

## **SEGURIDAD RADIOLÓGICA DE EQUIPOS PORTÁTILES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA.**

**Miguel Angel Cateriano**  
**AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR**  
**Av. Del Libertador 8250**  
**(C1429BNP) Ciudad Autónoma de Buenos Aires**  
**República Argentina**  
[mcateria@sede.arn.gov.ar](mailto:mcateria@sede.arn.gov.ar)

### **Resumen**

Los medidores industriales con fuentes encapsuladas, son utilizados intensamente en la actualidad, debido a los beneficios económicos que generan. Su utilización en todo el mundo se ha reflejado en una mejora de la calidad del producto analizado, y de una optimización del proceso de producción, permitiendo realizar estas mediciones y controles sin interrumpir el proceso y en forma no destructiva, generando a su vez un ahorro de energía y de materiales. Si bien estos medidores industriales son intrínsecamente seguros por diseño, en los medidores portátiles su seguridad además esta fuertemente regida en el estricto seguimiento de procedimientos y en la adecuada capacitación del personal que operan estos equipos, En la República Argentina, en el año 2005, la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) tenía registrados una cantidad de 160 equipos portátiles. En el periodo 1.995-2003 se produjeron 2 incidentes con estos equipos, uno de ellos empleado para medir humedad de suelos de marca Troxler conteniendo una fuente de Am-241(Be) de 370 MBq, y el restante, también de marca Troxler, utilizado para medir densidad y humedad de suelos conteniendo 2 fuentes de: Cs-137 de 296 MBq y Am-241(Be) de 1,48 GBq respectivamente. Los incidentes se desarrollaron sin que se hayan producido implicancias radiológicas de relevancia. En este trabajo, se analizan los citados incidentes con el objeto de determinar las causas que originaron los mismos, para así poder elaborar recomendaciones con el fin de corregir errores y disminuir la probabilidad de recurrencia, mejorando la seguridad en el uso de estos equipos. De los análisis de estos incidentes resultó que se debía poner más énfasis en la capacitación y entrenamiento del personal y el fortalecimiento de la cultura de seguridad en el uso de los medidores industriales. Se presenta además un panorama actualizado del inventario de equipos y fuentes y usuarios que poseen estos medidores portátiles en la República Argentina.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Dentro de las aplicaciones con medidores industriales, la que representa mayor riesgo radiológico es la de la actividad petrolera y dentro de esta la práctica de perfilaje de pozos, dado por la actividad de las fuentes encapsuladas gamma y de neutrones que se utilizan, por ser equipos móviles, y por las tareas que se realizan al extraer la fuente de su blindaje, colocarla y ajustar en una herramienta especial asociado a un detector que luego desciende al pozo.

Otros equipos que son portátiles también pueden plantear un riesgo radiológico potencial , estos mayormente son utilizados para medir humedad de suelos utilizando fuentes de neutrones, para medir contenido de asfalto con fuente de neutrones, y los restantes para medir densidad y humedad de suelos con fuentes gamma y de neutrones, el riesgo radica en que se debe extraer la fuente de su blindaje para realizar la medición, el desplazamiento de estos equipos por todo el territorio nacional, y en que la seguridad de la práctica se basa más en la aplicación y el seguimiento de procedimientos, que en la seguridad intrínseca que brinda el diseño del equipo.

En este trabajo se abordaran 2 incidentes con estos equipos, uno de ellos empleado para medir humedad de suelos de marca Troxler conteniendo una fuente de Am-241(Be) de 370 MBq, y el restante también de marca Troxler, utilizado para medir densidad y humedad de suelos conteniendo 2 fuentes de: Cs-137 de 296 MBq y Am-241(Be) de 1,48 GBq respectivamente, los incidentes se desarrollaron sin que se hayan producido implicancias radiológicas de relevancia. En el primer incidente, un vehículo que transportaba un medidor de humedad, fue robado, quedando fuera de control el equipo medidor durante varios días, culminando con su posterior recuperación sin que se detectaran incidentes de tipo radiológico en los miembros del público, con respecto al segundo incidente un medidor de densidad y humedad fue golpeado por una maquina vial mientras realizaba tareas de medición en un ruta .

