



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR FERROL
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA NUCLEAR

TRABAJO DE FIN DE GRADO DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL

*Aplicación de la tecnología de medición
radiométrica en la operación y monitorización
de cámaras de coquización de una instalación
petroquímica.*

Autor: Fajardo Facal, Diego

Tutora: Tobar Vidal, María José

Cotutor: Amado Paz, José Manuel

A Coruña, a 19 de Junio de 2016

Agradecimientos

A mi familia y amigos, por acompañarme a lo largo de este largo camino, siendo el bastón en el que apoyarme para que no caminase solo.

A Ana Rodriguez y Ana Ramos, por el cariño más sincero y profundo que cualquier persona puede aspirar algún día a recibir. A Javier Alonso por creer en mí cuando ni siquiera yo lo hacía.

Índice general

	Página
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Glosario de términos	2
1.3. El coque	6
1.3.1. Proceso de producción	8
1.3.2. Aplicaciones	10
1.3.3. Unidad de coque de la Coruña	10
1.3.3.1. Sección de coquización	11
1.3.3.2. Sección de fraccionamiento	11
1.3.3.3. Ciclo de decoquizado	11
2. Selección de medidores	13
2.1. Tipos de medidores	14
2.1.1. Ultrasónicos	14
2.1.1.1. Tecnología de interruptores vibratorios tipo horquilla	14
2.1.1.2. Tecnología de medición continua por impulsos ultrasónicos	15
2.1.2. Capacitivos	16
2.1.3. Hidrostáticos	17
2.1.3.1. Membrana	17
2.1.3.2. Manométrico	18
2.1.3.3. Tipo burbujeo	19
2.1.4. Radar	20
2.1.5. Magnetostrictivo	20
2.1.6. Radiactivos	21

2.2. Selección de medidor	21
3. Radiación aplicada a medidores	23
3.1. Radiación Neutrónica	24
3.2. Radiación Gamma	25
3.3. Medidor KrilPro	26
3.3.1. Propiedades básicas	26
3.3.2. Fuente	29
3.3.3. Detector	30
3.3.4. Transmisor 1400S	30
3.4. Medidor LevelPro	31
3.4.1. Propiedades básicas	32
3.4.2. Fuente	34
3.4.2.1. Cálculo de tamaño de fuente	34
3.4.3. Detector / Transmisor	40
3.4.4. Características Principales	41
3.4.5. Calibrado	42
3.4.6. Principales ventajas de la medida con radiación gamma	43
3.4.7. Especificaciones Técnicas	43
3.4.7.1. Fuentes	43
3.4.7.2. Detectores	43
3.5. Manejo de señales y datos	44
3.6. Riesgos radiológicos en control de procesos y técnicas analíticas	49
3.6.1. Clasificación de trabajadores según posible exposición	52
4. Resumen y conclusiones	53
Bibliografía	57

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

El objetivo de este trabajo es determinar el tipo de medidor de nivel que mejor reúna las condiciones necesarias para el seguimiento del proceso de coquización llevado a cabo en las cámaras de coque de la refinería de Repsol A Coruña.

Para ello primero deberemos explicar dónde se realiza el proceso y en qué consiste.

La instalación se encuentra en el polígono de la Grela en A Coruña (Galicia), en los valles de Bens y Nostián. Además de la refinería, Repsol tiene en A Coruña el terminal marítimo, donde se descarga el crudo que se tratará posteriormente, y un oleoducto entre dicho terminal marítimo y la refinería. Trataremos de manera escueta el funcionamiento y partes de la refinería objeto del estudio. En el proceso de destilación se puede procesar del orden de 6.000.000 de toneladas de crudo anuales de las cuales de obtiene:

- 360.000 toneladas de LPG.
- 140.000 toneladas de gasolinas y naftas.
- 39.000 toneladas de queroseno.
- 2.500.000 toneladas de gasóleos.
- 490.000 toneladas de fuel oil.
- 440.000 toneladas de coque.

- 270.000 toneladas de asfaltos.

Tras el proceso de destilación normal, se obtiene una parte pesada sobrante en la zona inferior, que será aproximadamente la mitad de la inicial. Esta parte pesada se hace pasar por una unidad de vacío en la cual los combustibles ligeros y medios se separan. La fracción más pesada restante se dividirá en diferentes ramas de las que se obtendrá asfalto, fuel oil o coque de manera acorde a la demanda del mercado.

1.2. Glosario de términos

A continuación incluiremos una lista de definiciones con el fin de facilitar la comprensión del trabajo.

- Coque: el coque de petróleo (en inglés, petroleum coke, abreviado como pet coke) es un sólido carbonoso derivado de las unidades de coquización en una refinería de petróleo o de otros procesos de craqueo. Otros coques tradicionalmente han sido derivados del carbón.
- Curio: El curio (abreviación Ci) es una unidad de radiactividad, nombrada así en homenaje a los físicos y químicos Pierre y Marie Curie.

Representa la cantidad de material en la que se desintegran $3,7 \times 10^{10}$ átomos por segundo, o $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones nucleares por segundo, que es más o menos la actividad de 1 g de Ra-226 (isótopo del elemento químico «radio»).

El curio representaba una cantidad muy grande de radiactividad desde el punto de vista biológico, por lo que se comenzaron a utilizar unidades más pequeñas.

- Becquerel o becquerelio (símbolo Bq) es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades que mide la actividad radiactiva. Un becquerel se define como la actividad de una cantidad de material radiactivo con decaimiento de un núcleo por segundo. Equivale a una desintegración nuclear por segundo. La unidad de Bq es por consiguiente inversa al segundo.
-

-
- Dosis: La llamada dosis de radiación es la cuantificación del efecto de los materiales radiactivos y de las fuentes de radiación ionizantes sobre el objeto en el que incide dicha radiación.
 - Dosis equivalente: La dosis equivalente es una magnitud física que describe el efecto relativo de los distintos tipos de radiaciones ionizantes sobre los tejidos vivos. Su unidad de medida es el sievert. La dosis equivalente es un valor con mayor significado biológico que la dosis absorbida.
 - Sievert (símbolo Sv): unidad derivada del SI que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. 1 Sv es equivalente a un julio entre kilogramo ($J/kg-1$). Esta unidad da un valor numérico con el que se pueden cuantificar los efectos estocásticos producidos por las radiaciones ionizantes. Se utilizó este nombre en honor al físico sueco Rolf Sievert.
 - Capacitancia: propiedad de un capacitor de oponerse a toda variación de la tensión en el circuito eléctrico. También se define a la Capacitancia como una propiedad de almacenar carga eléctrica entre dos conductores, aislados el uno del otro, cuando existe una diferencia de potencial entre ellos. Una diferencia en el nivel del medio, resulta directamente un cambio en el valor de la capacitancia del sensor.
 - Coeficiente de absorción: El coeficiente de absorción o de atenuación se define como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente por una superficie o sustancia.
 - Columna fraccionadora: Una columna de fraccionamiento, también llamada columna de platos o columna de platillos, es un aparato que permite realizar una destilación fraccionada. Una destilación fraccionada es una técnica que permite realizar una serie completa de destilaciones simples en una sola operación sencilla y continua. La destilación fraccionada es una operación básica en la industria química y afines, y se utiliza fundamentalmente en la separación de mezclas de componentes líquidos.
 - Diafragma: Separación en forma de lámina movable o porosa que intercepta o regula la comunicación entre dos partes de determinadas máquinas y
-

aparatos.

- **Presión hidrostática:** La presión hidrostática da cuenta de la presión o fuerza que el peso de un fluido en reposo puede llegar a provocar. Se trata de la presión que experimenta un elemento por el sólo hecho de estar sumergido en un líquido.
 - **Antiespumante:** Los antiespumantes son agentes tensoactivos que actúan por medio de tensiones superficiales intermedias para lograr desestabilizar la espuma y liberar el aire retenido en la emulsión. Por esta razón los antiespumantes deben tener una tensión superficial inferior a la del agente surfactante utilizado de forma inicial (como humectante) para así lograr adelgazar rápidamente la lamela y romperla.
 - **Rotámetro:** Instrumento que mide los gases a través de la velocidad de flujo, según su viscosidad y densidad
 - **Retrodispersión:** En física, retrodispersión es la reflexión de ondas, partículas o señales en dirección hacia el lugar de donde provienen. Es un tipo de reflexión difusa debida a la dispersión, opuesta a la reflexión especular que hace un espejo. La retrodispersión tiene diversos usos importantes en astronomía, fotografía y en aplicaciones médicas.
 - **Radiación:** La radiación es la energía que se propaga en forma de onda a través del espacio. La radiación es un fenómeno natural o artificial, por el cual los núcleos de átomos de algunas sustancias o elementos químicos emiten radiación.
 - **Ionización:** La ionización consiste en aislar los electrones que forman parte de la molécula neutra a través del suministro de la energía requerida.
 - **Radiación ionizante:** las radiaciones ionizantes corresponden a las radiaciones de mayor energía (menor longitud de onda) dentro del espectro electromagnético. Tienen energía suficiente como para arrancar electrones de los átomos con los que interactúan, es decir, para producir ionizaciones.
 - **Irradiación:** Exposición de una persona a sustancias radiactivas con la consecuencia de una dosis apreciable de radiación.
-

-
- Fotone: Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio. El fotón tiene masa cero y viaja en el vacío con una velocidad constante c .
 - Interfase:Intervalo entre dos fases sucesivas.
 - Fuentes encapsuladas: se trata de material radiactivo confinado en cápsula inactiva de suficiente resistencia mecánica para impedir el contacto o la dispersión del material radiactivo. Tan solo existe riesgo de irradiación y de contaminación en el caso de que se diese un accidente.
 - Fuentes no encapsuladas: material radiactivo en estado líquido, gas, o en forma de polvo. Existe siempre riesgo de irradiación y de contaminación.
 - Detector: Se basan en la recolección directa de la ionización producida por una partícula al atravesar un gas encerrado entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial.
 - Vida media: La vida media representa el promedio de vida de un núcleo atómico de una muestra radiactiva. Es el tiempo, calculado estadísticamente, que un núcleo radiactivo de una muestra puede permanecer sin transformarse en otro.

