

irpabuenosaires2015 - 384430

INSTRUMENTACION DE ACCIDENTE PARA CENTRALES NUCLEARES

Matatagui, E.

Instituto Dan Beninson, UNSAM y SOLYDES S.A.

RESUMEN

Los Monitores de Radiación y Monitores de Efluentes que se utilizan usualmente en Centrales (y otras instalaciones) Nucleares son instrumentos altamente sensibles y que, en su oportunidad, fueron diseñados para cubrir los niveles de operación normal de la instalación.

De producirse un accidente severo, con niveles muy altos de radiación y o liberación radiactividad, estos equipo saturan, y no generan información útil. Tal sucede porque trabajan en modo pulso, y hay un límite en la tasa máxima a medir.

Se hacen consideraciones sobre los criterios de diseño de un sistema de muy amplio rango de operación, con el que se miden las características estadísticas de la señal, tales como la media y la variancia, y se genera así la información necesaria. Este sistema debe ser lo suficientemente sensible para que, a bajos niveles, su señal se superponga con la señal convencional de la instalación y que, además, disponga de capacidad de medición de muchos órdenes de magnitud por encima de esos niveles.

Se describen resultados experimentales sobre sistemas en desarrollo, en especial un Sistema Monitor de gases nobles radiactivos de muy amplio rango de medición y que, además, tiene capacidad de discriminar entre el Xe 133 y el Xe 135 y cuantificar las respectivas contribuciones de esos gases a la señal.

1. INTRODUCCIÓN

En una Facilidad Nuclear significativa, y en especial en una Planta Nuclear, es necesario obtener, en forma continua, datos que indiquen su estado de funcionamiento, los que son necesarios para tomar las acciones que correspondan.

Usualmente, durante la operación normal de la Instalación, esos datos son adquiridos por la Instrumentación, son procesados, y las acciones que correspondan son tomadas en forma automática, de acuerdo a los criterios de diseño establecidos.

En una situación de accidente es especialmente relevante tener conocimiento sobre el estado de la Planta: Las condiciones de medición podrían ser extremas, pero, aún en esas circunstancias, la Instrumentación deberá proveer información confiable.

Este Trabajo se refiere al desarrollo de instrumentación que permita realizar mediciones de radioactividad y de radiaciones. El objetivo es cumplir con los requerimientos mencionados más arriba para cubrir una situación de accidente.

El Sistema propuesto tiene un muy amplio rango de operación y podría ser útil, también, en la operación normal de una Planta Nuclear.

Los conceptos aquí mencionados sirven para el diseño y construcción de sistemas de detección de radiaciones de diversa aplicación.

2. CARACTERÍSTICAS DE UNA INSTRUMENTACIÓN DE ACCIDENTE

Los niveles de radiación y radioactividad en una Planta Nuclear, así como sus efluentes, son monitoreados de acuerdo a Regulaciones, para tomar acciones adecuadas que permitan proteger a los trabajadores, miembros del público y a la propia instalación. Este monitoreo debe considerar también una eventual situación de accidente. Un accidente puede involucrar la liberación de grandes cantidades de material radioactivo, cuyas consecuencias podrían ser catastróficas. Las principales características de una instrumentación de accidente recaen en su capacidad para operar:

- Con un muy amplio rango de medición
- En condiciones ambientales severas

Y los instrumentos deben proveer, en cualquier caso, información confiable.

Estos requerimientos son considerados en el diseño, construcción y operación de una instrumentación de accidente. Otras características son deseables:

- Funcionamiento conceptualmente simple

- Diseño con un mínimo de componentes críticos
- Construcción simple y robusta
- Operación práctica y simple
- Calibración práctica y simple

Ciertas Normas (Ref. 03) (Ref. 04) dan valores indicativos para los niveles de radiación y radioactividad a cubrir. Rangos recomendados son:

- | | | | | |
|---|---------|---|--------|----------|
| - Monitor de Área dentro de la Contención | 10(E0) | a | 10(E7) | R / H |
| - Monitor de Efluentes Gaseosos | 10(E-6) | a | 10(E5) | μCi / cc |
| - Monitor de Área | 10(E-1) | a | 10(E4) | R / H |
| - Monitor de yodo y partículas | 10(E-3) | a | 10(E2) | μCi / cc |

Como consecuencia del enorme inventario de material radiactivo contenido en el núcleo del reactor, el rango de medición recomendado es muy grande. Luego de un accidente, una fracción de ese inventario podría ser liberado al ambiente, (interno o externo) en forma incontrolada.

Una instrumentación de accidente complementa los equipos monitores usuales empleados en Planta. Esos equipos son altamente sensibles, pero su rango de medición es limitado: Su señal satura si se pretende medir niveles medios o altos de radiaciones, y no se obtiene información útil o suficiente de ese equipamiento.

3. MONITORES DE RADIACIÓN EN UNA PLANTA NUCLEAR

3.1 INSTRUMENTACIÓN PARA OPERACIÓN NORMAL

Los Monitores de Radiación y de Efluentes que se utilizan usualmente en Centrales (y otras instalaciones) Nucleares son instrumentos altamente sensibles y que, en su oportunidad, fueron diseñados para cubrir los niveles de operación normal de la instalación.

En efecto, en condiciones normales, los niveles de radiación (y radioactividad) que se observan son relativamente bajos, y se procura que los correspondientes instrumentos medidores permitan cubrir un rango compatible con esos niveles.

El criterio para lograr alta sensibilidad es diseñar y operar los sistemas de detección en modo pulso.

Las radiaciones y su interacción con el detector dan lugar a que éste, en principio, genere una sucesión de pulsos eléctricos. Esta sucesión es la señal del detector. El análisis de esa señal permite obtener información sobre el campo de radiación que le dio origen.

Algunos detectores (ioduro de sodio, germanio, por ejemplo) permiten hacer espectrometría gamma. Otros detectores (proporcionales, por ejemplo) permiten hacer detección beta. Hay detectores (Geiger Müller) que se usan en detección gamma y beta, sin dar otra información más que una sucesión de pulsos en el tiempo.

Los pulsos generados por la radiación son en extremo pequeños y requiere sean amplificados para ser observados y procesados. Ello se puede lograr:

1. Usando electrónica de muy bajo nivel (germanio)
2. Usando electrónica de bajo nivel y amplificación previa (ioduro de sodio acoplado a fotomultiplicador)
3. Usando electrónica de bajo nivel y amplificación en el detector (proporcionales)
4. Usando amplificación interna (Geiger Müller)

Este tipo de equipamiento es ampliamente utilizado en Centrales y otras Instalaciones Nucleares, pero tiene un rango de medición limitado.

Ese rango limitado corresponde a:

1. Dificultad electrónica (imposibilidad??) de separar pulsos cuando la tasa de pulsos es muy grande
2. Autolimitaciones en los sensores que usan amplificación interna, cuando la tasa de pulsos es muy grande.

Un ejemplo extremo lo constituye el detector Geiger Müller. Este detector genera pulsos, de gran amplitud, por amplificación interna, lo que facilita su procesamiento por la electrónica. Sin embargo, este tipo de detector tiene una capacidad de medición máxima de unas 10000 cuentas por segundo. El nivel de cuentas generado por el GM satura al aumentar el nivel de radiación, e incluso tiende a cero para niveles de radiación muy grandes.

3.2 PROPUESTA PARA UNA INSTRUMENTACIÓN DE ACCIDENTE

Por lo mencionado en el párrafo anterior, un sistema de detección basado en la medición de pulsos nucleares, si bien es óptimo desde el punto de vista de sensibilidad, es pobre en cuanto a su rango de medición: Su capacidad de medición de una tasa de pulsos alta es limitada.

Si bien esos sistemas son adecuados para condiciones normales de operación, son inapropiados para cubrir una situación de accidente. En una situación de accidente, los niveles de radiación y radioactividad a medir podrían saturar la instrumentación convencional antes mencionada.

Conceptualmente, en el diseño de una instrumentación de accidente de amplio rango de operación se debe considerar:

1. Usar detectores de radiación sin mecanismos de amplificación interna.
2. La señal generada debe tener un rango dinámico de muchas décadas: La respuesta del sensor con el nivel de radiación será lineal (o casi lineal).
3. La señal generada será procesada para obtener una cantidad estadística que resulte significativa, por ejemplo, el valor medio.
4. La electrónica debe tener capacidad de cubrir un número significativo de décadas, sea por cambio de escala o por uso de una escala logarítmica.
5. El sistema de detección debe tener, además de un amplio rango dinámico, una alta sensibilidad, a los efectos de lograr un razonable solapamiento con las indicaciones de los instrumentos de la Central.

En efecto, a niveles medios de radiación y radioactividad, debe haber una superposición entre su indicación y la indicación de los Sistemas Monitores de la Planta. Un caso ideal sería una superposición total entre las indicaciones, pero eso sería casi imposible de lograr. Al menos tendría que haber una superposición parcial, de una o más décadas, para un solapamiento satisfactorio.

6. El sistema de detección debe ser simple y robusto para ser usado en Planta.
- 7.

4. SISTEMA DE DETECCIÓN: DETECTORES Y ELECTRÓNICA

4.1 DETECTORES

Los detectores de radiación que se proponen usar para una instrumentación de accidente son del tipo cámara de ionización.

En estos ensayos se usaron dos modelos de detector:

Prototipo Detector Gamma

Prototipo Detector Beta

Algunas características son las siguientes:

1. Tienen un rango de operación muy amplio, consecuencia de que no tienen mecanismo de amplificación interna.
2. El no usar amplificación interna hace que sean sensores poco sensibles para la detección de radiaciones.
3. La señal generada no permite espectrometría, salvo una de carácter rudimentario que se puede lograr analizando estadísticamente la señal, y que se menciona más adelante.
4. Son instrumentos robustos, aptos para operar en condiciones extremas.

Una consideración especial merece el hecho de que este tipo de sensores pueden ser diseñados y contruidos localmente. Se tiene así una capacidad y elasticidad para cambiar las características funcionales, y o la medición de efectos especiales. En consecuencia un punto importante es:

5. Los detectores (y electrónica) pueden ser diseñados y contruidos localmente, con la ventaja que ello supone para el desarrollo de nuevos sistemas de detección.
- 6.

4.2 ELECTRÓNICA DE BAJO NIVEL

La señal generada por el detector es una corriente eléctrica de muy bajo nivel.

Esta corriente necesita ser amplificada para ser posteriormente procesada.

La primera etapa es la conversión corriente a tensión.

Para ello se desarrolló un pre Amplificador de excelentes características. La razón de conversión, en la escala más sensible es:

1 mili Volt / femto Ampere

O bien 1 Volt / pico Ampere

Este pre Amplificador puede disponer de un cambio de escalas de cuatro décadas. La señal típica de Fondo (de un detector acoplado a este pre), y para el rango más sensible, es del orden de algunos fAmp. El pre sin detector genera una señal de Fondo menor al fAmp.

Nota: En la realización de las experiencias mostradas en este trabajo se utiliza un electrómetro Analógico Keithley Modelo 610C. La sensibilidad, para la mayoría de las mediciones, es de 1 mV/fA, y se lo opera en el modo Fast.

4.3 ELECTRÓNICA DE ALTO NIVEL

El rango de salida del Electrómetro es de fracción de mili Volt a +/- 3 Volt, y es conveniente para su procesamiento por la Electrónica de Alto Nivel.

La electrónica de Alto Nivel que se utilice depende de la aplicación y, en buena medida, podría estar comercialmente disponible (computadoras, por ejemplo).

En nuestro caso se utiliza un tester electrónico para digitalizar la señal y coleccionar los datos; Estos datos son enviados a una computadora para su procesamiento.

El tiempo de la conversión analógico digital por dato es del orden de 0.2 sec.

El almacenamiento de datos en la computadora se hace a una tasa de 1 dato por segundo.

En la computadora se visualiza una evolución temporal de la señal. Los datos que se consideren útiles pueden ser almacenados y posteriormente procesados. En la (Fig. 1) se muestra un esquema del sistema experimental utilizado.