## **2. MARCO REGULATORIO APLICABLE A EQUIPOS PORTÁTILES**

En Argentina, la Autoridad Regulatoria Nuclear(A.R.N.), es el organismo que controla y regula el uso de material radiactivo y nuclear, con respecto a la seguridad radiológica y nuclear, protección física y en materia de no proliferación nuclear. El sistema regulatorio abarca un sistema de registro, licenciamiento y régimen de inspecciones. Las instalaciones que utilizan medidores industriales corresponden a Instalaciones Clase II de acuerdo a lo establecido en la Norma Básica de Seguridad Radiológica AR 10.1.1 Rev. 3 [1], requiriendo para su operación de una Licencia de Operación y un Responsable por la seguridad radiológica con permiso individual vigente.

Los requisitos que debe cumplir toda persona para solicitar y renovar permisos individuales, están establecidos en la Norma Permisos Individuales Para Operadores De Fuentes De Radiación Para aplicaciones Industriales AR 7.11.2 [2]., y particularmente, los aspectos de seguridad radiológica y seguridad física para la operación de un medidor industrial, se encuentran establecidos en la Norma específica Operación de Fuentes de Radiación para Aplicaciones Industriales AR 7.9.2 .Rev. 0 [3].

En los registros de la ARN, hacia fines de 2005 se tenían registradas 370 empresas dedicadas a la medición industrial, las cuales operan en condiciones seguras con sus correspondientes Licencias de Operación vigentes, de estas empresas 70 poseen medidores portátiles, registrándose una cantidad de 150 equipos portátiles, de estos el mayor porcentaje corresponde a los medidores de densidad y humedad de suelos (69% del total), y en segundo lugar a los medidores de humedad (255 del total).

La mayor cantidad de instalaciones que emplean medidores industriales están localizadas en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el Gran Buenos (23 % del total), los medidores industriales son utilizados para controlar un proceso productivo o el control de calidad de un producto, como por ejemplo la medición de nivel en recipientes, medición de densidad en tuberías, medición de gramaje de papel, análisis de materiales en la industria minera y cementera, medición de densidad y humedad de suelos, etc. En las actividades petroleras, se los emplea en perfilaje de pozos, cementación de pozos, e inspección de tuberías de uso petrolero.

### 3. INCIDENTES

#### 3.1 Caso 1. Incidente ocurrido con equipo medidor de humedad de suelos

Características del equipo: Marca: Troxler, Modelo: 4302., Fuente de neutrones: 370 MBq de Americio- 241:Berilio, Tipo de fuente: Forma especial sellada con doble encapsulado de acero inoxidable. Presenta dos partes principales: la sonda (que contiene a la fuente y su blindaje) y el sistema de medición electrónico. La sonda es un cilindro metálico sellado 47 mm. de diámetro y 32 centímetros en longitud. Contiene a la fuente radiactiva que emite neutrones rápidos, un detector de neutrones lentos, y un preamplificador. La señal del preamplificador pasa a través de un cable largo de 5 a 20 m del sistema de medición electrónico. (Ver fig. 1)

La sonda Troxler 4302 mide la cantidad de agua en el suelo determinando el contenido de Hidrógeno del material que circunda al sensor o sonda propiamente dicha (Fig.1, cilindro negro que se desplaza), en un radio de 15 cm. aproximadamente. La humedad contenida en el suelo o sustrato se relaciona con el Hidrógeno detectado mediante una calibración previa. La fuente de radiación ubicada a 10 cm. del extremo inferior de la sonda (Fig. 1), es capaz de emitir 17.000 neutrones acelerados por segundo. Los mismos chocan contra el hidrógeno del suelo, debido a que tienen un diámetro similar, y se *termalizan* o desaceleran, siendo detectados por un sensor de Helio-3.