La vida media es inversamente proporcional a la constante radiactiva y es una característica invariable para una determinada desintegración de cada tipo de núcleo radiactivo.
 - Detector de centelleo: Detector que aprovecha el hecho de que la radiación produce pequeños destellos luminosos en ciertos sólidos para recoger esta luz transformarla en un pulso eléctrico.
 - Transmisor:
 - Blindaje: Se denomina blindaje biológico a un espesor de material interpuesto entre una fuente de radiación ionizante y el punto receptor, con el objeto de atenuar dicha radiación.
-

- Retrodispersión: Reflexión de ondas, partículas o señales en dirección hacia el lugar de donde provienen. Es un tipo de reflexión difusa debida a la dispersión, opuesta a la reflexión especular que hace un espejo. La retrodispersión tiene diversos usos importantes en astronomía, fotografía y en aplicaciones médicas.
- Coeficiente lineal de atenuación: La probabilidad total por unidad de longitud m de que un fotón no alcance al detector, se conoce como el coeficiente de atenuación lineal.

1.3. El coque

También conocido como coque de petróleo, el petcoke se obtiene a partir de un proceso de refinado del petróleo y contiene una elevada proporción de carbono.

Es una forma de carbón sólido producido mediante su descomposición térmica y la polimerización de hidrocarburos líquidos pesados derivados de la refinación de crudo. Existen muchas variedades comerciales de coque de petróleo que difieren en sus características físicas y químicas, utilizándose en distintas aplicaciones industriales, dependiendo del método de producción industrial empleado en su obtención. Los métodos de producción más comunes utilizados en la actualidad son:

El coque verde retardado (green delayed coking), un método de ruptura térmico (“cracking”) en la que las reacciones de carbonización implican su deshidrogenación, reestructuración y polimerización. La temperatura de trabajo fluctúa entre los 480°C y 500°C, y un ciclo completo de producción tarda un mínimo de 16 horas.

El coque fluido (fluid coking) es un proceso continuo de pulverización a altas temperaturas sobre una superficie fluida, en el que las partículas de coque se mantienen a una presión de entre 20-40 psi y 500°C. Estos vapores de alimentación se someten a un “cracking” térmico mientras se depositan, formando una película líquida sobre partículas de coque recalentadas, para acabar convirtiéndose en agentes nucleantes.

COMPOSICIÓN	
Humedad	10%
Ceniza	0.8% max.
volátiles	8/14%
Azufre	2a7%
Carbono fijo	80% min
Pcs kcal/kg	7800 min
Hgi	30-90

TAMAÑO	INDUSTRIA
0x10mm	Calera, cerámica, cementera, química, azucarera, metalúrgica, papelera, ferroaleaciones, centrales térmicas, hornos y calcinadores (arcilla, magnesita, caliza) asfalto/aislantes.
10x25mm	
25x50mm	
>50	

Figura 1.1: Tabla de la composición general del coque de petróleo.



Figura 1.2: Coque de petróleo.

1.3.1. Proceso de producción

Este proceso de producción puede variar dependiendo de la empresa que lo realice, pero los pasos generales son los siguientes:

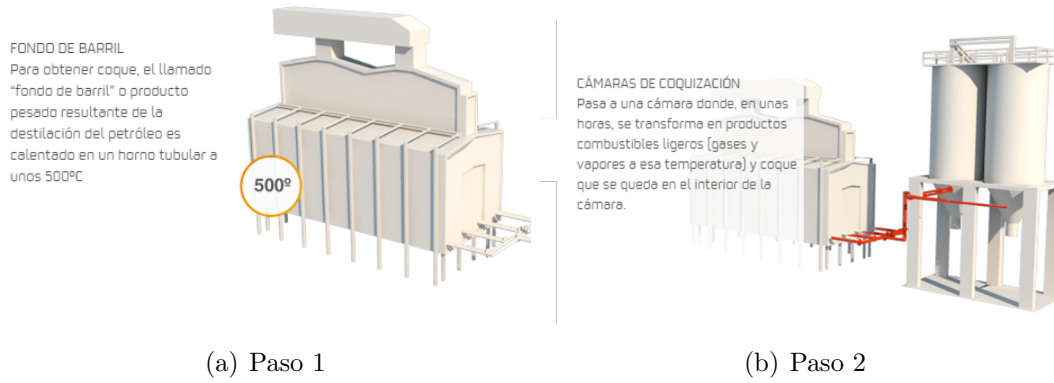


Figura 1.3: Transporte a las cámaras

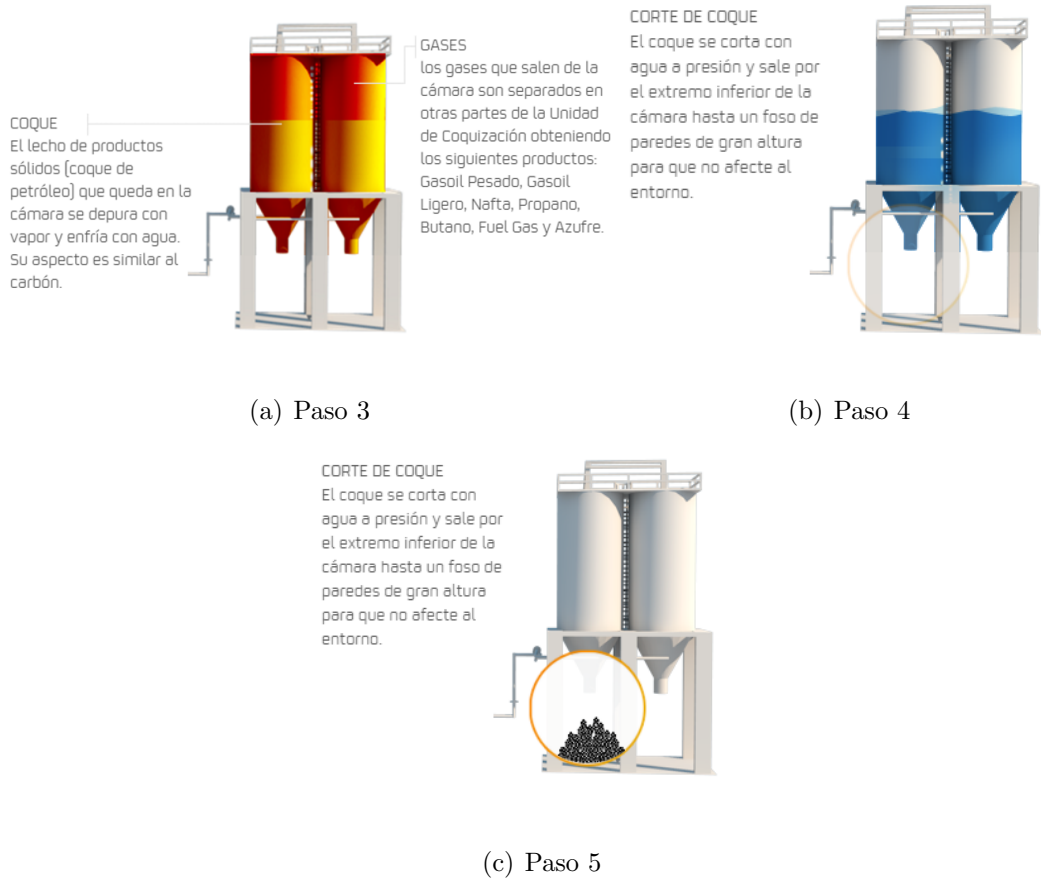


Figura 1.4: Proceso de coquización

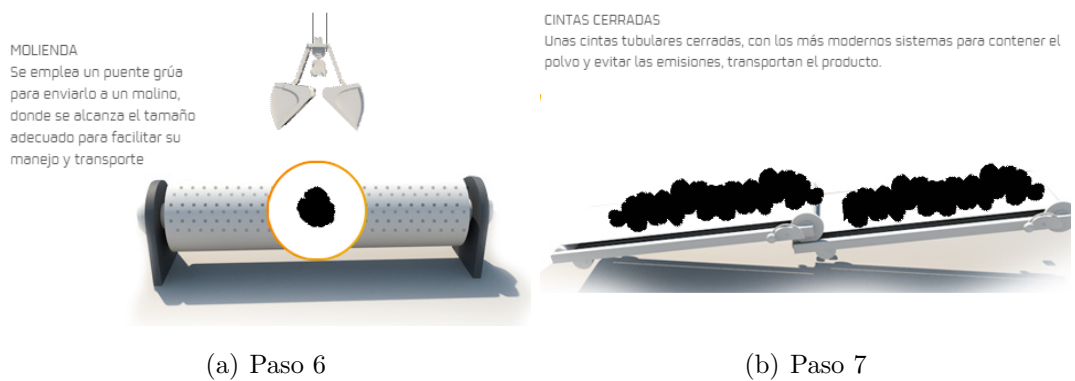


Figura 1.5: Molino y cintas transportadoras



Figura 1.6: Almacenaje

1.3.2. Aplicaciones

El coque es utilizado principalmente como combustible en las siguientes industrias:

