sistema de detección son los niveles de alarma, la sensibilidad de detección, el efecto del blindaje en la detección, la ventana de energía, el tiempo de conteo, la reducción del fondo con el espaciamiento de los detectores y la velocidad vehicular.

2.1.1. Niveles de alarma

La radiación de fondo detectada por un monitor incluye los rayos gamma naturales y el ruido electrónico del sistema. La radiación adicional del material nuclear localizado en un vehículo, puede provocar que la intensidad de radiación total exceda un límite o nivel de alarma determinado. En el sistema se estableció un nivel de alarma de 500 cuentas para un periodo de muestreo de 100 ms.



Fig. 6 Ensamble detector de portal.

2.1.2. Sensitividad de la detección

Es la mínima cantidad de actividad que puede detectar el sistema se ve afectada por la distancia entre el material nuclear y los detectores, el ruido electrónico, el blindaje y el fondo. En los monitores de vehículos fijos, la distancia es mucho más grande que la que tienen los monitores de portal de personal, el número de cuentas detectadas decrece en proporción inversa a la separación de los detectores pero el fondo sigue siendo el mismo. Como el número de eventos detectados decrece con la separación requerida en los monitores de vehículos, el desempeño de los detectores de portal de vehículos fijos decrece significativamente comparado con el de los monitores personales.

2.1.3. Blindaje del material nuclear y del detector

Una dificultad encontrada en el monitoreo vehicular es la reducción de la intensidad de la radiación del material nuclear debido al blindaje de la estructura del vehículo. La efectividad del monitoreo del vehículo en general es más baja que el monitoreo personal, en este último el único blindaje entre la fuente y el detector es el cuerpo humano, además en un monitor personal la distancia entre el detector y la fuente es menor.

2.1.4. Ventana de energía

Cada material tiene su propio patrón en el espectro de energía de rayos gamma. Para obtener el mejor desempeño en el monitoreo de un material particular, el monitor debe detectar la radiación en una ventana de energía de rayos gamma apropiada. Para la detección del uranio con blindaje se requiere una amplia ventana ajustando el nivel bajo mediante un discriminador arriba del nivel del ruido. El circuito amplificador con discriminador fue ajustado para eliminar el ruido por debajo de la ventana de discriminación, contando los pulsos de magnitud superior al valor establecido. Se considera que el sistema puede detectar radiación gamma en el intervalo de 60 KeV a 2 MeV.

2.1.5. Tiempo de conteo

El tiempo de residencia es un factor importante en la sensibilidad de la detección. El sistema tiene la opción de configurar los tiempos de conteo, en periodos de 50, 100, 150, 200, 250 300, 350, 400, 450 y 500 ms. Actualmente se opera con un tiempo de conteo de 100 ms. Con un vehículo moviéndose lentamente entre los portales, cada una de las partes del vehículo pasa cerca de los detectores, en contraste un vehículo estacionario tiene sus extremos a la misma distancia de los detectores y estos no están tan cercanos al detector. La proximidad compensa el tiempo de residencia más corto.

2.1.6. Espaciamento entre detectores

Un factor para determinar el espaciamento de los detectores es la reducción de la intensidad de la fuente detectada al aumentar el espaciamento entre detectores. Se consideró el espaciamento entre detectores como el valor máximo requerido de anchura de vehículos de acuerdo a la norma de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes en México [3], con una tolerancia quedando dicha separación entre detectores en 4 m.

2.1.7. Velocidad vehicular.

La máxima señal podría no presentarse si el vehículo se mantiene estacionario durante el periodo de monitoreo. El monitoreo estacionario hará que el material nuclear distribuido en el vehículo se encuentre lejos de los detectores. Y el monitoreo tenga señales más bajas disminuyendo el desempeño del sistema aunque se usen tiempos de conteo más largos. El movimiento del vehículo durante el monitoreo asegura la proximidad del material nuclear con los detectores. Como el desempeño del monitor decrece con el incremento de velocidad de tránsito del vehículo, unos vibradores colocados en los portales obligan a disminuir la velocidad del vehículo que pasa a través de ellos. El uso de vibradores limita la velocidad a 8 Km/h.

3. RESULTADOS

Se muestran a continuación en la Tabla I el número de cuentas detectadas en un monitor de portal tomado como muestra con una fuente radiactiva de Co 60 de 2.6 μCi a diferentes distancias respecto al detector y con diferentes tiempos de muestreo.

Tabla I. No. de cuentas detectadas en un monitor de muestra del portal con fuente de Co 60 a diferentes distancias.

Tiempo de muestreo en ms										
Distancia	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Fondo	331.42	634.28	910.00	1000.00	1473.33	2011.42	2428.57	2673.33	3005.70	3182.85
Co 60 a 0 m	9228.57	22150.00	34697.14	46165.00	55667.50	62940.00	72637.50	81110.00	860125.00	91312.50
Co 60 a 2m	431.11	995.55	1260.00	1582.50	1951.11	2457.14	3086.15	3557.85	3870.76	4660.00

El archivo de eventos de alarmas contiene los registros de el numero de cuentas en cada uno de los detectores en el momento en que se detectó un número de cuentas superior al nivel de alarma. Un ejemplo del los registros contenidos en este archivo es el mostrado en la Tabla II.