Este último es insensible a los neutrones rápidos. La termalización es el proceso mediante el cual los neutrones acelerados disminuyen su velocidad, sin que esta sea afectada por colisiones posteriores. Así, los neutrones termalizados se cuentan durante un periodo de tiempo predeterminado y dicha "cuenta" o lectura es proporcional al agua contenida en el material analizado. La mayoría de los suelos contienen elementos capaces de absorber neutrones o bien, están compuestos por sustancias ricas en hidrógeno (en otras formas distintas a la del agua, como en la materia orgánica).

En estos casos, se requiere de una calibración *in situ* (en el sitio objeto de estudio) para lograr mediciones precisas. [4], Peso del equipo: 14,5 kg. , Profundidad de operación: común: 1 a 2 metros., la tasa de dosis total gamma y neutrones en contacto con el equipo es de aproximadamente 3  $\mu$ Sv/h.

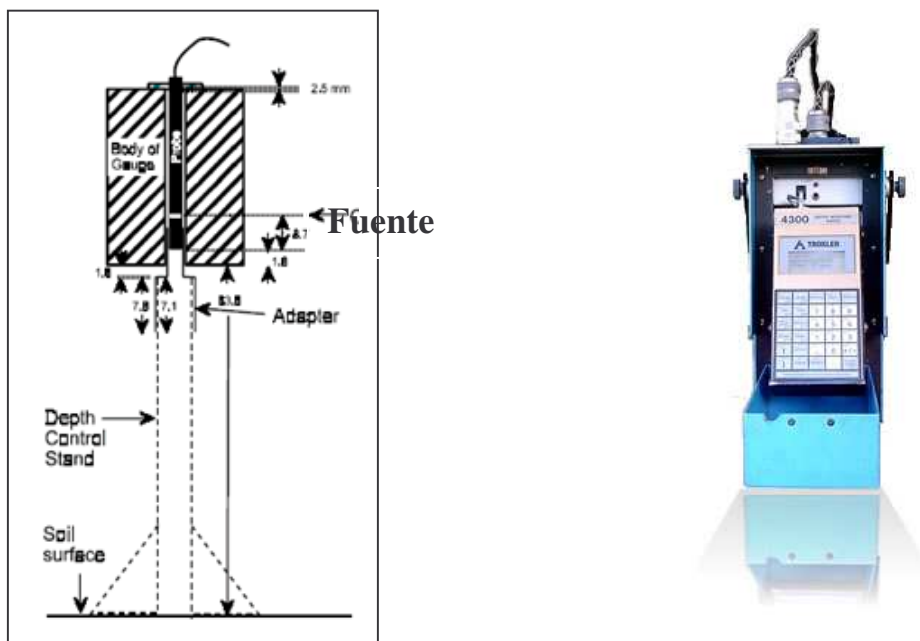


Figura 1. Diagrama de la sonda de neutrones.

**Síntesis del incidente:** Una empresa que tenía su base de operaciones a unos 330 Km. al sur de la ciudad de Buenos Aires, después de terminar de realizar las tareas del día tomando mediciones de humedad en el campo, trasladada en un vehículo de la empresa al medidor de humedad en su embalaje original, hacia el depósito ubicado en la ciudad, pero antes de llegar al depósito el chofer del vehículo que también operaba el equipo deciden con el ayudante hacer una parada en la vía pública para descansar y tomar un refrigerio, dejando al vehículo que transportaba el medidor, alejado del lugar donde pararon y fuera de todo contacto visual, y es en esas circunstancias en que se produce el robo del vehículo.

El operador del equipo, que era el responsable por la seguridad radiológica de la empresa licenciada, avisó a la empresa del incidente, y su vez realizó la denuncia del robo del vehículo, ante la Delegación local de la Policía Federal, y posteriormente informó a la A.R.N. del extravío del equipo. Rápidamente se conformó el grupo de personas intervinientes para esta situación, pertenecientes al grupo del Sistema de Intervención en Emergencias Radiológicas (S.I.E.R.), compuesto por el Jefe de Turno y 2 especialistas, trasladándose al lugar del incidente debido al riesgo radiológico potencial significativo ante cualquier persona inexperta que encuentre y que procure desmontar el medidor, o abrir el obturador., se hacía imprescindible la rápida presencia del personal del grupo de emergencia para brindar en el lugar una adecuada asistencia.