- Cementera
- Cerámica
- Eléctrica

Por otro lado, las cenizas volátiles del coque de petróleo (CVCP) se caracterizan por su alto contenido en calcio, haciendo posible su uso como neutralizadores de las aguas residuales ácidas procedentes de las explotaciones mineras, lo que abre un nuevo campo de posible aplicación de las CVCP que podría resolver los problemas de contaminación en países emergentes y mineros como Chile. Sin embargo, esta posible aplicación podría estar limitada por la lixiviación de los metales pesados de las CVCP, fundamentalmente vanadio y níquel, que están presentes en las CVCP en concentraciones elevadas.

1.3.3. Unidad de coque de la Coruña

La unidad de coque se encuentra en el área de las unidades de conversión y cogeneración de la refinería de Repsol en A Coruña. En ella se desarrolla el proceso de craqueo térmico, a través del cual se recupera el coque de petróleo de los residuos del primer proceso de destilación.

1.3.3.1. Sección de coquización

Unas bombas colocadas al inicio de la unidad impulsan la corriente de alimentación hasta la columna fraccionadora de la unidad de coque donde la fracción más pesada saldrá por la parte inferior, que se conducirá hacia las cámaras de coque pasando por un horno. El efluente del horno se introduce en una de las dos cámaras de coque, en donde bajo las condiciones necesarias de tiempo, presión y temperatura, el líquido contenido en el recipiente se convierte en coque y vapores de hidrocarburos ligeros. Cuando se ha llenado una cámara, el efluente del horno se dirige hacia el otro recipiente mediante una válvula “switch” o válvula de 4 vías dispuesta para tal efecto. El flujo hacia un recipiente de coque es mantenido durante doce horas, durante las cuales el recipiente lleno está siendo decoquizado. Así pues, el ciclo completo para un recipiente es de veinticuatro horas.

1.3.3.2. Sección de fraccionamiento

Los vapores que se producen en el proceso de llenado en el recipiente de coque, se reconducen hacia la columna fraccionadora, que es lo que se conoce como reciclo. El resto de las líneas que salen de la columna fraccionadora y que no se dirigen a la cámara de coque son: 1. Una corriente de circulación de gasoil pesado. 2. Gasoil pesado producto. 3. Gasoil ligero de coque. 4. Vapores de la cabeza fraccionadora, los cuales son condensados posteriormente.

1.3.3.3. Ciclo de decoquizado

Se han previsto dos recipientes de coque, de tal forma que uno de ellos está coquizando, mientras que el otro se encuentra en la fase de decoquización.

Al finalizar el primer medio ciclo, llamado “fase de coquización”, la alimentación es interrumpida y enviada al otro recipiente. Aquí es donde comienza el periodo de decoquización. Por este motivo a este sistema se le denomina “semi-batch” (semicontinuo).

Se abre la cámara por la parte superior, se introduce un taladro con una broca hidráulica que se encarga de trocear y triturar el coque. Dicha broca realiza una perforación inicial en la dirección axial a la sección de la cámara hasta el fondo de la misma. Tras ello, el tipo de corte se cambia para triturar la carga en dirección coplanar a la sección de la vasija.

Después simplemente se vacía la cámara y se transporta el carbón a unas ramplas donde esperará hasta ser llevado a las balsas que lo transportarán a donde sea necesario por vía marítima.

Es de vital importancia controlar el nivel de llenado de la cámara que está coquizando, para evitar que la espuma salga por la parte superior de la cámara, recirculándose hacia la columna fraccionadora, ya que ésta al enfriarse se solidificará obstruyendo el paso de gases. La canalización de estos gases de escape se localiza en la zona superior de la cámara que tiene una altura de unos 20 metros. Cuando se detecten niveles de espuma altos será necesario inyectar al interior antiespumante para evitar el problema anteriormente mencionado.

Selección de medidores

A la hora de elegir entre los posibles medidores en el mercado, deberemos tener en cuenta las características de la cámara de coque:

- Altura: 20 metros
- Presión de trabajo: 1,96133 bares
- Temperatura: 400 °C
- Densidad de la carga: 1,05g/cc

Sabiendo esto, centraremos nuestro estudio de mercado en los siguientes tipos de medidores:

- Ultrasónicos
- Capacitivos
- Hidrostáticos
- Radar
- Magnetostrictivos
- Radiactivos

2.1. Tipos de medidores

2.1.1. Ultrasonicos

La medición de Nivel por Ultrasonido es una tecnología ideal para una amplia gama de aplicaciones de líquidos, incluyendo productos químicos, petróleo, agua y aguas residuales. Existen principalmente las siguientes tecnologías aplicables.

- Tecnología de interruptores vibratorios tipo horquilla.
- Tecnología de medición continua por impulsos ultrasónicos.

2.1.1.1. Tecnología de interruptores vibratorios tipo horquilla

Se basa principalmente en ajustar la vibración de horquillas que se da cuando dicha horquilla es golpeada. Esta vibración se dará a la que se conoce como su frecuencia natural, que dependerá del tamaño relativo, la forma y el material de las horquillas.

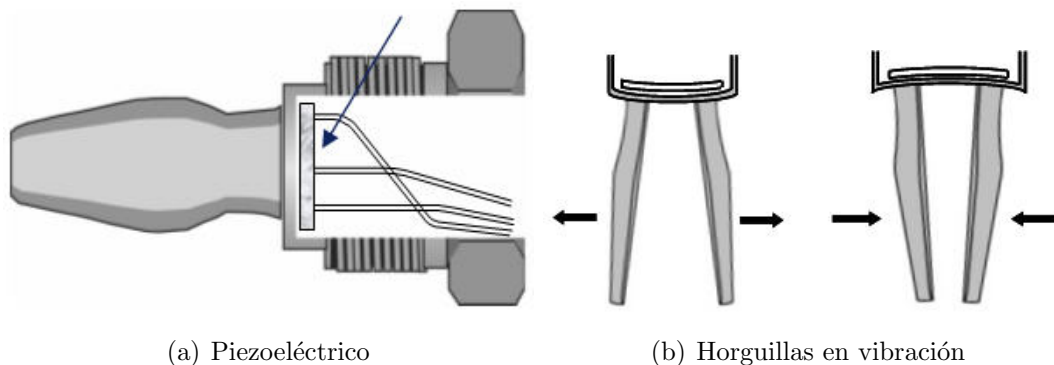
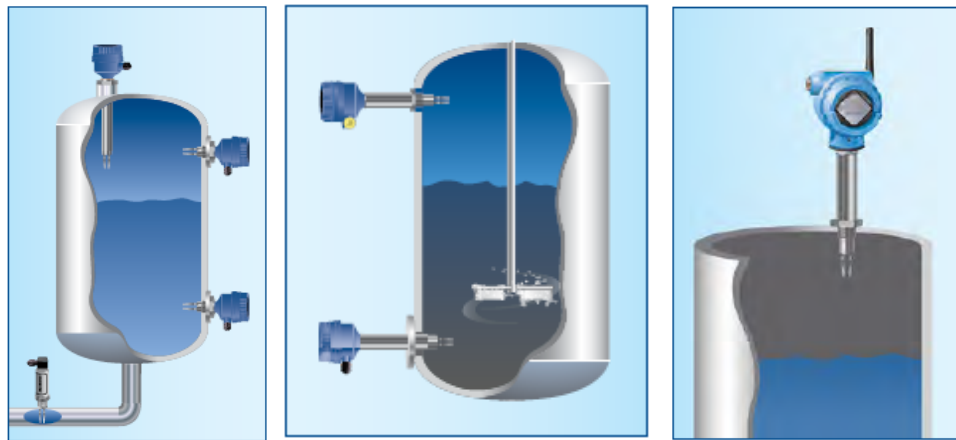