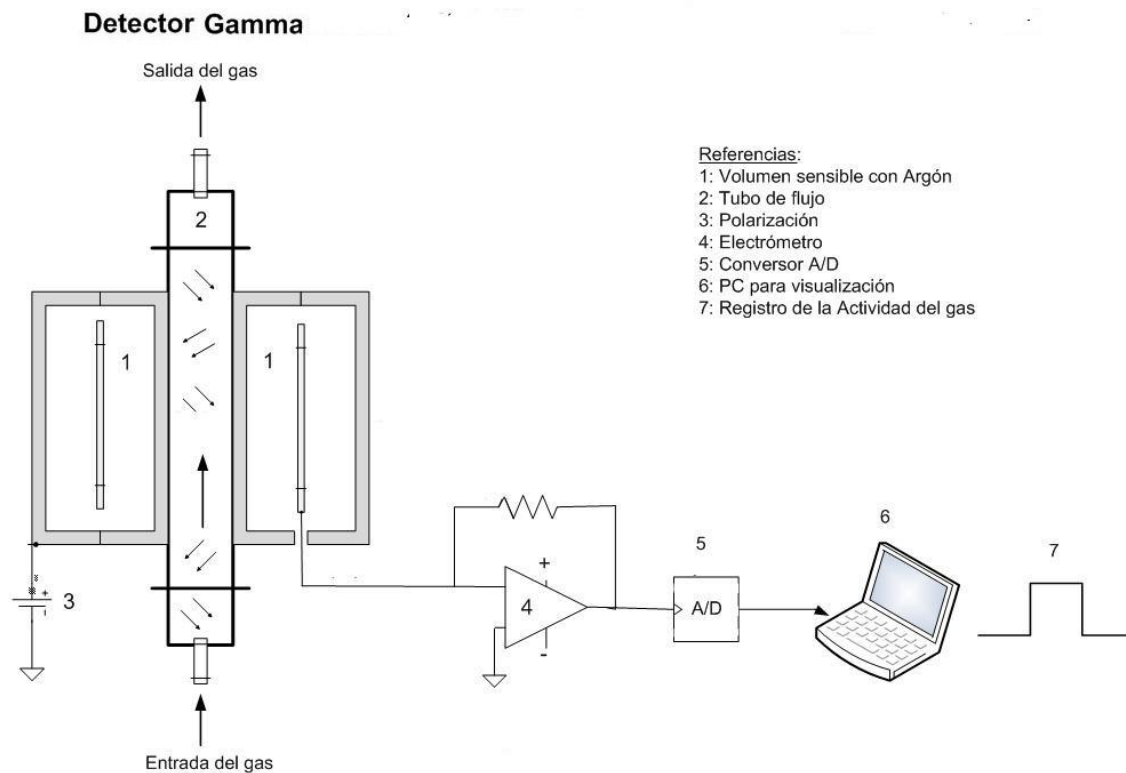


Fig 1-a

Detector Beta

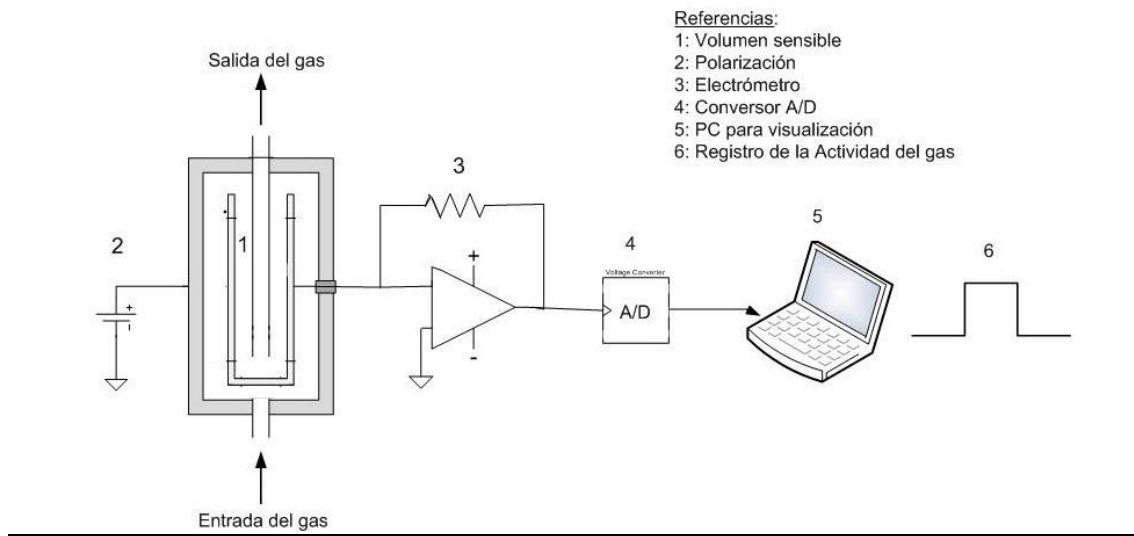


FIGURA 1 -b

DETECTOR GAMMA

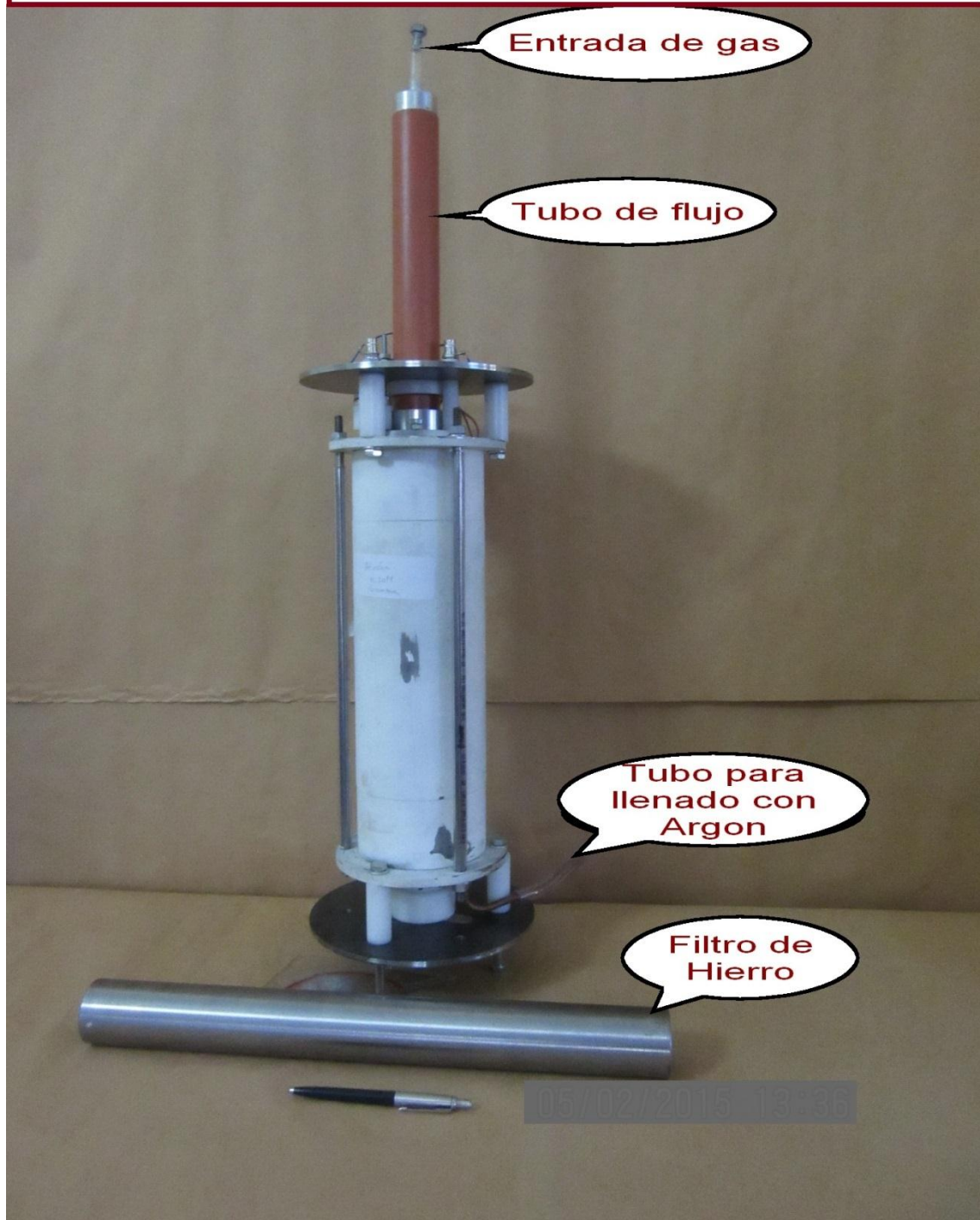


Fig 2

DETECTOR BETA



Fig 3

5. DETECTOR GAMMA: DISCRIMINACIÓN Xe 133 / Xe 135

5.1 MEDICIÓN POR ATENUACIÓN GAMMA

Se ha construido un prototipo experimental de detector gamma, del tipo cámara de ionización presurizada. El gas de colección es Argón a una presión de unas 6 atmósferas absolutas.

Este es un detector cilíndrico, con un tubo central pasante de aluminio de 50.8 mm de diámetro y una pared de 1.5 mm. El aire a medir circula por un tubo de polipropileno de unos 40 mm de diámetro y de pared delgada. Este tubo plástico hace de porta muestras, y se ubica concéntrico en el interior del tubo de aluminio.

Esta configuración procura optimizar la geometría de medición:

1. El detector rodea casi completamente a la muestra.
2. El tubo de aluminio presenta poca atenuación para las energías del Xe 133 y Xe 135.
3. Las radiaciones a medir entran directamente en la zona sensible del detector.

En estas condiciones el detector registra la ionización producida por las radiaciones gamma del Xe 133 y Xe 135, gases estos que se encuentran dentro del tubo porta muestra.

Incorporando un tubo de hierro (“filtro gris”) entre el tubo de aluminio y el tubo porta muestra, notamos que la radiación del Xe 135 es parcialmente atenuada, mientras que la radiación del Xe 133 es casi totalmente atenuada.

Se tiene así un método muy simple para cuantificar, en forma continua y con amplio rango de medición, las cantidades de Xe 133 y Xe 135 que circulan por el tubo de muestreo.

5.2 MEDICIÓN POR INCREMENTO GAMMA

En un trabajo anterior (Ref. 05) se utiliza la interacción fotoeléctrica con materiales de muy alto número atómico a los efectos de lograr una señal muy aumentada para la radiación del Xe 133.

En estas condiciones se logra una respuesta “sintonizada” al Xe 133.

En efecto, la respuesta de este detector a esa radiación sería entre 10 y 100 veces mayor que la respuesta de un detector convencional.

Detectores operacionales de este tipo están en etapa de desarrollo.

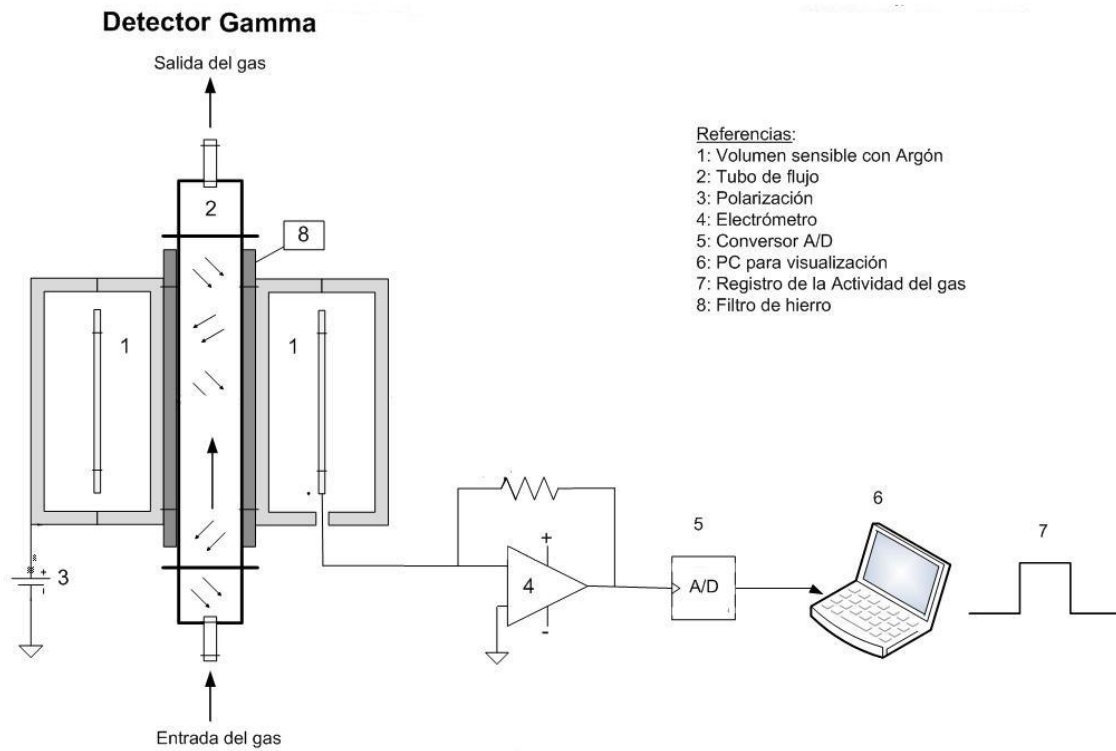


Fig 4



Fig 5

6. DETECTOR BETA: DISCRIMINACIÓN TRITIO/GASES NOBLES

Se ha construido un prototipo experimental de detector beta. Es un detector del tipo cámara de ionización. El gas de colección es aire, y opera a presión prácticamente atmosférica. El volumen sensible es del orden del litro.

Sus características principales son:

1. Genera una señal proporcional a la ionización producida por la radiación en su volumen sensible.
2. El gas de colección es el mismo aire de muestra a medir, el que circula por el interior del detector.
3. Por el tipo de funcionamiento indicado, la ionización beta es registrada en forma directa en el volumen sensible, mientras que la radiación gamma es indirectamente medida, y se necesita de algún proceso de interacción entre radiación y materia para su detección.
4. Consecuencia del punto anterior es que detector presenta una alta sensibilidad para la detección de radiación beta, mientras que su sensibilidad es relativamente baja en la detección de radiación gamma.

La ionización beta se debe, principalmente, al contenido de gases nobles radiactivos y de tritio en el aire de muestra. Hay una enorme diferencia entre la energía beta de los gases nobles y la energía beta del tritio, por lo tienen interés las siguientes consideraciones:

6.1 RADIACIÓN BETA DE GASES NOBLES

Suponer que tenemos sólo gases nobles radiactivos en el volumen sensitivo.

El campo de radiación corresponde a un campo de electrones energéticos. Su energía media es de algunos cientos de Kev. El poder de ionización de esos electrones rápidos es bajo, y es poco dependiente de la energía del electrón. El rango de recorrido en aire de electrones con esa energía es del orden del metro. También es de interés notar que la trayectoria de esos electrones dentro del detector es errática, y la probabilidad de que un electrón beta sea absorbido por los materiales estructurales del detector es grande.

Consecuencia de lo mencionado más arriba:

- a. La sensibilidad beta del detector es (para gases nobles) **dependiente** de su geometría.
- b. El detector no genera información sobre la energía beta de los electrones.

- c. La señal generada por el detector es (para gases nobles) aproximadamente, proporcional a la **concentración de la actividad** de esos gases en el volumen sensible del detector.

6.2 RADIACIÓN BETA DEL TRITIO

Suponer que tenemos sólo tritio en el volumen sensitivo. La energía beta media del tritio es en extremo baja (6 Kev), y su rango en aire es de solo algunos milímetros. En principio es posible colectar con alta eficiencia toda (o casi toda) la ionización producida por el tritio en el volumen sensible del detector. Estas características del campo de radiación beta del tritio hacen que la sensibilidad de una cámara de ionización con aire como gas de colección esté definida en forma (casi) absoluta, y que valga la relación:

$$(\text{Señal } I) (\mu\text{Amp}) = 1 (\mu\text{Amp} / \text{Ci}) \times (\text{Actividad } A) (\text{Ci})$$

Algunas consecuencias de lo mencionado más arriba son, para tritio:

- a. La sensibilidad beta del detector es **independiente** de su geometría.
- b. La señal generada por el detector (para tritio) es proporcional a la **actividad** del tritio en el volumen sensible en el detector (absoluto). Por supuesto, esa señal también será proporcional a la concentración de tritio en el gas de muestra.
- c.

6.3 DISCRIMINACIÓN TRITIO/GASES NOBLES

Considerando que gases nobles radiactivos y tritio son los principales componentes a considerar por un monitor de amplio rango, es de interés poder determinar sus cantidades respectivas en el gas de muestra.

Considerar que el tritio solo puede ser medido con un detector beta.

Se proponen varias formas de discriminar tritio de gases nobles.

1. Una propuesta casi trivial es utilizar dos detectores beta en serie, por cuyo interior circula el aire de muestra. Un dispositivo (dedo frío, burbujeador, adsorbente, etc.) se ubica entre los dos detectores y reduce el contenido de tritio de la muestra.
De los análisis de la señal de ambos detectores resultan las cantidades de material radiactivo que tenemos interés en determinar.