El grupo de intervención al llegar al lugar decidió dar una difusión amplia al hecho por intermedio de los medios de prensa, a los fines de alertar a la población sobre los peligros de la manipulación indebida del equipo, y para pedir su colaboración en la localización del equipo. Adicionalmente recurrió a la justicia federal para que informara por todos los medios disponibles del extravío del equipo mencionado a fin de recuperarlo rápidamente, para ello se difundieron imágenes del equipo buscado y a quien dirigirse en caso de que alguien pudiera reconocerlo.. Esta toma de decisiones, fue fundamental para la rápida recuperación del equipo, dado que tras varios días de búsqueda el equipo apareció abandonado en un camino local. Al encontrarse el equipo se le efectuó una revisión minuciosa para verificar las condiciones de seguridad del mismo, se midieron las tasas de dosis en contacto con el equipo, cuyos valores reflejaron que la fuente radiactiva se encontraba correctamente ubicada en su blindaje, se tomaron muestras de barrido de superficies del equipo para medir contaminación arrastrable, sobre el obturador, y se verificó que la sonda (que contiene la fuente radiactiva) estuviera trabada por el mecanismo de cierre del obturador.

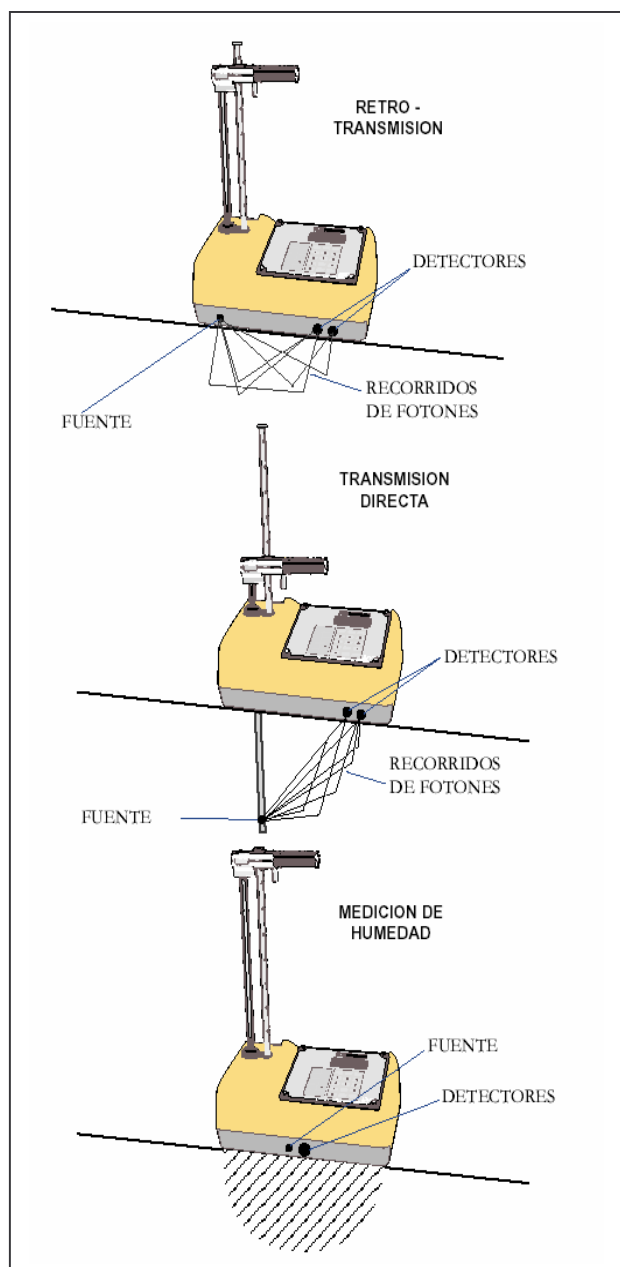
En la fig. 2 se puede apreciar un equipo similar en su embalaje original de transporte, donde se puede apreciar el extremo de la sonda que hace de blindaje a la fuente.