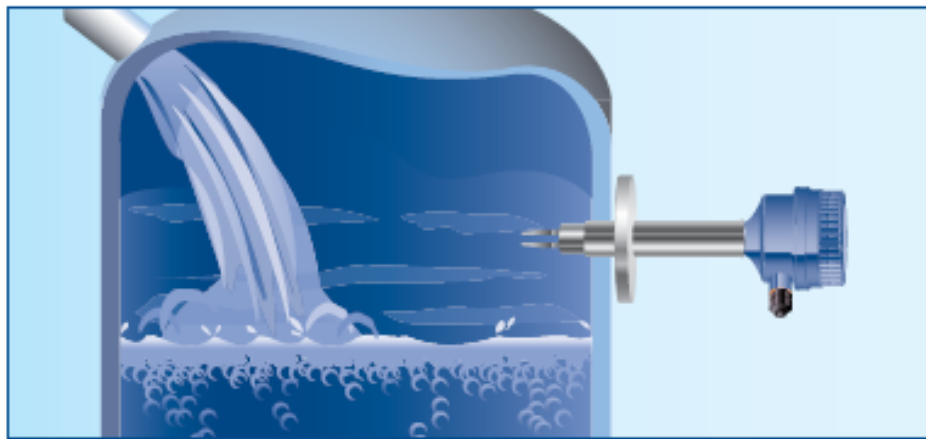
Figura 2.1: Sistema de Tecnología de interruptores vibratorios tipo horquilla

Las horquillas son forzadas a su frecuencia natural de oscilación con la ayuda de un cristal piezo-eléctrico, monitorizando cualquier cambio de frecuencia. De esta forma, el contacto de las horquillas con un fluido de una densidad diferente a la del fluido en el que se encontraban originalmente es registrado a través de un cambio de vibración.

Así podemos utilizar esta tecnología como en alarma tanto de nivel bajo como alto, y, con los suficientes medidores a lo largo del tanque, se podría alcanzar un entendimiento relativamente preciso del nivel del mismo.



(a) Instalación estándar (b) Medición durante agitación (c) Instalación en techo de la cámara



(d) Medición durante llenado

Figura 2.2: Instalación en cámara de la tecnología de interruptores vibratorios tipo horquilla

2.1.1.2. Tecnología de medición continua por impulsos ultrasónicos

El sensor emite cuatro pulsos de sonido de alta frecuencia por segundo, cada pulso se desplaza por el espacio de aire, se refleja en la superficie del líquido y vuelve al transductor. La electrónica calcula el intervalo de tiempo de la transmisión y retorno de la señal, traduciendo en una distancia de medición basada en la velocidad del sonido.

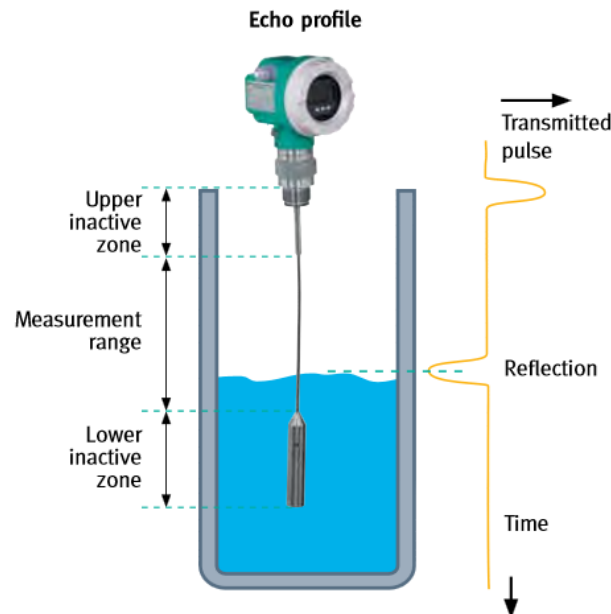


Figura 2.3: Tecnología de medición continua por impulsos ultrasónicos aplicada a cámara.

La tecnología sin contacto de nivel ultrasónico se desempeña muy bien en ambientes agresivos, requiere poco o ningún mantenimiento y proporciona una mayor fiabilidad y exactitud que otros dispositivos que funcionan en contacto con el líquido.

2.1.2. Capacitivos

Los medidores de Nivel Capacitivos utilizan la capacitancia entre el sensor y la sonda de referencia o la pared metálica del depósito para calcular el nivel del medio de acuerdo a la teoría de la capacitancia.

NOTA: La Capacitancia es la propiedad de un capacitor de oponerse a toda variación de la tensión en el circuito eléctrico. También se define a la Capacitancia como una propiedad de almacenar carga eléctrica entre dos conductores, aislados el uno del otro, cuando existe una diferencia de potencial entre ellos. Una diferencia en el nivel del medio, resulta directamente un cambio en el valor de la capacitancia del sensor.

Existen varios tipos:

- Varilla sin aislar.
- Varilla aislada
- Con cable
- Doble varilla
- Con sección inactiva

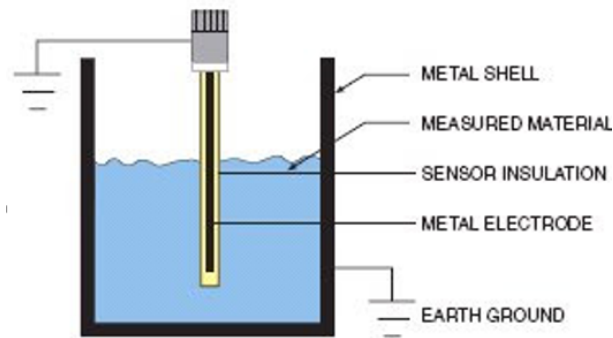


Figura 2.4: Ejemplo de medidor de nivel capacitivo con sección inactiva.

2.1.3. Hidrostáticos

Miden la diferencia entre la presión de proceso a un lado del diafragma y la presión atmosférica al otro lado del diafragma. La referencia de la presión atmosférica es proporcionada por un tubo capilar que se extiende desde el interior del cuerpo del sensor y a lo largo del cable. Los materiales en PVDF, PVC y diafragma de Cerámica brindan una excelente compatibilidad química para la medición de nivel de diferentes productos químicos.

2.1.3.1. Membrana

Utiliza una membrana conectada mediante un tubo, la fuerza ejercida por el líquido sobre la membrana comprime el aire interno a una presión igual a la ejercida por la columna del líquido. Dado que el volumen del aire es relativamente

grande el sistema se limita a medir distancias no mayores de 15 metros, llegando a soportar 600°C. Su principal inconveniente es que la más mínima fuga de aire en la membrana descalibraría el medidor.

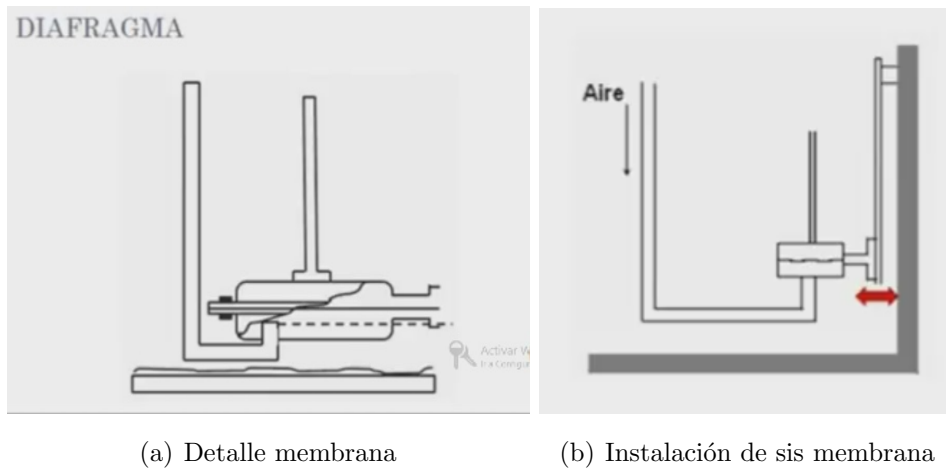
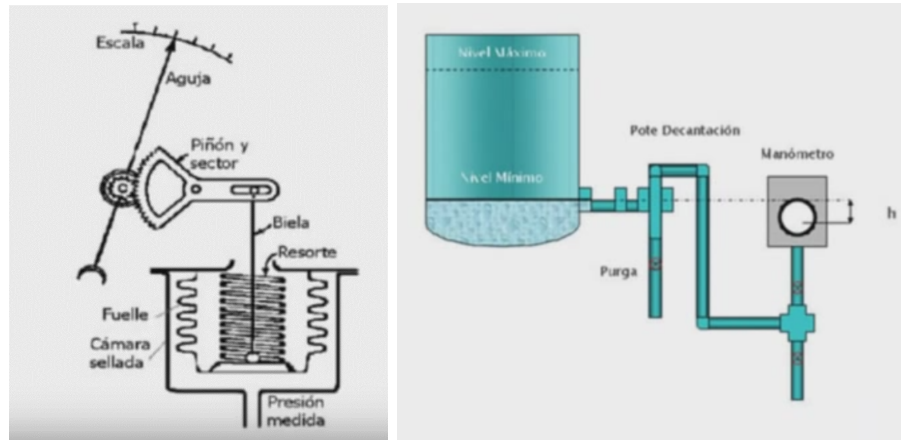


Figura 2.5: Medidor hidrostático de Membrana

2.1.3.2. Manométrico

Un manómetro acoplado a la parte inferior del tanque que cuenta con un cierre para mantenimiento del líquido y una válvula de purga. El manómetro medirá la presión debida a la altura H que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento. Así, el campo de medida del instrumento correspondería a ρgh . Como las alturas son limitadas, el campo de medida es bastante pequeño, utilizando un elemento de medida denominado tipo fuelle.