2. Otra propuesta casi trivial es usar un detector gamma y un detector beta en serie. Estos detectores son del tipo antes mencionado. Una dificultad es que la detección gamma es mucho menos sensible que la detección beta. De los análisis de la señal de ambos detectores resultan las cantidades de material radiactivo que tenemos interés en determinar
3. Utilizar dos detectores beta en serie (o un detector beta especial) que tengan diferencias en la geometría de detección. La señal de radiación beta de alta energía (gases nobles) es dependiente de la geometría de detección, mientras que la radiación beta de muy baja energía (tritio) es prácticamente independiente de esa geometría. De los análisis de la señal de ambos detectores resultan las cantidades de material radiactivo que tenemos interés en determinar
4. Utilizar un solo detector beta y hacer un análisis estadístico de su señal. (Ver Anexo 04). Notar que la energía beta del tritio es muy pequeña, por lo que su contribución al ruido de la señal es baja. Este sería un “caso favorable” para el análisis estadístico, del que resultarían las cantidades de material radiactivo que tenemos interés en determinar

Nota: Las consideraciones arriba mencionadas son especulativas, y deberían ser confirmadas experimentalmente.

7. FACILIDADES PARA LOS ENSAYOS

Se realizaron mediciones “en Campo” con los prototipos experimentales.

Esas mediciones, aunque de un carácter un tanto preliminar, permiten visualizar claramente el comportamiento de los equipos prototipos ensayados, y también una comparación directa con los instrumentos monitores de las respectivas Instalaciones.

Estas mediciones “en Campo” se realizaron en dos Facilidades:

1. Planta de Producción de Mo 99 por Fisión (PPMo99) del Centro Atómico Ezeiza
2. Central Nuclear Atucha 1 (CNA1)

3.

7.1 PLANTA de PRODUCCIÓN de Mo 99 (PPMo99)

En la PPMo99 se procesan productos generados por fisión del U 235. A esos efectos, placas de uranio (con 20 % de U235) son encapsuladas, y posteriormente irradiadas en el flujo neutrónico del reactor RA3. Terminada la irradiación las cápsulas son abiertas para procesar químicamente el producto y recuperar los productos de fisión de interés, principalmente Mo 99 y I 131.

En este proceso, y en condiciones controladas, gases radiactivos de fisión son liberados y derivados a tanques de decaimiento. Cuando resulte conveniente, estos gases serán descargados al medio ambiente exterior con el aire de ventilación.

Los principales gases radiactivos que se generan son Xe 133 y Xe 135. Las cantidades relativas dependen del tiempo transcurrido desde la irradiación. EL Xe 135 es importante en tiempos cortos. Luego de algunos días prevalece el Xe 133.

Un Sistema Monitor Gamma de la Planta toma una muestra continua de su efluente gaseoso, el aire de ventilación, y lo inspecciona para indicar la presencia de material radiactivo.

Este Monitor se basa en un detector centellador (INa) que permite hacer espectrometría gamma. Se definen zonas de interés para las energías gamma del Xe 133 y Xe 135, y deduce las cantidades de estos gases que son descargados al medio ambiente exterior.

Para mediciones en PPMo99 nuestros prototipos de detector se conectan en serie con el Monitor de la Planta.

7.2 PLANTA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA 1 (CNA 1)

En la CNA1, Monitores pertenecientes a esa Central miden la radioactividad presente en su efluente gaseoso. La toma de muestra se hace en Chimenea. A posteriori se la mezcla con gas metano, se la hace circular por el interior del detector y se la devuelve al efluente. Para la medición de gases radiactivos (gases nobles y tritio) se utilizan detectores proporcionales, (aquí llamados Kimmel).

Los Sistemas de Detección más simples de CNA1 permiten hacer una estimación global (tritio y gases nobles) de la actividad beta de la muestra. Sistemas de Detección más sofisticados de esa Central cuantifican, en condiciones de medición convenientes, las cantidades de tritio y gases nobles presentes en el efluente.

El Sistema Monitor de CNA1 no puede discriminar entre Xe 133 y Xe 135.

Para mediciones en CNA1 de gases nobles radiactivos con nuestro prototipo, éste se conecta en serie con un Monitor Kimmel de la Central.

Para mediciones en CNA1 de tritio con nuestro prototipo, éste se conecta en serie con un instrumento Overhoff. Este instrumento es un medidor de tritio, y no pertenece al Sistema Monitor de la Central.

8. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se muestran algunos registros tomados en CNA1 y en PPMo99

Se ensayan los prototipos individualizados como:

1. Prototipo Detector Gamma.
2. Prototipo Detector Beta.

La electrónica utilizada es común a los diferentes ensayos y detectores. Consiste en:

1. Un electrómetro Keythley 610C. Opera como PreAmp con conversión $1 \text{ mV} / \text{fA}$ y tiene facilidad de cambio de escala.
2. Un tester comercial para la conversión Análogo Digital de la salida del electrómetro y el envío de los datos a una PC.
3. Una fuente de tensión de 100 volt para polarizar el detector.
4. Una computadora PC para visualización y procesamiento de datos.

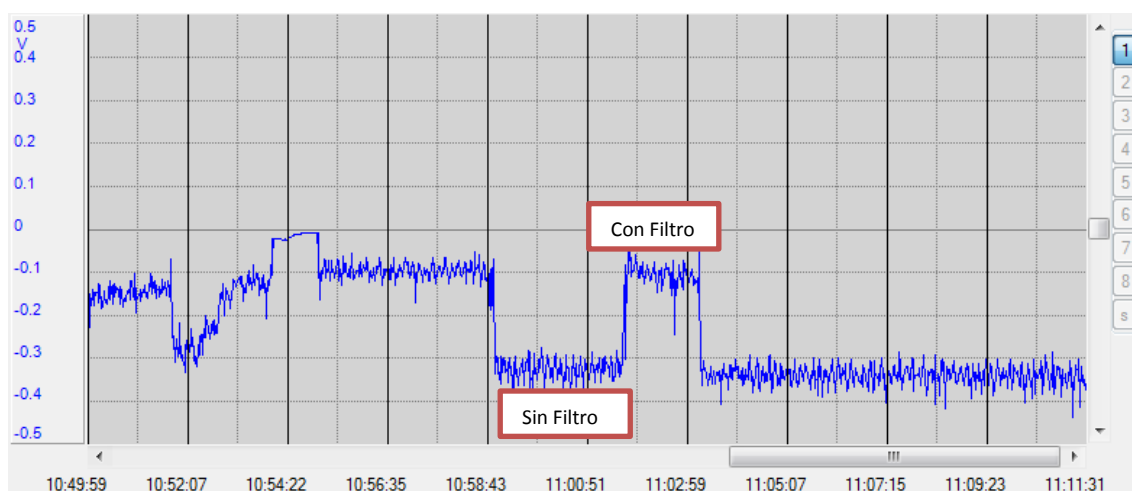
La computadora muestra la evolución temporal de la señal:

- a. La señal (por razones arbitrarias) toma valores negativos.
- b. La coordenada x indica el tiempo de la toma de datos
- c. La coordenada y indica el valor de la señal en volt. Notar que la señal es, en realidad, una corriente. La tasa de conversión típica es $1 \text{ mV} / \text{fA}$.
- d. La toma de datos se hace a razón de 1 dato/segundo

9. PROTOTIPO DETECTOR GAMMA

9.1 PROTOTIPO DETECTOR GAMMA EN CNA1

Siguen algunos registros y comentarios sobre aspectos significativos:



Hora 10.54 Control de Zero y ajuste del Zero del electrómetro

Hora 10.56 Registro de Fondo

Hora 11.00 Registro de la señal con una muestra estática de aire con Xe 133

Hora 11.02 Registro de la señal con una muestra estática de aire con Xe 133. En este caso se interpuso un tubo de acero (“filtro gris”) entre muestra y detector.

Notar que la señal es casi totalmente atenuada al pasar por este “filtro gris”, y que se retoman los niveles que se tienen para el Registro de Fondo. Esto confirma que la muestra contiene, en su mayoría, Xe 133. De haber una cantidad significativa de Xe 135, la señal sería parcialmente atenuada por ese filtro.

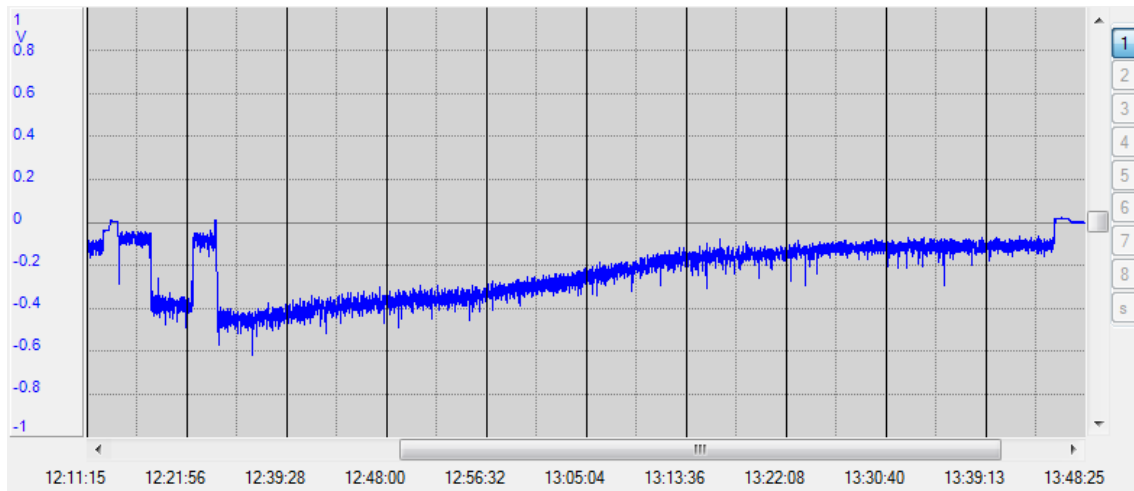
Hora 11.07 Continúa Registro de la señal con una muestra estática de aire con Xe 133.

Sigue una medición de una muestra dinámica (o circulante) de aire con Xe 133.

En este caso, el aire a medir circula por el porta muestra, el tubo plástico ubicado, en forma coaxial, en el interior del detector gamma bajo ensayo.

El mismo gas circula por el interior de un instrumento Kimmel. Este instrumento es un detector beta y funciona en modo proporcional. Una bomba de aire, ubicada en el Kimmel, hace que el aire a medir pase por ambos instrumentos.

Un registro con esta configuración es como sigue:



Hora 12.12 Registro de Fondo

Hora 12.14 Zero del Electrómetro y corrección de Zero

Hora 12.16 Registro de Fondo

Hora 12.18 Registro con muestra estática con Xe 133

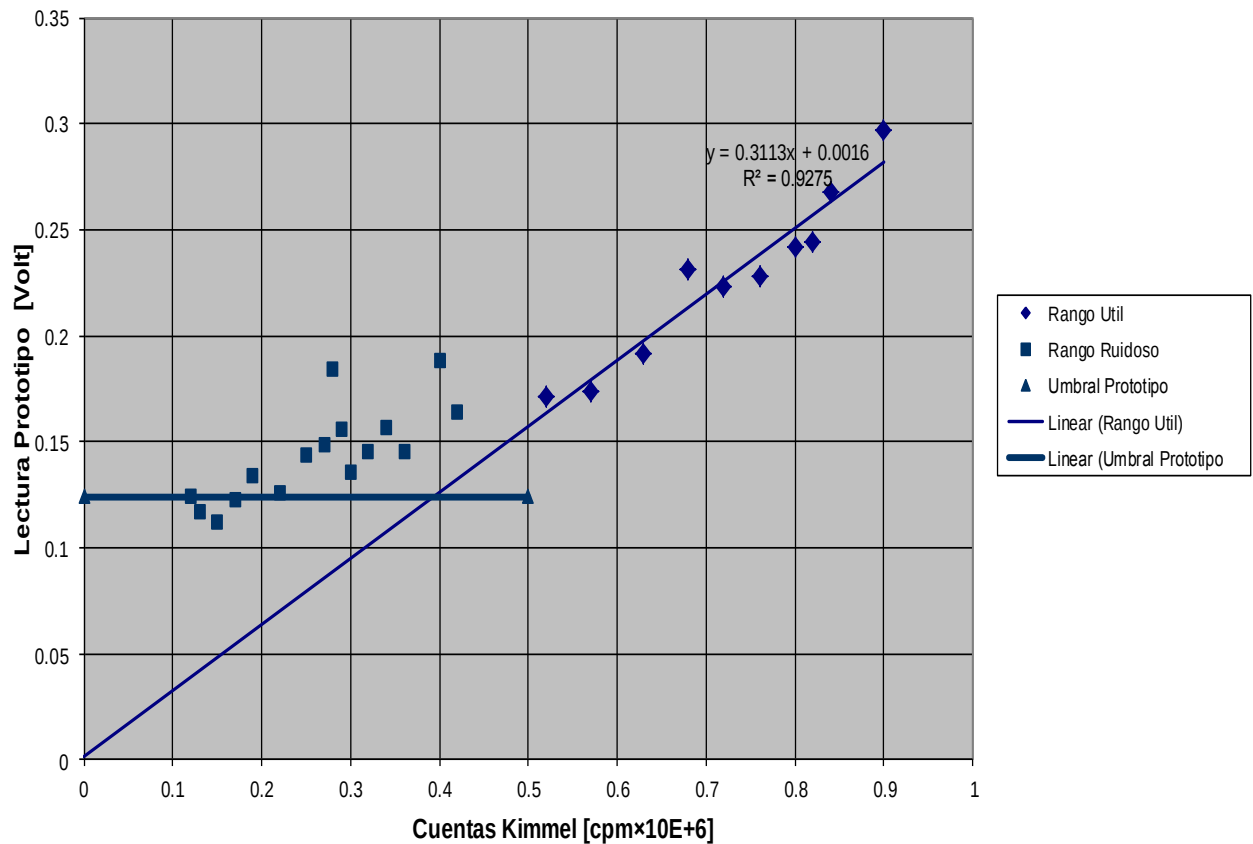
Hora 12.24 Registro de Fondo

Hora 12.30 Comienza Registro de muestra de aire circulante con Xe 133

Hora 13.45 Termina Registro de muestra de aire circulante con Xe 133

La correlación entre las indicaciones del Sistema Prototipo Gamma y el instrumento Kimmel se muestra en el siguiente gráfico:

Prototipo Gamma vs Kimmel



- Las coordenadas “x” corresponden a lecturas del Kimmel. Su rango es (0 a 1) Mcm (mega cuentas por minuto). El instrumento satura para una tasa mayor de cuentas.
- Las coordenadas “y” corresponden a las lecturas del Prototipo. Las lecturas llegan, en las presentes condiciones, a un nivel de 300 femtoAmpere.