**Fig.2 Detalle del blindaje de la sonda**

### 3.2 Caso 2. Incidente con equipo medidor de densidad y humedad de suelos

Características del equipo: Marca: Troxler, Modelo: 3440, Fuente de neutrones: 40 mCi de Americio-241(Be), y Fuente Gamma de Cs-137 de 8 mCi, de actividad, Tipo de fuentes: Forma especial sellada con doble encapsulado de acero inoxidable. Estos equipos poseen dos modos de operación: por transmisión directa se utiliza la fuente gamma para medir densidad en diferentes capas de materiales (ver Fig. 3), y para ello es necesario perforar dicha capa, siendo colocada la fuente a través de dicha perforación hasta la profundidad deseada, 30 cm. como máximo. El otro modo es por retrotransmisión, y es empleado por la fuente de neutrones que no sale del cuerpo del equipo para medir contenido de humedad, y por la fuente gamma para medir densidad a nivel superficial del terreno.



#### Retro-transmisión

El modo de retro-transmisión es rápido y no destructivo. La fuente de emisiones gamma y los detectores permanecen dentro del densímetro, colocado sobre la superficie del material a analizar. Las emisiones gamma penetran el material evaluado; las emisiones que son recibidas por los detectores son cuantificadas. La retro-transmisión es usada principalmente en capas delgadas, sean asfálticas o losas de concreto hidráulico.

#### Transmisión directa

En este modo de operación, la fuente gamma se posiciona a una profundidad específica, dentro de la capa del material a evaluar, mediante su inserción a través de un orificio de acceso. Las emisiones gamma son transmitidas a través del material, hacia los detectores, dentro del densímetro. La densidad de emisión promedio, entre la fuente gamma y los detectores es determinada. Este modo de operación minimiza la incertidumbre ocasionada por las superficies rugosas y la composición química del material evaluado, determinando una elevada exactitud en las mediciones. La transmisión directa es utilizada para la medición en capas con espesor de medio a grueso, de suelos, agregados, capas asfálticas y losas de concreto hidráulico.

#### Humedad

La medición de humedad es un ensayo no destructivo; la fuente de neutrones y el detector permanecen dentro del densímetro, sobre la superficie del material a analizar. Emisiones de neutrones, a alta velocidad, son introducidas en, en el densímetro, cuenta la cantidad de neutrones termalizados (con velocidad disminuida); que correlaciona directamente con la cantidad de humedad en el material evaluado.

Fig. 3 Modos de Operación

Peso del equipo: 14 kg., el valor máximo de tasa de dosis total (gamma mas neutrones) es de aproximadamente 120  $\mu\text{Sv/h}$  sobre su base donde se encuentra el obturador, y a la distancia de 1 metro es de 6  $\mu\text{Sv/h}$ .

Síntesis del incidente: una empresa Constructora Vial llevaba a cabo tareas de repavimentación en una ruta cerca de la ciudad de Rosario, la empresa utilizaba un equipo Troxler, descrito anteriormente, rutinariamente se utilizan procedimientos habituales de señalización del equipo en operación y carteles de advertencia. El operador se encuentra realizando mediciones con el equipo, y accidentalmente, una máquina vial (motoniveladora) que circula cerca no detecta la presencia del equipo y lo golpea en un costado. El operador se aproxima al equipo e intenta introducir la fuente dentro del equipo, no lo consigue presumiendo que la barra de metal que alberga a la fuente gamma se pudiera haber torcido o doblado, decide verificar el estado de la fuente y levemente levanta al equipo de su posición en el suelo, constatando que efectivamente, la varilla está torcida. (Según se aprecia en Fig. 4).