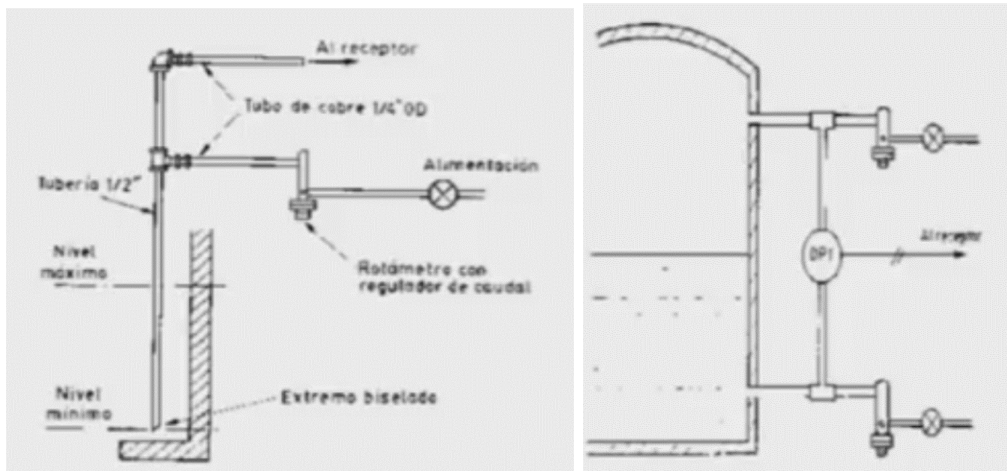
(a) Sistema manométrico

(b) Instalación en cámara

Figura 2.6: Medidor hidrostático manométrico

2.1.3.3. Tipo burbujeo

También llamado de purga continua, realizan la medición del nivel determinando la presión requerida para que un flujo constante de aire venza la presión hidrostática de un líquido. Al vencerla el aire sale en forma de burbujeo (de ahí el nombre del medidor). Este medidor emplea un tubo sumergido en líquido que genera una corriente continua de burbujas desde el nivel mínimo mediante un rotámetro con regulador de caudal incorporado que permite mantener un caudal de aire constante a través del líquido. En caso de no constar con este rotámetro habría una gran diferencia en los caudales de aire necesarios desde el nivel mínimo al máximo, derivando en un consumo de aire indebidamente elevado.



(a) principio de funcionamiento

(b) instalación en cámara

Figura 2.7: Medidor hidrostático de tipo burbujeo

2.1.4. Radar

Los transmisores de nivel tipo radar FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) adoptan una señal de alta frecuencia, que se emite a través de una antena con un incremento de frecuencia 0.5GHz durante la medición, reflejada por la superficie del objetivo y recibida con un tiempo de retraso. La diferencia de frecuencia, que se calcula a partir de la frecuencia de transmisión y la frecuencia recibida, es directamente proporcional a la distancia medida (o la superficie del material). Los transmisores de Radar FMCW son dispositivos de medición sin contacto, adecuados para alta temperatura, alta presión y aplicaciones corrosivas. Fácil de instalar y libre de mantenimiento, especialmente recomendado en procesos de alta exigencia de precisión. Los transmisores de nivel tipo radar son ideales para la medición de líquidos, polvos y granulados, no se ven afectados por la presión, temperatura, viscosidad, vacío, espuma o polvo.

2.1.5. Magnetostrictivo

El medidor de nivel magnetostrictivo se basa en el principio de fuerza del campo magnético en dos diferentes direcciones, por la cual se envía una señal para determinar el nivel exacto del fluido. Por lo tanto, incluso en caso de un corte de energía y reconexión, no afecta a la configuración anterior siendo innecesaria

una reconfiguración. Además, no existe contacto del sensor de detección que se encuentra alojado internamente, con lo cual se evitan los daños de operación debido al desgaste. Este tipo de tecnología permite una medición muy precisa y fiable; y la durabilidad del elemento de detección y tiempo de vida es excepcionalmente largo, requiriendo mínimo mantenimiento.

2.1.6. Radiactivos

El funcionamiento de los medidores de nivel activos más efectivos combina tanto radiación neutrónica como gamma para determinar la densidad de la carga en diferentes puntos de la vertical de la cámara. Los dispositivos se instalan en el exterior de la vasija sin entrar en contacto con la carga en ningún momento, convirtiéndolos, a efectos prácticos viables en cualquier condición de trabajo.

2.2. Selección de medidor

Añadiremos la información expuesta en el apartado anterior la de los manuales de los medidores para elaborar la tabla de la figura 2.8 en la que nos basaremos para elegir el tipo de medidor más apto:

	ultrasonicos	capacitivos	hidrostáticos	radar	magnetoestrictivos	radiactivos
rango máximo (m)	10	2	∞	50	3	
funcionamiento en ambientes agresivos	bueno	normal	normal	muy bueno	muy bueno	excepcional
exactitud	$\pm 0,08$ in	$\pm 1\%$	$\pm 0,15\%$	$\pm 0,12$ in	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,0015\%$
T mínima (°C)	-40	-40	0	-20	-20	-40
T máxima (°C)	80	270	200	250	200	80
Presión (bar)	10	40	40	64	30	—
Diferencia fases	no	no	no	no	no	sí
Mantenimiento	bajo	bajo	medio	nulo	mínimo	medio
Instalado internamente	si	si	si	si	si	no

Figura 2.8: Tabla comparativa de las propiedades de los diferentes medidores de nivel.

Las cámaras en las que se lleva a cabo el proceso de coquizado tienen 20 metros de altura. Esto nos llevaría a descartar los medidores capacitivos y magnetoestrictivos, ya que no abarcarían el total de la vasija. Si bien es cierto que el rango de los medidores ultrasónicos y radiactivos tampoco alcanza los 20 m, una instalación consecutiva de varios medidores que solapasen parte de sus rangos

permitiría cubrir el total de la altura. Por otro lado, la temperatura del proceso ronda los 400°. Esto, sumado a una presión interna elevada, nos llevaría a descartar todos los medidores que necesiten ser instalados en el interior por no soportar las condiciones de trabajo. Por último, por la naturaleza del coquizado es de vital importancia que el medidor pueda diferenciar entre aire, espuma y carga. Esto es debido a que si se detecta un porcentaje de espuma elevado será necesario aplicar antiespumante al proceso para evitar que se produzcan complicaciones. Además, una vez solidificado el coque será necesario cortarlo con una broca axial centrada, lo cual también haría la instalación de un medidor en el interior de las cámaras más complicado.

En conclusión, los únicos medidores que reúnen las condiciones para un funcionamiento correcto son los radiactivos. Ahora bien, el coquizado requiere un seguimiento de la altura de la carga y la velocidad a la que el proceso se desarrolla. Para ello se aplican dos tecnologías:

- Retrodispersión de neutrones
- Transmisión gamma

La retrodispersión de neutrones puede detectar vapores, espumas, líquidos y sólidos a través de cualquier espesor de pared para aportar información sobre los cambios del proceso de manera rápida. La transmisión gamma ofrece la habilidad de observar el nivel de espuma, coque y agua durante el ciclo del coque. El uso en conjunto de estas dos tecnologías se denomina “Nivel híbrido de coque” y posibilita una visión superior de los cambios del proceso que en el caso de usar sendos métodos de forma separada.

El funcionamiento de ambos dispositivos será desarrollado con mayor profundidad en sus respectivos apartados.

Radiación aplicada a medidores

Para mantener un control preciso del nivel de las cámaras recurriremos a dos dispositivos radiactivos, el LevelPro y KrilPro, que utilizan, respectivamente, radiación Gamma y Neutrónica. Es por ello que antes de ahondar en su funcionamiento hablaremos brevemente sobre la radiación.

La radiación es la energía que se propaga en forma de onda a través del espacio. La radiación es un fenómeno natural o artificial, por el cual los núcleos de átomos de algunas sustancias o elementos químicos emiten radiación. Existen radiaciones inocuas para los seres vivos y hay otras radiaciones que tienen suficiente energía como para arrancar electrones de los átomos, que se convierten en iones. A estas radiaciones se les denomina radiaciones ionizantes.