Se nota que la superposición de valores entre instrumentos tiene alcance limitado, pero sería suficiente, y es del orden de una década. La saturación del Kimmel limita su alcance a 1 Mcm, mientras el prototipo recién en esas condiciones comienza a medir satisfactoriamente.

Notar la diferencia de sensibilidad entre prototipo ensayado (detector gamma) y el Kimmel (detector beta). En efecto, la radiación beta es detectada directamente, mientras que la radiación gamma debe interactuar con la materia del sensor para ser detectada.

El nivel de Fondo del Prototipo en CNA1 es del orden de 100 femtoAmpere.

Ese nivel se reduce a 50 femtoAmpere si la medición se hace “en bajo Fondo” (¿?).

Sería conveniente blindar el Detector Gamma a los efectos de reducir la influencia del Fondo, y mejorar así sus características operativas.

9.2 PROTOTIPO DETECTOR GAMMA EN PPMo99

El Monitor de gases radiactivos de la Planta es in Sistema basado en un cristal de INa(Tl). Una muestra continua del aire en chimenea circula en las proximidades de este detector, y por espectrometría gamma el Sistema permite cuantificar las cantidades de Xe 133 y Xe 135 presentes en la muestra. Los datos adquiridos son almacenados en una PC, y podrán ser comparados con los datos adquiridos por nuestro Sistema Prototipo.

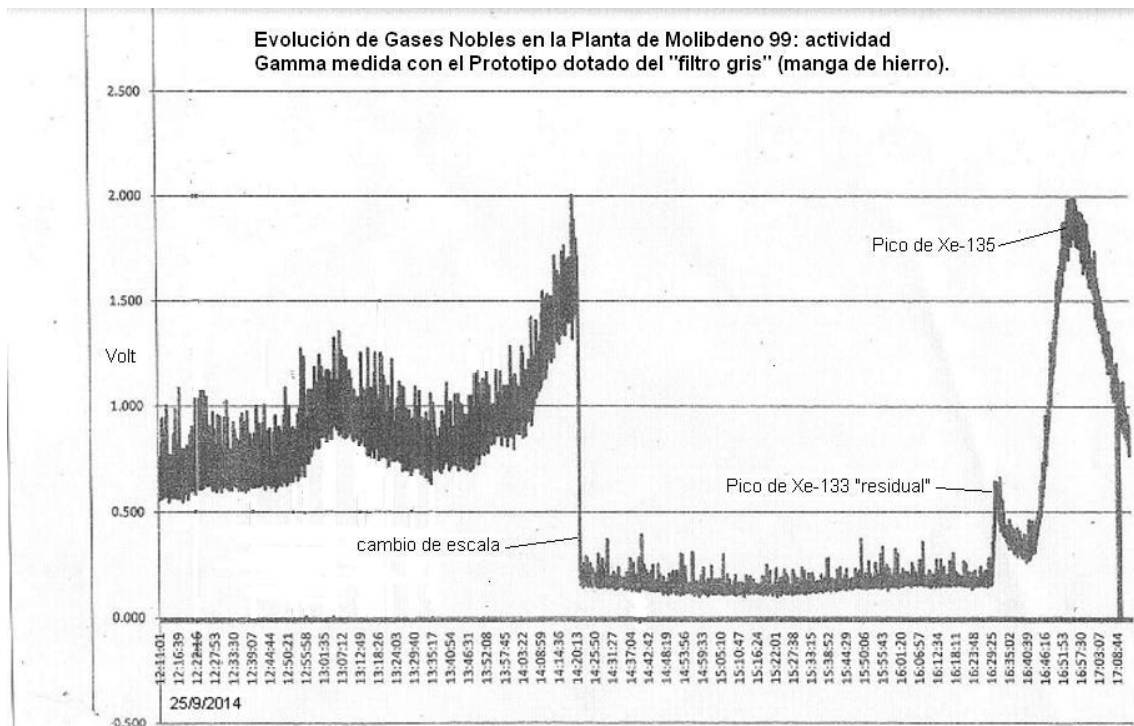
Se muestran algunos resultados interesantes:

9.2.1 PROTOTIPO DETECTOR GAMMA Y MONITOR DE PLANTA PPMo99

Se comparan datos colectados (y procesados Excel) de ambos equipos. La lectura de los valores es (arbitrariamente) positiva.

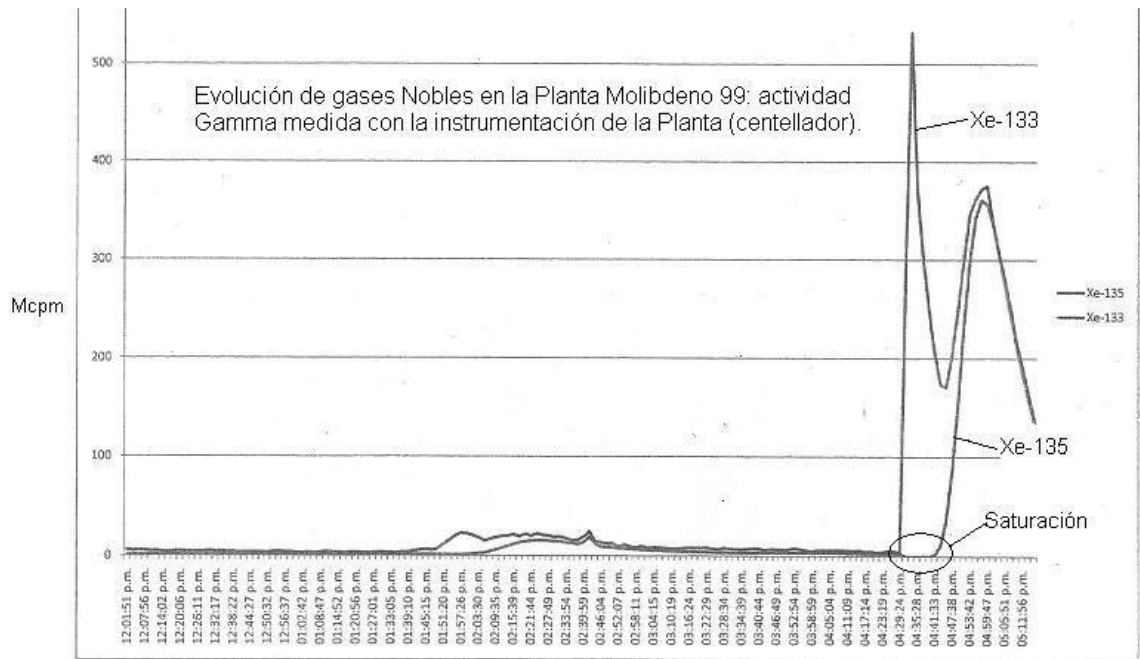
El aire de muestra contiene trazas de Xe 133 y Xe 135, pero con el Prototipo tan solo se pretende medir la cantidad de Xe 135. A esos efectos, el detector se “blinda” con un tubo de hierro, el que funciona como “filtro gris” y atenúa, “casi totalmente”, la radiación gamma proveniente del Xe 133.

El gráfico siguiente muestra un registro obtenido para el Prototipo.



Notar algunos puntos de interés:

- a. En el lapso que va de 11.12 Horas a 14.20 Horas el Sistema Prototipo es operado con una sensibilidad de 10 mV/fAmp.
El Fondo (o señal residual ¿?) es del orden de 60 femto Ampere.
Hay indicación de un ligero aumento de las emisiones de Xe 135 a las 13.00Hs.
Se observa que la cantidad de Xe 135 en el aire de muestra va en ligero aumento, por lo que se efectúa un cambio de escala a las 14.20 Hs a 1 mV/fAmp.
Posteriormente al cambio de escala se observan indicios de emisiones de Xe 135
- b. A las 16.30 Hs se observa un pico de extrañas (¿?) características. Sigue un pico "normal" (¿?) a las 17.00 Horas.
- c. Sigue un gráfico generado por el Monitor de la Planta.



Se observa:

- El Monitor de Planta da indicación de las cantidades de Xe 133 y Xe 135 presente en la muestra de aire en la muestra
- Se muestran detalles de la emisión de gases nobles, que empieza a crecer a 13.40 Horas. Hay indicio de esos detalles en los registros del Prototipo.
- Se presenta un extraño comportamiento en los registro de Planta para las emisiones de 17.30 Horas:
 - Aparece una súbita e importante emisión de Xe 133.
 - Esta emisión decae rápidamente, y sigue un pico “normal” (¿?) de Xe 133 y superpuesto a éste, un pico “normal” (¿?) de Xe 135.
 - Notar que la indicación del Monitor de Planta toma el valor **cero** en el intervalo de 16.29 Horas a 16.41 Horas.

Este extraño comportamiento del Monitor de Planta se atribuye a la saturación de ese Sistema para tasas de cuentas muy elevadas.

La interpretación de la señal del Sistema Prototipo y el Sistema de la Planta es como sigue:

- Una muy brusca e importante emisión de Xe 133 ha ocurrido. El “filtro gris” ha atenuado (pero no ha eliminado) la radiación del Xe 133. Esto se observa en el pequeño y extraño pico en el registro del Monitor Prototipo. Sigue una importante emisión de Xe 135. Por el uso del “filtro gris” no se pueden cuantificar las emisiones de Xe 133 con nuestro prototipo, pero sí están cuantificadas las de Xe 135.

9.2.2 PROTOTIPO DETECTOR GAMMA EN PPMo99 y DISCRIMINACIÓN XE 133/Xe 135

La medición de las cantidades de Xe 133 y Xe 135 en el aire de muestra debería emplear dos detectores, semejantes entre sí:

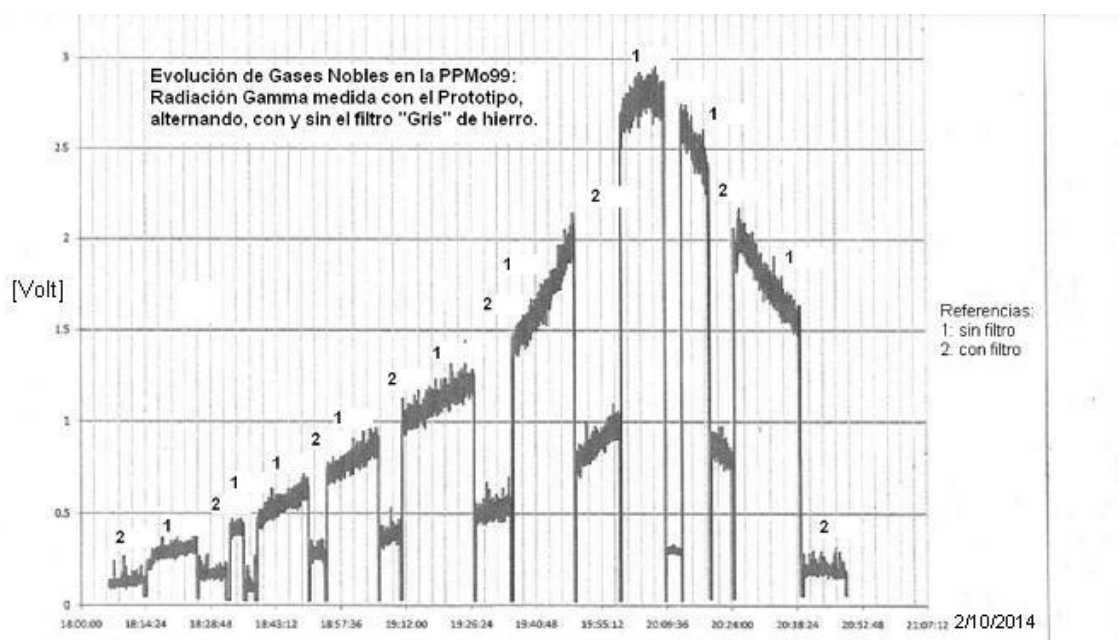
1. Uno de los sensores mide la señal gamma del Xe 133 y Xe 135
2. Otro de los sensores mide la señal gamma del Xe 135.

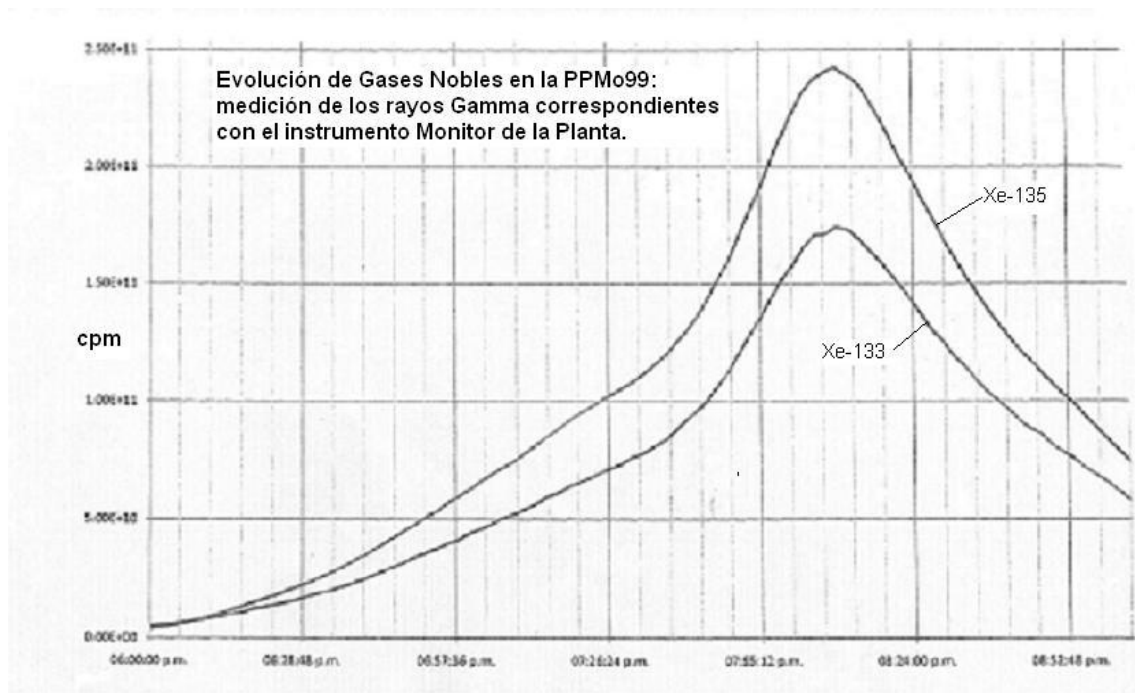
La discriminación se hace con un “filtro gris” que es un tubo de hierro que se interpone entre la Muestra y el Detector. Este filtro atenúa casi totalmente los 81 Kev del Xe 133, pero atenúa parcialmente la radiación del Xe 135.