Tabla II. Registros del numero de cuentas de los detectores de los eventos de alarma.

06:41 a.m.	500	1053	949	104	500	85	13	15	10	47
06:41 a.m.	500	956	857	99	500	96	12	15	16	53
06:41 a.m.	500	1011	930	81	500	77	12	10	8	47
06:42 a.m.	500	1037	950	87	500	84	12	11	6	55
06:42 a.m.	500	1019	929	90	500	74	9	17	6	42
06:42 a.m.	500	915	830	85	500	88	8	20	9	51
01:10 p.m.	500	62	48	14	500	734	41	73	85	535
01:10 p.m.	500	69	53	16	500	11388	1219	975	5313	3951
01:10 p.m.	500	63	39	24	500	1703	23	63	15	1602
04:12 p.m.	500	360	337	23	500	625	19	33	20	553
04:12 p.m.	500	447	423	24	500	1513	37	38	42	1396
04:12 p.m.	500	475	449	29	500	3274	75	65	203	2931
04:12 p.m.	500	450	435	15	500	13090	1552	674	2170	8694
04:12 p.m.	500	519	504	15	500	18866	529	7538	1628	9171
04:12 p.m.	500	244	223	21	500	12772	191	2602	1937	8142
04:12 p.m.	500	395	366	29	500	18543	3737	2942	2402	9462
04:12 p.m.	500	440	412	28	500	13581	1293	1327	1681	9290
04:12 p.m.	500	456	429	27	500	13524	1348	1339	1731	9106
04:12 p.m.	500	439	406	33	500	13711	1427	1397	1711	9176
04:12 p.m.	500	416	395	21	500	13857	1488	1376	1778	9215

En la Tabla II la primer columna muestra la hora de activación de la alarma, la segunda y sexta columna muestran los niveles de alarma del portal de entrada y salida respectivamente, la tercera y séptima columna muestran la suma del número de cuentas registradas por los detectores de entrada y salida respectivamente, la cuarta y quinta columna muestran el número de cuentas registradas por los detectores de entrada derecho e izquierdo respectivamente, la octava, novena,

décima y undécima columna muestran el número de cuentas registradas por los detectores de salida inferior izquierdo, inferior derecho, superior derecho y superior izquierdo respectivamente.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- 1.- El sistema de monitoreo de radiación gamma para vehículos tipo portal, ha realizado el monitoreo radiológico en forma continua permitiendo un mejor control sobre la entrada y salida de material nuclear de alta intensidad transportado en vehículos y que pasan en los accesos de entrada y salida del instituto.
- 2.- Son monitores de portal fijos, económicos, de fácil mantenimiento con razonable sensibilidad.
- 3.- El espaciamiento del detector requirió que el flujo del tráfico se realice en un solo carril a través del monitor.
- 4.- El riesgo de daño a los detectores por los automóviles y camiones hizo necesario el uso de guardas protectoras de carriles.
- 5.- El sistema ha estado operando satisfactoriamente durante 4 meses, entregando la información de las cuentas obtenidas con la ventaja que se puede acceder a la información en tiempo real a través de la red mundial (www), en cualquier computadora.

Se proponen como trabajos futuros los siguientes:

- 1.- Incorporar al sistema, cámaras de televisión que manden la señal de video a monitores en la caseta de vigilancia y cuando se active alguna alarma por alta radiación se capture la imagen del vehículo y placas en forma automática para incorporarse a los registros de eventos.
- 2.- Establecer el límite de alarma en forma dinámica tomando en cuenta la radiación de fondo existente.

AGRADECIMIENTOS

Para el desarrollo exitoso del sistema de monitoreo de radiación gamma para vehículos tipo portal, se requirió de la colaboración de un equipo de trabajo interdisciplinario, a los cuales damos reconocimiento y agradecimiento por el trabajo realizado, entre ellos se encuentran el grupo de diseño mecánico y trabajadores de talleres generales de la gerencia de ingeniería del ININ, así como al personal de apoyo del taller de electrónica por su colaboración en la realización de los circuitos impresos y el tendido del cable de red y al grupo de becarios del departamento de electrónica, en especial al técnico Emmanuel González González, quienes nos auxiliaron en las instalación y pruebas iniciales del sistema.

REFERENCIAS

- 1.- P.E.Fehlau, C García, R.A Payne,E.R Shunk, *Vehicle Monitors for Domestic Perimeter Safeguards*, LA-9633-MS, Los Alamos National Laboratory, January 1983.
- 2.- Alejandro E. Vilchis Pineda, *Diseño de un monitor de portal de radiación gamma para vehículos*, Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Toluca 1994.
- 3.- NOM-012-SCT-2-1995 *Norma Oficial Mexicana sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.*