En las radiaciones no ionizantes, los enlaces atómicos permanecen estables. Tipos de radiaciones no ionizantes:

- Luz visible.
- Ondas de radio.
- Infrarroja.
- Ultravioleta

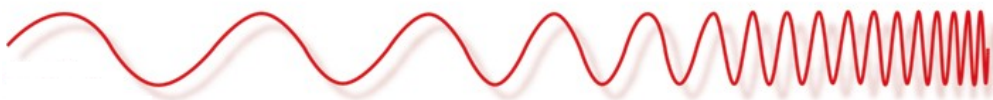
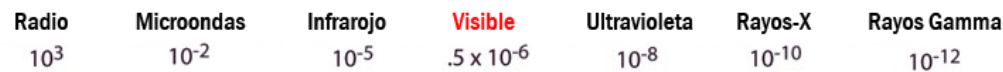
En las radiaciones ionizantes, los enlaces atómicos se rompen. Las radiaciones ionizantes pueden ser partículas cargadas (directamente ionizantes) u ondas electromagnéticas de alta frecuencia y energía (Rayos-X y Rayos Gamma) o aquellas generadas por neutrones.

El Espectro Electromagnético

¿Penetra la atmósfera terrestre?



Longitud de onda (metros)



Del tamaño de...



Edificios



Humanos



Abeja



Alfiler



Protozoarios



Moléculas

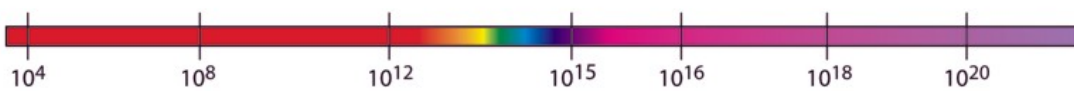


Átomos



Núcleo Atómico

Frecuencia (Hz)



Temperatura de los cuerpos emitiendo la onda (K)



Visto en DiosEslmaginario.com

Figura 3.1: Espectro de ondas electromagnéticas.

3.1. Radiación Neutrónica

La radiación por neutrones es una clase de radiación ionizante que consiste en neutrones libres producidos como resultado de reacciones nucleares. Los neutrones son partículas que no tienen carga, pero tienen masa.

- Interacción con núcleos de masas similares: Al chocar con núcleos de masa similar, por ejemplo hidrógeno, pierden energía convirtiéndose en neutrones térmicos o lentos.
- Interacción con núcleos de material no absorbente: Al chocar con núcleos de masas no similares, este último queda en estado excitado y emite la energía en exceso por emisión, en general de fotones gamma.

- Absorción o captura: se produce al chocar con un material absorbente (Cd, B) y se produce una reacción nuclear, captura radiactiva, emisión de partículas o fisión.

3.2. Radiación Gamma

Se denomina radiación gamma a una radiación electromagnética de fotones con energía superior a en general a los de radiación X, que se origina en el núcleo de los átomos. Es una radiación altamente energética, con un alto poder de penetración. Se requiere de materiales densos, tales como el plomo o el hormigón, para conseguir que se detenga. El choque con los distintos átomos hace que, al atravesar una sustancia, la intensidad disminuya. Este comportamiento será clave para su utilización en nuestro medidor. Es importante tener también en cuenta que en el caso de los seres vivos, de la interacción de la radiación con las células pueden producirse daños en la piel o en tejidos internos.

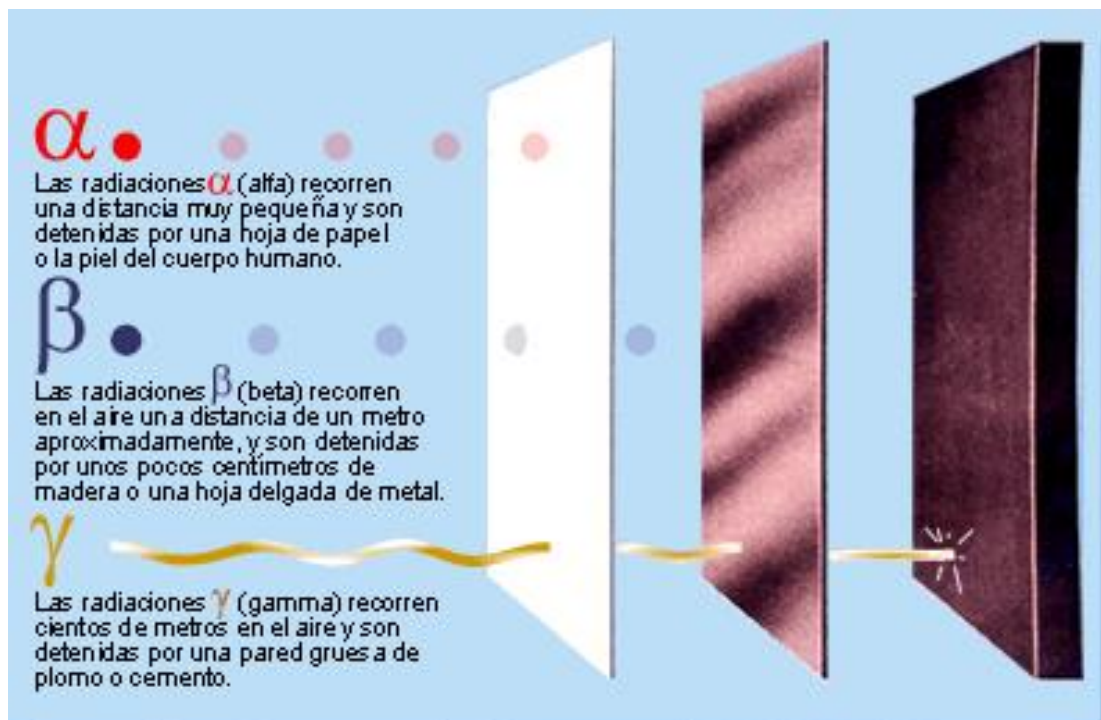


Figura 3.2: Grados de penetración de materiales para radiación alfa, beta y gamma.

3.3. Medidor KrilPro

El medidor de densidad / interfase Modelo KrilPro 7200A, basa su principio de operación en la retrodispersión de neutrones.

3.3.1. Propiedades básicas

- Mayor capacidad de penetración que los rayos gamma.
 - Se detienen por choque frontal con átomos de masa similar (hidrógeno), convirtiéndose en neutrones lentos (o térmicos).
 - Rango de energía: 10KeV - 20 MeV (neutrones rápidos) Krilpro: 4,5 MeV – 5 MeV
 - Am²⁴¹Be (Fuente de Americio rodeada de una capa fina de Berilio) con T_{1/2} de 432 años. Las partículas del Am al chocar con el Be producen la emisión de neutrones.
 - Utiliza la retrodispersión de neutrones lentos para la medida de interfase.
 - La cantidad de energía recibida en el detector es proporcional al contenido en hidrógeno del material en el tanque.
-



Figura 3.3: Imagen real de la carcasa de un medidor KrilPro.

Consta de una carcasa que contiene una fuente emisora de neutrones, detectores de ionización gaseosa y la electrónica asociada (figura 3.3). El transmisor de señal del equipo es el modelo 1400S.