Dado que este es un ensayo de carácter experimental, se hace una simulación:

1. En esa simulación, el “filtro gris” se introduce y se retira, en forma manual, del detector.
2. Se obtienen así los valores que corresponderían a las señales con y sin filtro.
3. De estos dos valores se deduce la concentración de actividad de Xe 133 y Xe 135 en el aire de muestra.
4. A esos efectos el instrumento debe ser calibrado, y los factores de atenuación del filtro determinado empíricamente.

El siguiente gráfico muestra un registro de esta experiencia. Como referencia se muestra un registro simultáneo producido por el Monitor de la Planta.





Notar que:

1. La envolvente de menor valor es proporcional, prácticamente, a la actividad de Xe 135 en la muestra
2. La envolvente de mayor valor es proporcional, con factores de peso a determinar por calibración, a la actividad de Xe 133 y Xe 135 en la muestra.
3. Del conocimiento de esos valores (y de constantes de calibración) se obtienen las concentraciones de la actividad de ambos nucleídos en la muestra.
- 4.

10. PROTOTIPO DETECTOR BETA

En este caso el detector es una cámara de ionización que permite la circulación interna del aire a monitorear, y tiene un volumen sensible del orden del litro. Es un sensor beta, adecuado para medir gases nobles radiactivos y tritio, y relativamente insensible para la medición de radiación gamma.

El aire de muestra circula forzado por una pequeña bomba, que está incorporada en los equipos de la Central.

El Sistema es, intrínsecamente, de muy amplio rango de medición. La señal de Fondo es del orden de algunos femtoAmpere, y la capacidad de medición del detector se extiende por muchas décadas por encima de este valor.

Un detector de este tipo no permite discriminar entre $\text{Xe } 133$ y $\text{Xe } 135$, sino que da una indicación de la actividad global de esos gases.

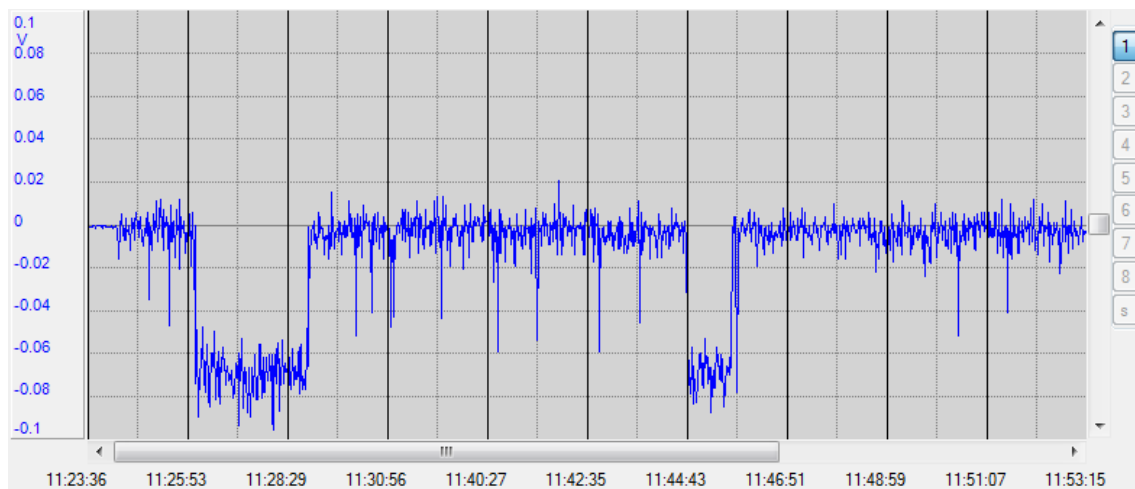
Dado que el tritio es un emisor beta puro, la detección beta es imprescindible.

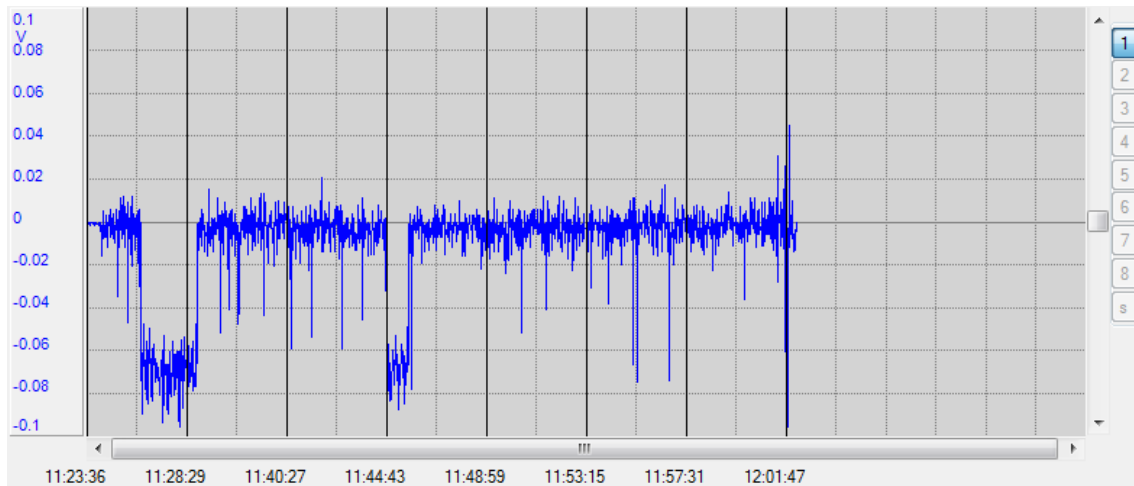
10.1 DETECCIÓN BETA DE GASES NOBLES EN CNA1

Los gráficos que siguen muestran la señal de Fondo del Prototipo Detector Beta, previo a las mediciones con gases nobles ($\text{Xe } 133$). La señal toma (arbitrariamente) valores negativos.

Observar el nivel de señal y ruido presente en esas condiciones, y su constancia en el tiempo.

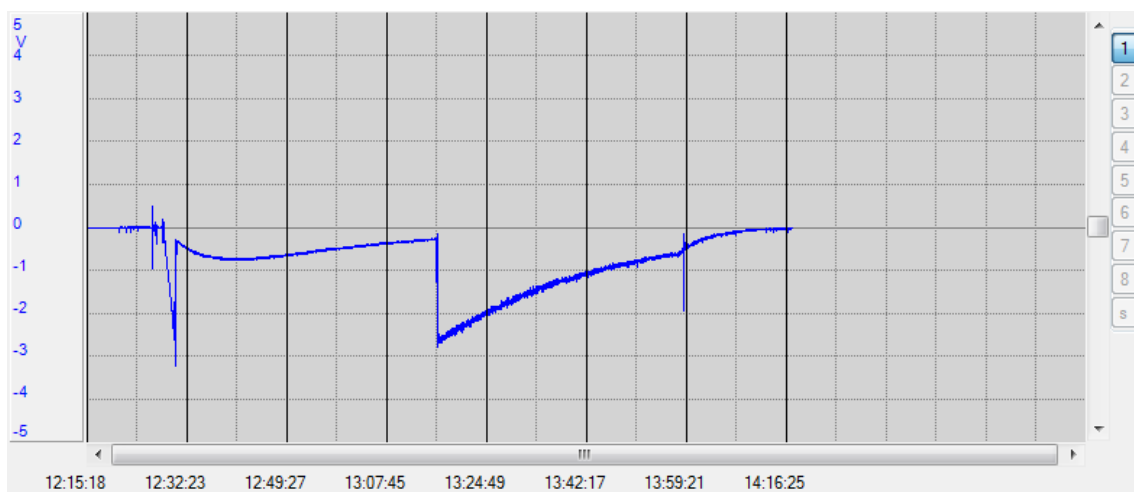
Notar la señal producida por una pequeña fuente radiactiva, que sirve para indicar que el sistema está activo.





El gráfico siguiente muestra la evolución temporal de una muestra de aire con Xe 133.

Esta muestra es también medida por un instrumento Kimmel, en serie con el Detector Prototipo. Se podrá así comparar las mediciones del Prototipo Beta con las del Kimmel.



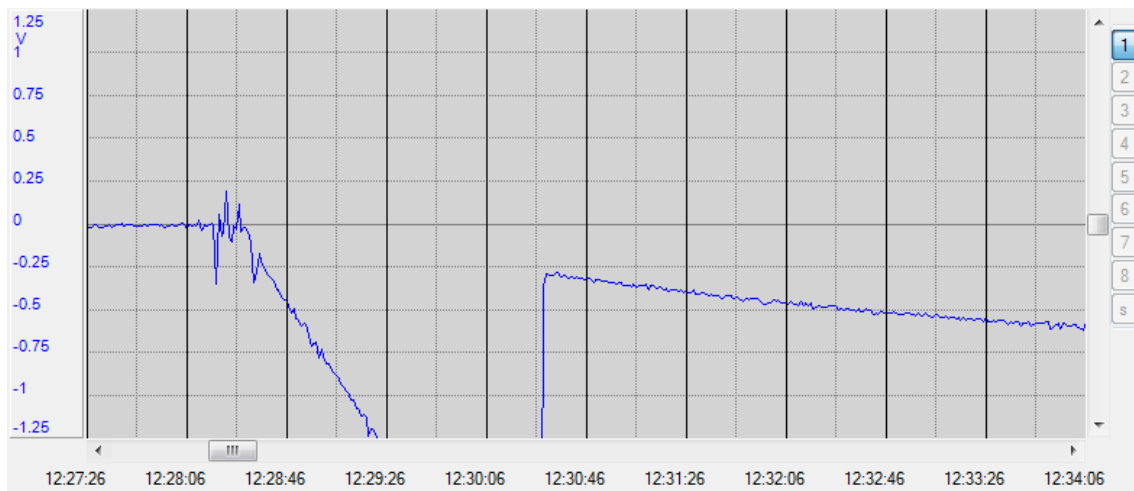
Siguen algunos comentarios sobre la señal observada:

Hora 12.17 Zero, o nivel de cero del preamplificador. (Aproximado 0 fA)

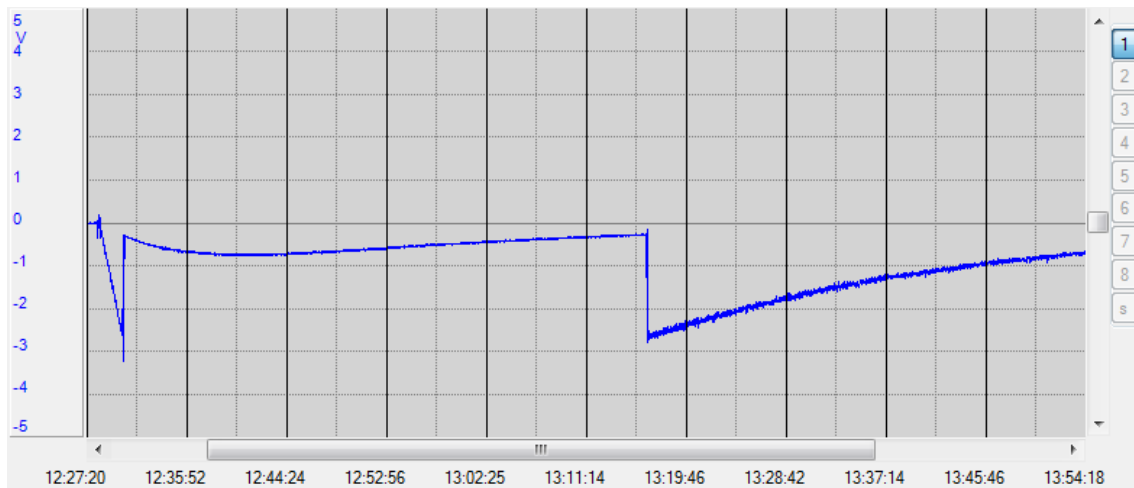
Hora 12.24 Nivel de Fondo (Aproximado 5 fA)

Hora 12.28 Se inyecta aire con trazas de Xe 133.

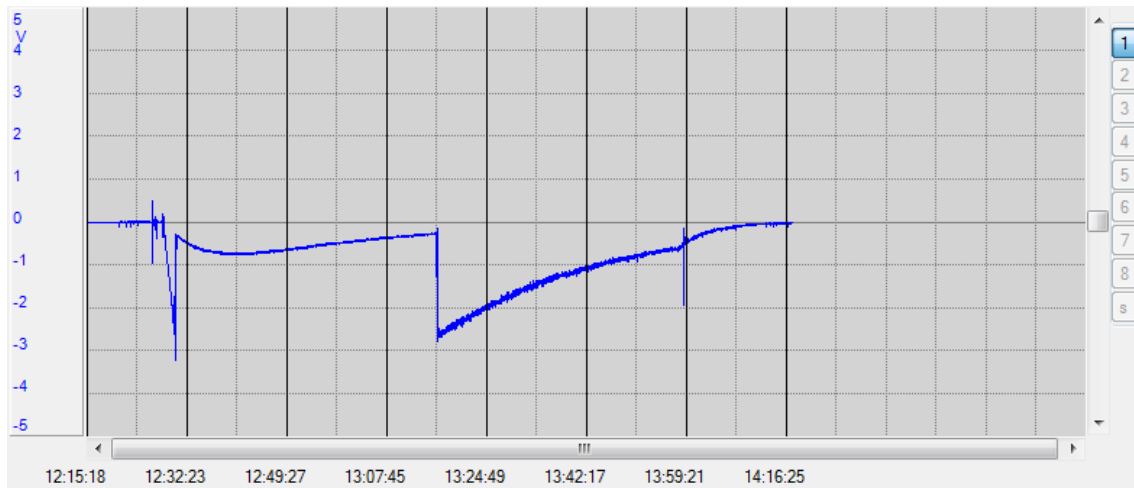
Se tiene un crecimiento de la señal, consecuencia del reemplazo progresivo del aire del detector por aire radiactivo.



Hora 12.30 Se efectúa un cambio de escala a 0.1 mV/fA , para evitar saturación.