A partir de allí el operador, procede al vallado de la zona con cintas de seguridad, coloca carteles de señalización y notifica a la A.R.N. de lo ocurrido, a través del Sistema de Intervención en Emergencia Radiológica. (SIER). Toma intervención el SIER, y se dirigen al lugar donde se desarrolló el incidente. El grupo SIER que intervino, realiza las primeras mediciones para verificar los niveles de radiación en las proximidades, los valores medidos son del orden de entre 80 y 100  $\mu\text{Sv/h}$  en contacto con el equipo y a un metro 6  $\mu\text{Sv/h}$ . Los valores medidos en contacto con la fuente gamma sin blindaje fue del orden de 30 mSv/h, en el extremo de la varilla (ver fig. 5) Se decide colocar el equipo dentro de un blindaje adecuado para ello se recurre a un recipiente metálico dentro del cual se colocó arena de alta densidad para blindar la radiación gama.

De esta forma el valor medido en contacto con el nuevo blindaje se redujo a 130  $\mu\text{Sv/h}$ . Se consideró un valor aceptable para el traslado del equipo dañado y se lo transportó hacia la ciudad de Buenos Aires, se lo almacenó de forma adecuada, colocándose a su alrededor un blindaje de plomo, para trasladarlo posteriormente al Centro Atómico Ezeiza, Sector Gestión de Residuos Radiactivos.



**Fig. 4 Equipo con la varilla doblada**



**Fig. 5 Detalle de la varilla, indicando ubicación de fuente gamma**

#### **4. CAUSAS**

En las prácticas médicas e industriales en las que se utilizan fuentes radiactivas, el error humano o la falla humana es la principal causa de los accidentes que se producen [5]. Y en muchos casos se da por la actitud negligente del responsable de la práctica o instalación.

En el caso del incidente del equipo robado, el operador no realizó una adecuada protección física del vehículo que transportaba al medidor, y no tenía un contacto visual permanente con el vehículo.

En el caso del medidor que fuera aplastado por una máquina vial, no se cumplieron los procedimientos para la señalización y vallado del área donde operaba el medidor, el operador estaba distraído y no pudo advertir cuando la máquina vial golpeó al equipo, por lo que no ejercía una constante supervisión sobre el equipo. Falta una adecuada comunicación a los demás operarios que trabajaban cerca, y a los conductores de vehículos pesados para alertarlos sobre la presencia del medidor a los efectos de advertirles que se estaba trabajando con un medidor industrial.

La seguridad radiológica en la práctica con equipos portátiles está condicionada a la conducta de las personas que operan estos equipos, por ello estas personas deben contar con buena preparación y

experiencia suficientes así como de un buen conocimiento de seguridad radiológica, a los efectos de minimizar la probabilidad de que ocurran incidentes, los objetivos de la seguridad radiológica debe enfocarse o debe ocuparse del trabajo “in situ” del equipo, del mantenimiento de los equipos, y de los procedimientos a seguir por los responsables y operadores, en el transporte, almacenamiento, almacenamiento, operación, etc.

## 5. CONCLUSIONES

En los dos casos presentados, para ser corregidos se logra con la capacitación y entrenamiento de operadores y responsables, debiendo dirigir el esfuerzo a mantener la capacitación del personal involucrado en el uso de fuentes radiactivas, crear y mantener el interés por la seguridad radiológica., y en el fortalecimiento de la cultura de seguridad.

## REFERENCIAS

- [1] Norma Básica de Seguridad Radiológica AR 10.1.1 Rev. 3
- [2] Norma Permisos Individuales Para Operadores De Fuentes De Radiación Para Aplicaciones Industriales
- [3]. Norma Operación de Fuentes de Radiación para Aplicaciones Industriales AR 7.9.2 .Rev. 0
- [4]Troxler Electronic Laboratories. 1991. Depth moisture gauge Model 4300 series. Manual of operation and instruction. Troxler Electronic Laboratories, Inc., North Carolina. 140 p.
- [5] Internacional Atomic Energy Agency . The Safety Managemnet of Source of Radiation: Principles and Strategies, Vienna, 1999 (INSAG -11).
- [6] “Código de Conducta sobre la Seguridad tecnológica y la Seguridad Física de las fuentes Radiactivas”. IAEA 2001.