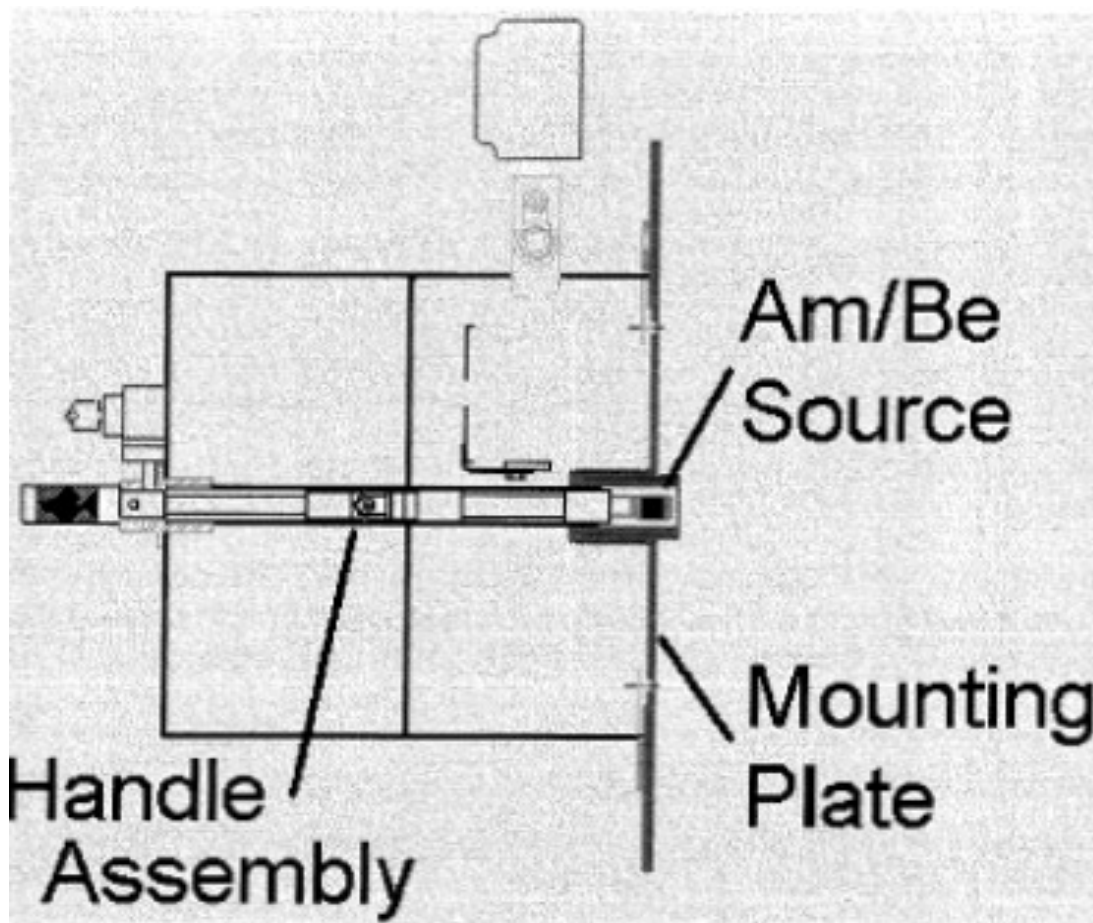


Figura 3.4: Componentes de un medidor krilpro.

El principio de medida se basa en que los átomos de hidrógeno absorben energía de los neutrones rápidos en proporciones muy superiores a la absorción de energía que puede sufrir cualquier otro elemento.

Los neutrones rápidos atraviesan la pared de las cámaras y chocan con el producto a medir.

El hidrógeno, el carbono y el oxígeno que contiene el producto, actúan como moderadores de los neutrones, desacelerando los mismos, siendo el hidrógeno el compuesto más efectivo a la hora de termalizar los neutrones debido a su similitud en cuanto a masa. Esta capacidad del hidrógeno, permite detectar la densidad/interfase del material presente en la cámara, ya que el número de neutrones lentos retrodispersados y recibidos por los detectores, dependerá siempre de la naturaleza y densidad del material presente en la cámara. A modo de ejemplo,

tendremos un número muy alto de neutrones retrodispersados cuando el producto a medir es agua, y un número de neutrones retrodispersados muy bajo cuando la cámara se encuentra vacía; espumas pesadas de hidrocarburos, proporcionarán una señal mayor en los detectores que espumas de hidrocarburos ligeros.

Ya que el número de neutrones lentos o térmicos producidos tras el choque con moléculas que contienen hidrógeno, es directamente proporcional a la densidad del mismo presente en la muestra. Los neutrones lentos pueden detectarse con una cámara de ionización gaseosa.

La cámara de ionización, está rellena de un gas (BF₃) que se ioniza. Los iones cargados se recogen en el centro de un electrodo, produciendo una corriente de baja intensidad (10-12 Amp, pA). Esta corriente se amplifica para enviarse como una señal 0-20 mA al transmisor, donde se realizará el cálculo correspondiente al producto que se mide en el proceso, en función de las constantes de calibración configuradas en el equipo. El transmisor proporciona una señal de corriente 4-20 mA de proporcional al rango calibrado.

3.3.2. Fuente

La fuente de neutrones, emisora de neutrones rápidos se aloja en el housing 7200A. Este housing contiene una palanca de dos posiciones que controla la cápsula. En posición cerrada (off), la cápsula se coloca en el centro del housing de forma que se minimiza la radiación externa. Manteniendo el obturador en esta posición, serán posibles las tareas de almacenamiento, envío e instalación de los equipos de forma segura. En posición abierta (on), la cápsula se desliza hacia la parte cercana a la pared del tanque, donde realiza la medida. Se utiliza una fuente de Americio 241 Berilio (Am²⁴¹:Be) para la emisión de neutrones rápidos. El isótopo se encuentra doblemente encapsulado en acero inoxidable. Las cápsulas se sueldan con Tungsteno y se chequean posibles fugas con nitrógeno. Aunque debido al procedimiento de soldadura la posibilidad de una fuga es remota, ha de realizarse un test de fugas en intervalos de tiempo determinados, en función de lo que se especifique en la autorización de la instalación radiactiva y nunca se recomienda superar un periodo superior a tres años. Este intervalo de comprobación de fugas, dependerá en cada caso de la normativa aplicable en el país donde operen los equipos. La fuente doblemente encapsulada se aloja en el housing 7200A. En caso de daño en el housing o abandono de la instalación, la fuente ha de desecharse de

forma adecuada por una empresa autorizada.

3.3.3. Detector

El detector de neutrones va montado en una placa de acero que contiene la fuente de neutrones rápidos y una cámara de ionización de neutrones lentos estabilizada por temperatura. La cámara de ionización está rellena con gas BF₃, con forma de cilindro metálico. La geometría del detector junto con la fuente, proporcionan la máxima precisión y sensibilidad con una radiación externa de energía mínima; esta geometría también minimiza los efectos de la energía radiante que puede escapar de los detectores.

Se aplica un potencial negativo en la cara interna de la cámara de ionización. Cuando los neutrones chocan con el gas del detector, éste se ioniza. El voltaje del potencial aplicado fuerza a los iones cargados a ir al centro del electrodo, produciendo una corriente en pA directamente proporcional a la intensidad de los neutrones lentos o termalizados incidentes detectados.

La corriente es proporcional a la cantidad del material hidrogenado en la cámara donde se realiza la medida.

3.3.4. Transmisor 1400S

Con un diseño robusto y resistente a atmósferas corrosivas para operación en ambientes agresivos, el transmisor utiliza la señal recibida para calcular el tipo de material en el proceso. Estos valores pueden visualizarse, enviarse a puertos serie o usarse en salidas de corriente y alarmas. El transmisor también monitoriza las variables del sistema, generando señales de alarma en caso de fallo.

El teclado integrado en el transmisor normalmente se utiliza como primera vía de comunicación con el instrumento. Permite selección de menús, e introducción de comandos y valores de parámetros.

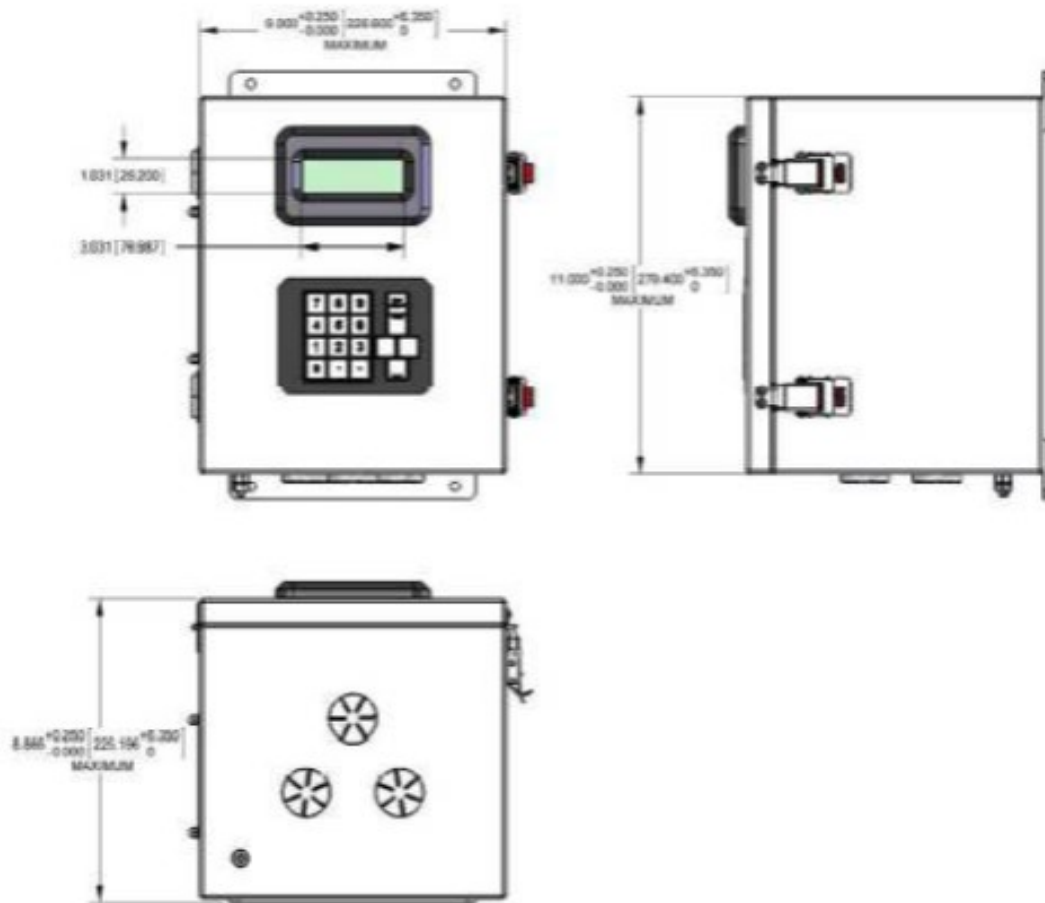


Figura 3.5: Diagrama del transmisor 1400S.