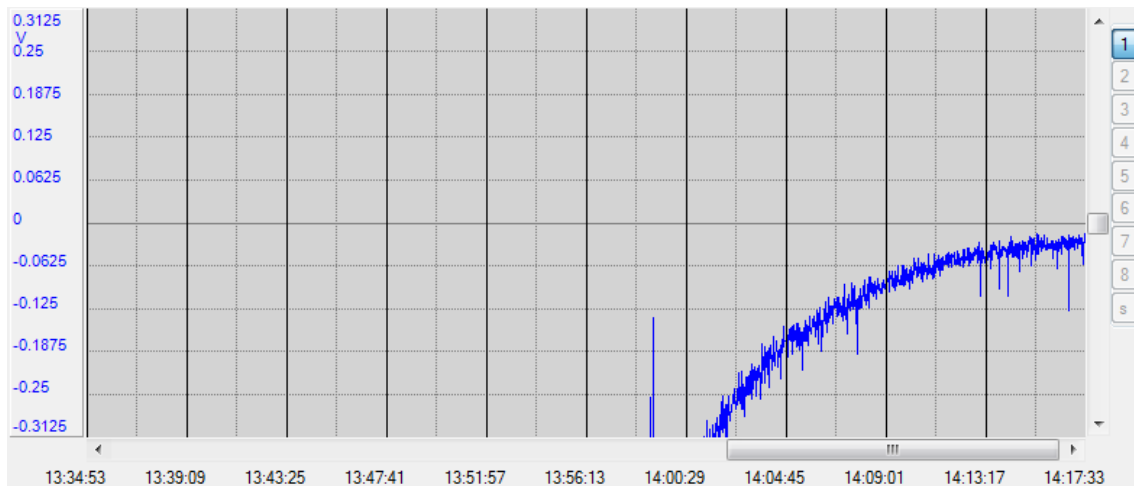
Hora 13.15 Se efectúa un cambio de escala a 1 mV/fA .



Hora 13.59 Se acelera el proceso de eliminación de Xe 133.

Hora 14.17 Se muestra la aproximación al Fondo.

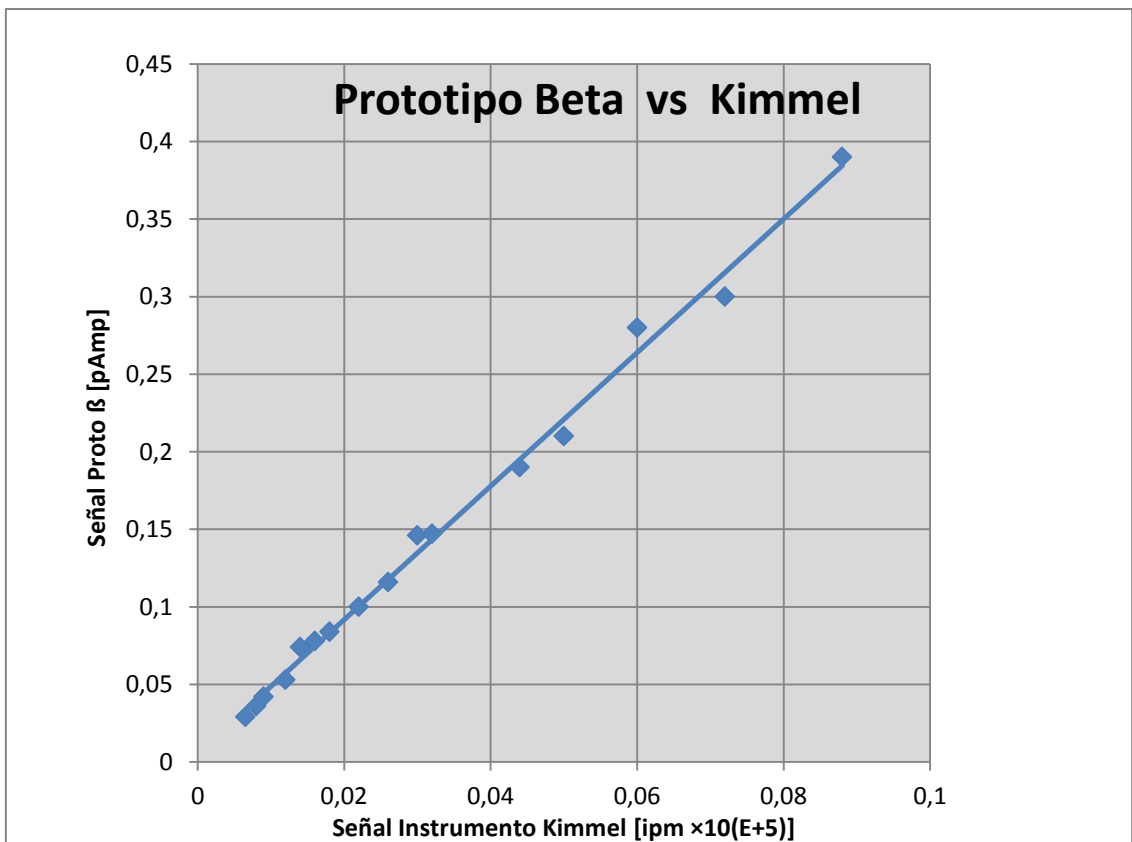
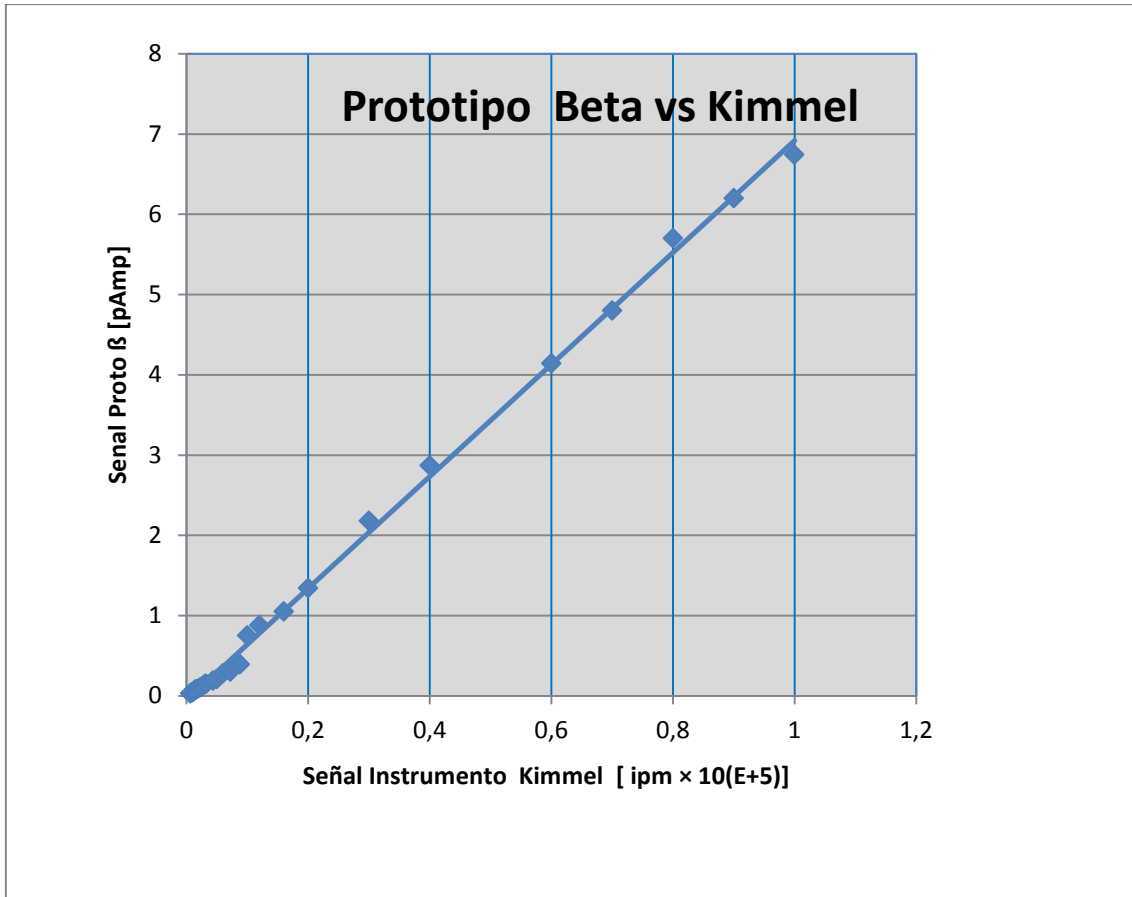
Se da por terminada la experiencia.



Dado que la muestra circula por el interior de ambos detectores, es posible comparar las lecturas de ambos instrumentos. Estas mediciones se hacen manualmente, en condiciones precarias, y con gran error de apreciación.

Las lecturas sobre el Kimmel van de 100000 impulsos por minuto a prácticamente su nivel de Fondo.

Las lecturas sobre el prototipo van de unos 7 picoAmpere a su Fondo. Este Fondo es de algunos femtoAmpere. Una comparación de lecturas entre ambos instrumentos se muestra en el gráfico siguiente. Notar que a pesar de las pobres condiciones de medición, la correlación es bastante lineal.



OBSERVACIÓN:

Notar que las mínimas corrientes de señal medidas por el Prototipo Beta corresponden a un Fondo de algunos fAmp.

Este sería su límite inferior de medición.

En esta experiencia se miden corrientes máximas de uno 10 pAmp, y se está cerca del límite de saturación de los instrumentos de la Central.

El Prototipo Beta tendría capacidad de medición hasta el microAmp, y sin saturación.

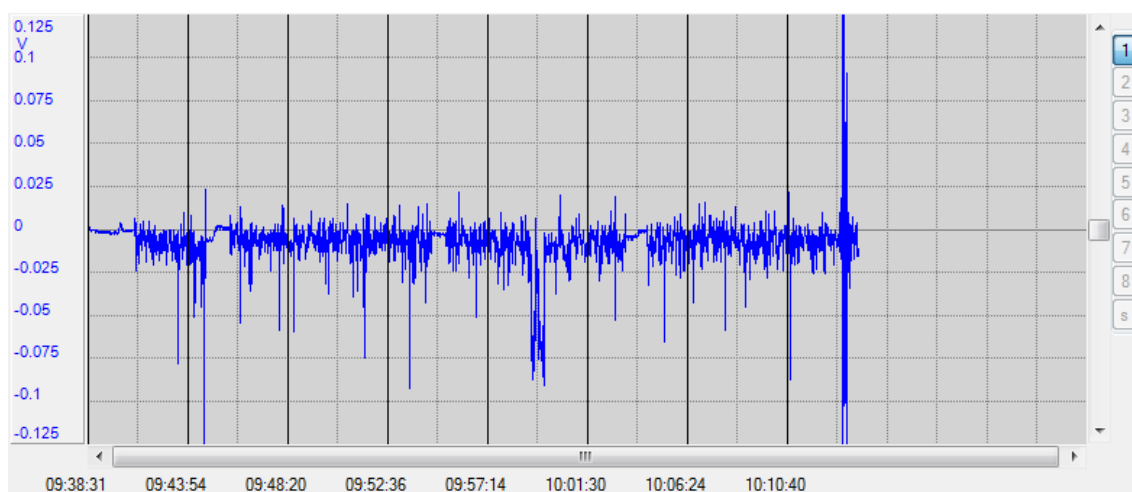
Este sería su límite superior de medición.

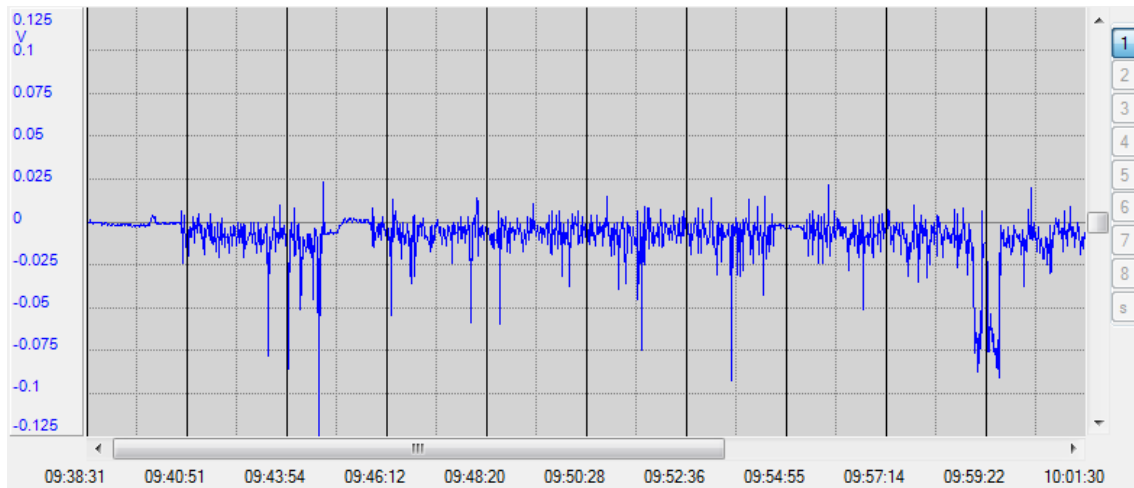
10.2 DETECCIÓN BETA DE TRITIO EN CNA1

Los gráficos que siguen muestran la señal de Fondo del Prototipo Detector Beta, previo a las mediciones con tritio. La señal toma (arbitrariamente) valores negativos.

Observar el nivel de señal y ruido presente en esas condiciones, y su constancia en el tiempo.

Notar la señal producida por una pequeña fuente radiactiva, que sirve para indicar que el sistema está activo.



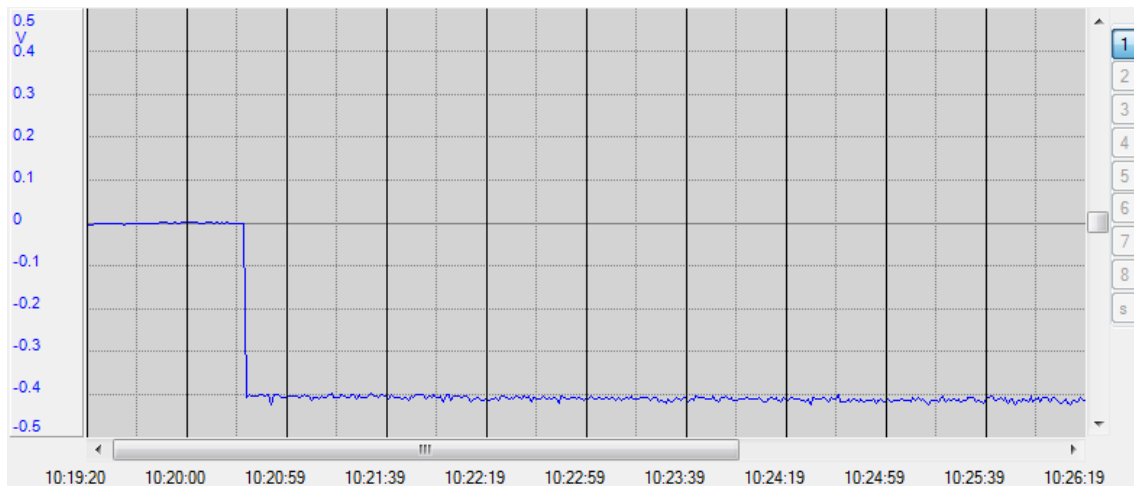


En las figuras siguientes se observa la evolución temporal de una muestra con tritio.

El reactor se encuentra operando normalmente. Una muestra continua de aire es extraída de la contención. El principal componente radiactivo de esa muestra es el tritio.

La muestra es también es medida por un instrumento Overhoff, colocado en serie con el Prototipo.

Ello permite comparar las lecturas que se obtengan de ambos instrumentos.



Siguen comentarios sobre la señal observada;

1. La señal de Fondo es del orden de algunos fAmp.
2. El nivel de tritio que se presentó satura la electrónica del instrumento Prototipo, lo que obliga a un cambio de escala en el electrómetro. La sensibilidad es disminuida a 0.1 mV/fA.

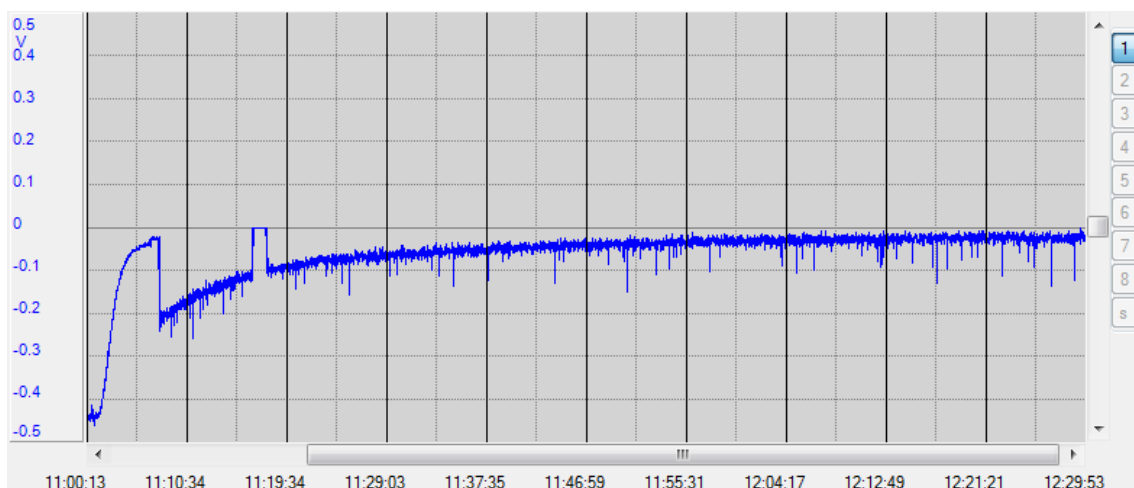
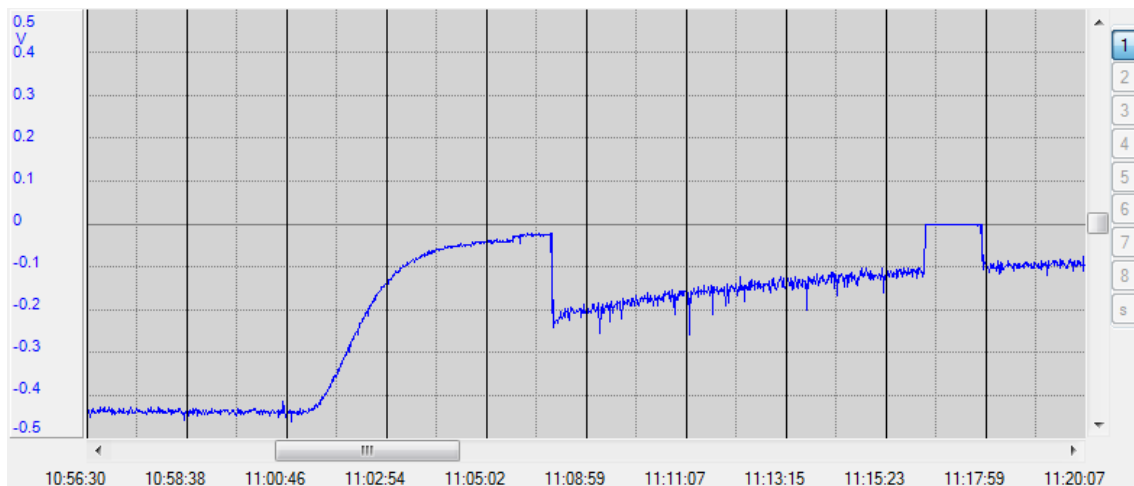
3. El nivel de señal observado es de unos 4000 fAmp, unas 1000 veces mayor que el Fondo.
4. La indicación del instrumento es aproximadamente 2814 microCurie por metro cúbico, y corresponde a una señal de 4070 fAmp para el Prototipo.
5. El límite de detección en estas condiciones es del orden de 7 microCurie por metro cúbico.

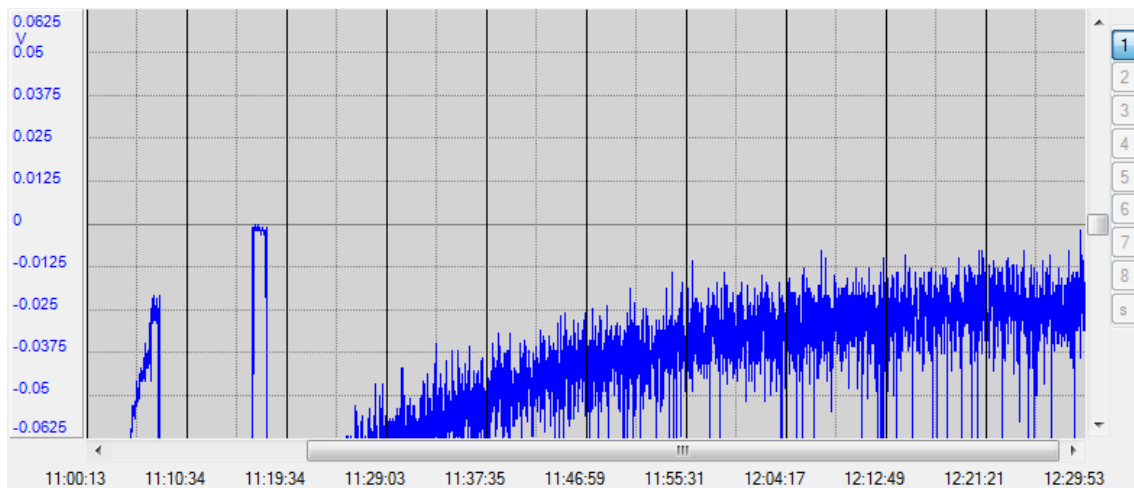
El gráfico siguiente muestra el proceso de descontaminación (o lavado por aire) de los detectores.

Es un proceso lento, por la facilidad de adsorción del agua (tritiada) por parte de los materiales que tienen contacto con la muestra.

Notar el cambio de escala a 1 mV/fA que se efectúa a las 11.07 Horas.

Notar la aproximación al Fondo en la indicación del Prototipo.



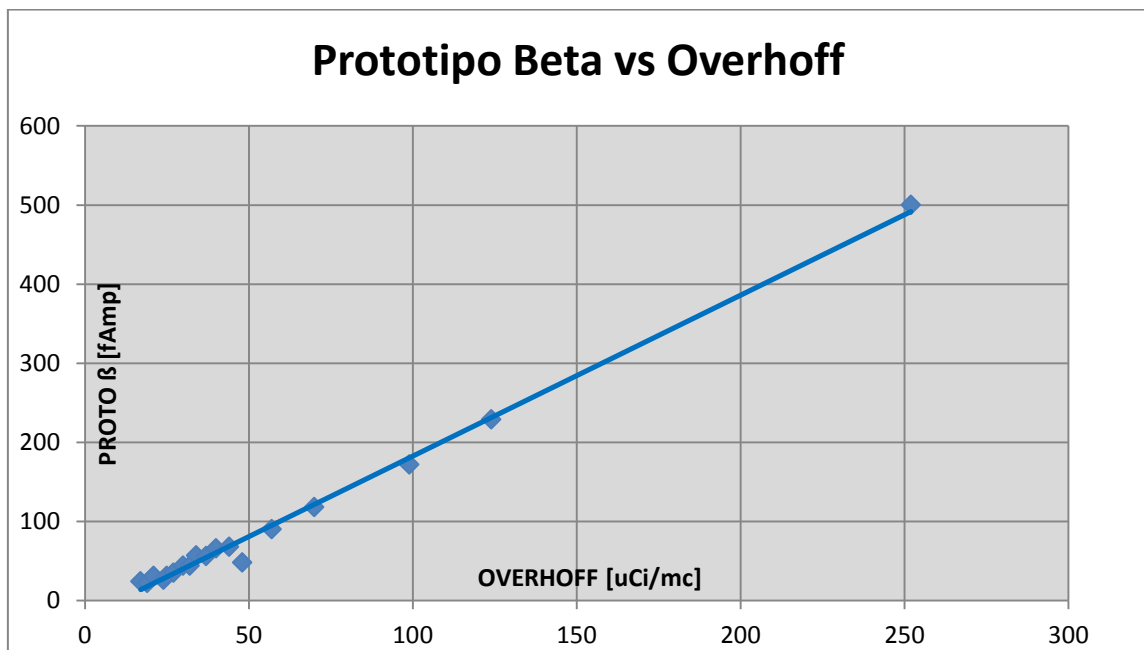
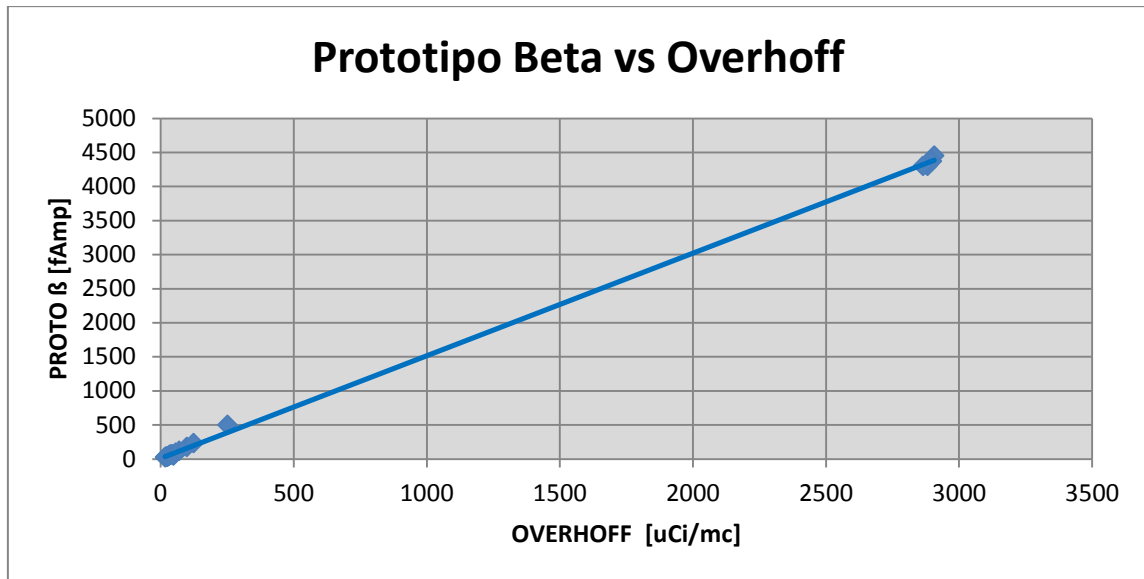


Se hace una comparación entre las indicaciones del prototipo en ensayo y un instrumento medidor de tritio (Overhoff). En esta experiencia, ambos equipos se conectan en serie. Una pequeña bomba de aire, perteneciente al Overhoff, fuerza la circulación de aire en ambos detectores. La muestra a medir (aire con trazas de agua tritiada) se toma del Recinto del Reactor.

En consecuencia, es posible correlacionar la lectura de esos instrumentos ante una muestra, prácticamente idéntica, del aire a monitorear, y comparar las características funcionales del Prototipo Monitor con un instrumento convencional de la Central.

Las lecturas sobre el Overhoff se hacen en forma directa a partir de sus instrumentos indicadores. Las lecturas sobre el Prototipo Beta son continuas y provistas por el sistema de adquisición de datos mencionado anteriormente.

Dadas las condiciones precarias de estas mediciones hay un gran error de apreciación, y no se pudieron coleccionar datos en todo el rango de medición. A pesar de ello, se observa una correlación lineal.



Valen las consideraciones anteriores que se hicieron sobre el Prototipo Beta en las mediciones de gases nobles:

Notar que las mínimas corrientes de señal medidas por el Prototipo Beta corresponden a un Fondo de algunos fAmp.

Este sería su límite inferior de medición.

En esta experiencia se miden corrientes máximas de unos 10 pAmp, y se está cerca del límite de saturación de los instrumentos de la Central.

El Prototipo Beta tendría capacidad de medición hasta el microAmp, y sin saturación. Este sería su límite superior de medición.

11. CONCLUSIONES

1. Se presenta un Sistema Monitor de Gases Radioactivos para la determinación de la radioactividad en aire en una Facilidad Nuclear. Este Sistema presenta, a la vez, una alta sensibilidad y un muy amplio rango de operación.
2. Esta instrumentación se considera apta para ser usada como instrumentación de accidente y como instrumentación de respaldo en una Central Nuclear.
3. Mide, en amplio rango, gases nobles radiactivos.
4. Discrimina, en amplio rango, entre Xe 133 y Xe 135.
5. Mide, en amplio rango, tritio en aire.
6. Discrimina, en amplio rango, tritio de gases nobles.
7. Para bajos niveles de radiación, la señal del Monitor se superpone, en una parte significativa, con la indicación de la instrumentación normal de la Central. En algunos casos, la superposición es casi completa.
8. Para niveles de radiación medio y altos, el Monitor supera, en muchos órdenes de magnitud, la capacidad de medición de la instrumentación normal de la Central.
9. El Monitor es de concepción y construcción en extremo simple, y no tiene elementos críticos, y no usa gas metano para la detección. También es particularmente simple su operación, calibración y mantenimiento.

12. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a:

Sr. Ariel Novello y Sr. Mauro Milidoni, de la Planta de Producción de Mo99, del Centro Atómico Ezeiza, el gran apoyo prestado.

Se agradece a:

Sr. Armando Frediani, de la Central Nuclear Atucha 1, el gran apoyo prestado.

13. REFERENCIAS

- 01 IAEA Technical Reports Series No. 387 (1999): Modern Instrumentation and Control for Nuclear Power Plants: A Guidebook .
- 02 IEEE Std 497 – 2010 (2010): IEEE Standard Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Generating Stations.
- 03 U.S. Nuclear Regulatory Guide 1.97 Rev 3 (1983): Instrumentation for Light Water Cooled Nuclear Power Plants to Assess Plant and Environs Conditions during and following an Accident.
- 04 German KTA 1503.2 (2013-119)(2013): Monitoring the Discharge of Radioactive Gases and Airborne Radioactive Particulates. Part 2: Monitoring the discharge of Radioactive matter with the Vent Stack Exhaust Air During Design Basis Accidents.
- 05 Nuclear Plant Accident Instrumentation; E. Matatagui, M. Miller, S. Thorp, J. Villanueva (1996): 1996 American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies.
- 06 Sistema Monitor de Gases Radioactivos; J. Egey, E. Matatagui (2013); Sesiones de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear AATN (2013).
Sistema Monitor de Gases Radioactivos; J. Egey, E. Matatagui (2015); Sesiones de IRPABUENOSAIRE2015 (2015).

ANEXO 1:

CONDICIONES GENERALES PARA UNA INSTRUMENTACIÓN DE ACCIDENTE.

Luego de los accidentes de TMI y Chernobyl el tema de disponer de instrumentación monitorea para accidentes cobra importancia.

En un accidente, consideración especial merece la contención del material radiactivo presente en el núcleo del reactor.

El inventario de este material radiactivo es enorme.

De producirse una ruptura en las barreras de contención, cantidades significativas de radioactividad podrían ser liberadas al ambiente interno de la Instalación y al medio ambiente exterior.

En condiciones de accidente, el operador requiere de información para:

1. Tomar acciones de control manuales (planificadas en el diseño de la Facilidad), para las cuales un control automático no está previsto, y que sean necesarias para prevenir o mitigar las consecuencias del accidente.
2. Determinar si Funciones Críticas de Seguridad, (relacionadas, por ejemplo, con el control de la reactividad, enfriamiento del núcleo, integridad del sistema de enfriamiento, sumidero de calor, integridad de las barreras de contención de productos de fisión, entre otras) están siendo amenazadas o están siendo controladas por los Sistemas de Seguridad de la Planta.

Para poder cumplir las acciones arriba indicadas, una cantidad de Variables deben ser definidas y medidas. (Ref. 01).

Estas Variables pueden ser agrupadas en las siguientes Categorías:

A. Variables específicas de la Planta.

Proveen información respecto al cumplimiento de funciones específicas de seguridad y que requieren que el operador tome acciones en forma manual, al no estar disponibles acciones automáticas.

Estas Variables deberían ser seleccionadas de acuerdo al análisis de accidentes y los procedimientos de emergencia de la Instalación.

B. Variables que informan sobre las Funciones Críticas de Seguridad.

Indican si estas Funciones Críticas de Seguridad están siendo cumplidas o están siendo amenazadas.

El proceso de selección incluye la identificación de aquellas Variables monitoreadas que proveen la indicación más directa necesaria para estimar la perturbación en esas Funciones. (Ref.02)

- C. Variables que proveen información sobre la ruptura potencial o real de una barrera de contención de productos de fisión (por ejemplo ruptura de elementos combustibles, del sistema de enfriamiento, o del recinto contenedor del reactor).(Ref. 02)
- D. Variables que informan sobre radiactividad interna. De producirse la ruptura de una barrera de contención, radiactividad podría pasar a Sectores de la Instalación que normalmente no contienen radioactividad.(Ref.02)
- E. Variables que informan sobre radiactividad que pasa al medio ambiente externo. De producirse la ruptura de una barrera de contención, podría pasar radiactividad de la Planta al medio ambiente exterior. (Ref. 02).

Variables de la Categoría B

Tienen que ver con mediciones termo hidráulicas, tales como las que hacen al sistema enfriamiento del reactor y al mantenimiento de su integridad.

Estas Variables requieren mediciones convencionales de presión, nivel, temperatura, y también químicas (concentración de hidrógeno, concentración de boro, por ejemplo) a realizar en los lugares que se consideren significativos dentro de la Central.

Variables de la Categoría C

Corresponden a mediciones termo hidráulicas y mediciones de radiación y radioactividad. Los siguientes parámetros deberían ser monitoreados:

- Radioactividad en el sistema de enfriamiento del reactor
- Radioactividad en el Recinto de Contención del reactor
- Radiación Gamma en el Recinto de Contención del reactor
- Radiación Gamma en puntos fuera del Recinto de Contención del reactor
- Concentración de radionucleidos especificados en puntos determinados

Variables de la Categoría D

Informan sobre los niveles de radiación y radioactividad en áreas seleccionadas de la Central.

En ese contexto tiene especial relevancia la detección y cuantificación de los niveles de radiactividad y radiación que se presentan en diversos sectores de la Planta.

Ello sirve para determinar las condiciones de trabajo de los operarios y también para evaluar y diagnosticar sobre la dispersión de material radioactivo.

Las correspondientes mediciones deberán realizarse en sectores donde el acceso de personal puede ser requerido para la recuperación de la Planta. En ese sentido el monitoreo en Sala de Control es especialmente relevante.

Variables de la Categoría E

Miden el nivel de la radioactividad (y su composición relativa) que se libera al medio ambiente exterior.

Esta medición es mandatoria.

Ello es para la protección del público y del medio ambiente. Por lo tanto, una cantidad de Variables deben ser seleccionadas para monitorear y cuantificar esas emisiones. Esa selección debe incluir, entre otras:

- Monitorear la magnitud de la liberación de material radiactivo a través de caminos identificados (por ejemplo a través del efluente de chimenea).
- Monitorear las condiciones ambientales (velocidad y dirección de viento, etc.) para estimar el impacto en el ambiente de la liberación de material radioactivo a través de caminos identificados.
- Monitorear el nivel de radiación y radioactividad en los alrededores de la Central.
-

ANEXO 2:

MATERIALES RADIATIVOS EN UNA CENTRAL NUCLEAR

En caso de accidente, un camino para la dispersión de material radiactivo dentro de la Planta es el aire ambiental. El efluente en chimenea sigue siendo un camino principal para la liberación de radiactividad al ambiente exterior.

En consecuencia, el monitoreo de la radioactividad en aire es fundamental.

En este sentido, es conveniente el monitoreo del gas ambiental en recintos seleccionados de la Planta, pero es mandatorio la medición continua del efluente gaseoso en Chimenea.

Se procura obtener alguna información sobre el tipo y cantidad de, al menos, los radioisótopos más significativos que podrían estar presentes.

En el caso de un accidente deben ser considerados isótopos de vida media corta y larga.

Ellos incluyen isótopos de gases nobles, por ejemplo isótopos de xenón y kriptón, telurio e iodo (especialmente iodo 131) y radionucleidos volátiles, particularmente isótopos del cesio (Cs 134 y Cs137). A ello hay que agregar, para nuestras Centrales, que utilizan agua pesada como moderador y refrigerante, la presencia de una cantidad muy importante de tritio.

1. GASES NOBLES RADIOACTIVOS Y TRITIO

El monitoreo de aire, para determinar su contenido en gases nobles radiactivos, es de principal importancia.

En caso de accidente, grandes cantidades de material radiactivo podrían ser liberados. En particular, los gases nobles no pueden ser retenidos fácilmente y podrían pasar al ambiente externo con el aire de ventilación.

Un listado de gases nobles radiactivos y su respectiva vida media es:

Ar 41	109.3	m	Xe 131m	11.8	d
Kr 85	10.7	a	Xe 133	5.24	d
Kr 85m	4.5	h	Xe 135	9.14	h
K 87	76	m	Xe 135m	15.29	m
Kr 88	2.8	h	Xe 137	3.82	m
Kr 89	3.1	m	Xe 138	14.1	m

El Ar 41 es un producto de activación del aire. Los restantes gases son productos de fisión.

La mayoría de estos gases tienen vida media muy corta o muy larga para que presenten un gran interés, tanto en situación de operación normal como en situación de accidente.

La medición de Xe 133 y Xe 135 tiene especial interés, tanto por la presencia de un gran inventario en el núcleo del reactor, como por tener vida media intermedia.

En la operación normal de una Central, Xe 133 es el radioisótopo más significativo. En una situación de accidente, la cantidad de Xe 135 que se presenta puede ser muy importante.

En consecuencia, es de interés discriminar entre Xe 133 y Xe 135 y cuantificar, por separado, las respectivas cantidades.

(La discriminación entre Xe 133 y Xe 135 se hace por espectrometría gamma, pero, en este trabajo, se los discrimina utilizando un procedimiento especial).

El tritio es un radio nucleído importante a considerar.

El inventario de tritio en el moderador y en el refrigerante del primario de nuestras Centrales es muy grande. El tritio se presenta como agua tritiada, en la forma química DTO.

El tritio es un emisor beta puro de muy baja energía, y su detección requiere que la muestra a medir se introduzca en la zona sensible del detector.

2. RADIO IODOS Y PARTÍCULAS RADIATIVAS

El presente Trabajo no considera la medición de este tipo de nucleídos.

Sin embargo, el desarrollo de Sistemas Monitores con amplio rango y uso continuo sería factible con los métodos aquí propuestos.

El iodo 131 es el principal isótopo del iodo en lo que respecta a dosis al público. Los radio iodios pueden presentarse como iodo elemental, orgánico o acoplado a aerosoles.

La alta presión de vapor de estas formas de iodo hace que no pueda ser retenido en filtros de partículas. Son más eficientemente retenidos en filtros de carbón activado o de zeolitas.

Por otro lado, emisores beta gamma que se presentan como partículas tienden a acoplarse a aerosoles, y una característica principal de los aerosoles es que pueden ser retenidos en filtros. Filtros de partículas y carbón son usualmente medidos fuera de línea por la instrumentación de la Central.

ANEXO 3:

RADIOISÓTOPOS DE INTERÉS

Este trabajo se refiere al desarrollo de un instrumento de medición de amplio rango, a ser usado como Monitor en la detección de los siguientes gases radiactivos:

1. Gases nobles radiactivos.
2. Tritio, principalmente en la forma de agua tritiada (DTO).

Estos gases, desde el punto de vista radiológico, presentan el mayor interés. En la práctica, se presentan como trazas y mezclados con aire. Es importante cuantificar el contenido isotópico radiactivo de esas mezclas.

Usualmente, esa cuantificación se hace con espectrometría gamma de alta resolución, pero esta técnica no sería aplicable en nuestro caso: El rango de medición de esta instrumentación es muy reducido.

Como se mencionó anteriormente, Xe 135, Xe 133 y tritio son del mayor interés, por lo que debería disponerse de métodos de medición para:

3. Discriminar cuantitativamente entre gases nobles y tritio
4. Discriminar cuantitativamente entre Xe 135 y Xe 133

Las características nucleares de estos isótopos de interés son:

Isótopo Gamma	Energía Beta Media	Vida Media	Energía Gamma	%
H 3	5.68 Kev	12.3 a	-----	-----
Xe 133	100 Kev	5.24 d	81 Kev	37 %
Xe 135 90 %	302 Kev	9.4 h	250 Kev	

Notar que el Xe 133 tiene una baja energía gamma respecto a la energía gamma del Xe 135. Se hace notar que en esa zona de baja energía la interacción fotoeléctrica es importante. Se puede sacar ventaja de esta interacción gamma. En particular:

5. Utilizando el efecto fotoeléctrico se podrá cuantificar las cantidades de Xe 133 y Xe 135 que se encuentran en el aire de muestra.
- 6.

ANEXO 4

ESTADÍSTICA DE LA SEÑAL

La señal de un detector del tipo cámara de ionización es una corriente eléctrica. La medición de esa corriente permitirá obtener información sobre el campo de radiaciones que le da origen.

Si el campo de radiación se mantiene constante en el tiempo, la señal será, en principio, una corriente continua constante (o DC).

Si se observa la evolución en el tiempo de la señal, se encuentra que la misma fluctúa, y se dice que la misma presenta una componente de ruido, o una componente aleatoria (o AC).

Esta “señal ruidosa” tiene una razón de carácter fundamental: Se debe al carácter discreto de la radiación y de su interacción con la materia.

En efecto, la radiación se presenta como una sucesión aleatoria de eventos. De la interacción de esos eventos con el detector resulta una sucesión aleatoria de pulsos eléctricos.

Estos pulsos, en extremo pequeños, no pueden ser resueltos con este tipo de detector. Lo que se observa, (y se puede cuantificar), son resultados o promedios estadísticos. Esas cantidades estadísticas resultan del análisis temporal de la señal.

En la (Ref. 06) se estudian con algún detalle algunas de estas cuestiones.

Los promedios estadísticos de interés que se pueden medir son:

1. El valor medio de la señal $I(t)$, valor que toma la forma:

$$\langle I(t) \rangle = \langle I \rangle = \langle Q \rangle \langle N'(t) \rangle$$

2. La variancia de la señal $I(t)$, valor que toma la forma:

$$(\text{var } I) = \langle ((I(t) - \langle I \rangle)(I(t) - \langle I \rangle)) \rangle = \langle QQ \rangle \langle N'(t) \rangle (1/T)$$

Donde $\langle N'(t) \rangle$ es la tasa de cuentas promedio de la sucesión de eventos detectados

$\langle Q \rangle$ es la carga eléctrica media generada por evento detectado

$\langle QQ \rangle$ es la carga cuadrática media generada por evento detectado

T es el tiempo de medición. El tiempo de medición T determina el nivel de fluctuación, (o indeterminación) en el cálculo de la corriente media $\langle I \rangle$

Notar que tanto el valor medio de la señal como su variancia dan información sobre $\langle N'(t) \rangle$ que es la tasa media de eventos que se detectan, pero observar que esas cantidades estadísticas tienen un diferente factor de peso, ya que toma en cuenta la carga Q generada en el evento de detección.

Si el gas de muestra contiene dos especies radiactivas, A y B , valdrán las relaciones siguientes para el valor medio y la variancia:

$$\langle I \rangle = \langle I_A \rangle + \langle I_B \rangle$$

$$(\text{var } I) = (\text{var } I_A) + (\text{var } I_B)$$

En “casos favorables”, para los que las cargas (Q_A y Q_B) generadas en los eventos de detección son suficientemente diferentes, podremos obtener información sobre las cantidades de los materiales radioactivos A y B contenidos en la muestra en estudio.