En el display de cuatro líneas se muestra el menú o hasta 8 medidas de forma alternativa (4 simultáneas).

Calcula la densidad/interfase, nivel puntual, humedad y/o variables relacionadas con el material de proceso y proporciona lecturas de gran precisión, permitiendo a los operadores responder con suficiente rapidez a variaciones en el proceso al objeto de optimizarlo.

3.4. Medidor LevelPro

El modelo LevelPro para la medida en continuo del nivel en las cámaras está diseñado para proporcionar la medida de nivel. Se monta externamente a la

cámara, sin contacto con el proceso. El equipo consiste en un emisor que contiene la fuente con el radioisótopo y el detector/transmisor, que contiene el detector de centelleo y la electrónica.

3.4.1. Propiedades básicas

- Utiliza la atenuación de la energía a través de las paredes del tanque y el producto para la medida.
- Fuente y detectores externos al tanque y en paredes opuestas.
- El tamaño de la fuente se determina en función del espesor de las paredes del tanque y la muestra de proceso.
- La cantidad de energía recibida en el detector de nivel es inversamente proporcional al nivel del material en el tanque (función logarítmica).
- Se utiliza una fuente de ^{137}Cs doblemente encapsulada, con obturador de seguridad, para nivel continuo. $T_{1/2}$ 30 años.
- Rango de energía: 4,5 MeV – 5 MeV.

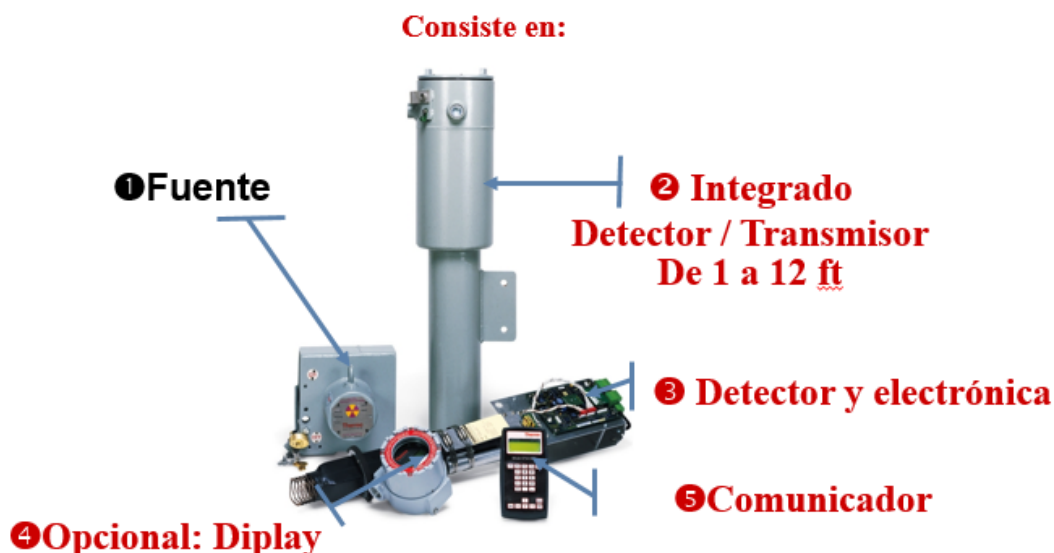


Figura 3.6: Componentes de un medidor LevelPro.

El radioisótopo, Cs137, emite radiación gamma que atraviesa el material de proceso. La medida de la energía (radiación no absorbida por el material de proceso) se realiza en el detector de centelleo, y es proporcional al nivel de llenado en la cámara.

Fuente y detectores se montan en caras opuestas de la cámara de coquización.

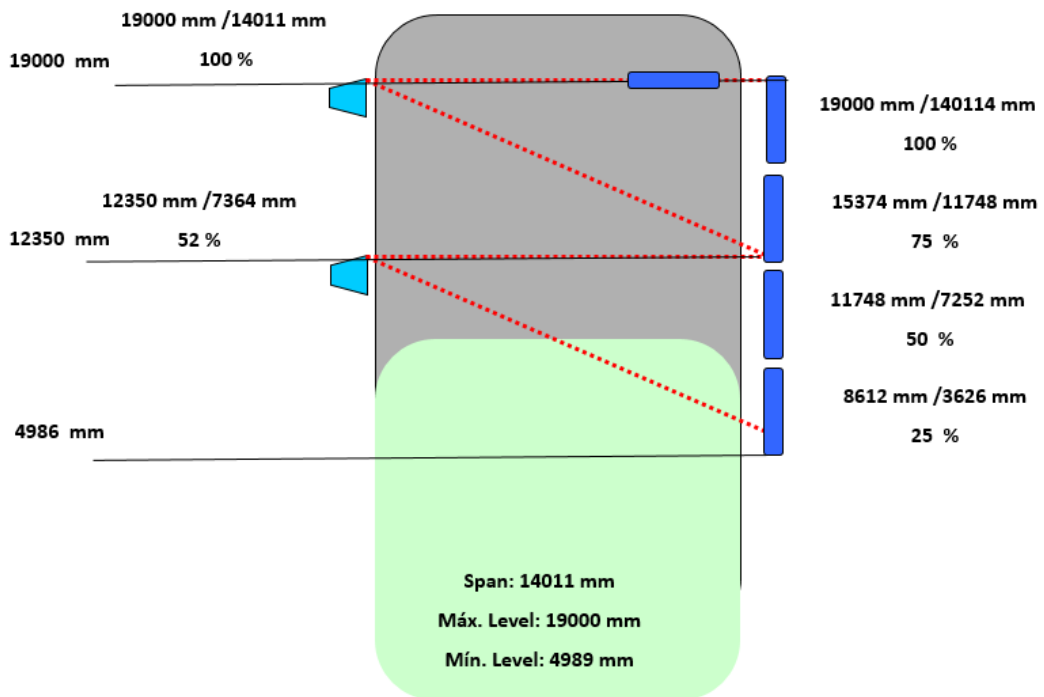


Figura 3.7: Disposición de sistema emisor/receptor de un medidor LevelPro.

Han de tenerse en cuenta posibles estructuras internas en las cámaras de coquización para la correcta instalación de las fuentes y los detectores, al objeto de evitar que la radiación gamma recibida en el detector quede apantallada por estas posibles estructuras.



(a) Par de medidores LevelPro necesarios para abarcar la altura de la vasija cámara
 (b) Medidor LevelPro instalado en la cámara

Figura 3.8: Medidores LevelPro

Para nuestro sistema de medida de nivel continuo utilizaremos dos fuentes con sus correspondientes detectores de nivel asociados, como se refleja en la figura 3.7

3.4.2. Fuente

El radioisótopo se integra en pastillas cerámicas con doble encapsulamiento en acero, que asegura gran resistencia a vibraciones y choques mecánicos.

La fuente encapsulada se recubre de un blindaje de plomo, en una carcasa de acero soldada, con una apertura de ángulo definido para el direccionamiento de la radiación a través de las paredes de la cámara y el material de proceso hasta el detector.

Fuera del ángulo de radiación, la energía es muy baja y está limitada a las prescripciones de acuerdo a la normativa.

El obturador permite el cierre, bloqueando la emisión de radiación durante la instalación o posibles reparaciones.

Para determinar el tamaño de la fuente será necesario conocer las características de la cámara de coque y las propiedades de la carga. Debido a la amplitud de este proceso de cálculo, dedicaremos un apartado a los mismos.

3.4.2.1. Cálculo de tamaño de fuente

El dispositivo KrilPro podría trabajar tanto con Cesio-137 como con Cobalto-60 e Ir-192, centraremos nuestros cálculos para un medidor KrilPro con una fuente de Cs-137. Se podrían hacer los cálculos para el Co-60, pero no resultaría un

isótopo demasiado viable debido a su vida media (5 años, que en comparación con los 30 del Cesio resulta baja) siendo solo contemplable su uso para grandes distancias, paredes muy gruesas o densidades de vapor enormemente altas. Por otro lado, la vida media del Ir-192 (73 días) lo hace absolutamente inviable para este tipo de procesos.

Dicho esto deberemos saber que la cámara tiene un diámetro interno de 7316 mm (fig 3.9) y unas paredes 30 mm de acero A 204 gr b más un recubrimiento de 2 mm de cladding. Por la geometría del emisor gamma y de la vasija, la fuente se encuentra a aproximadamente 250 mm de la pared.

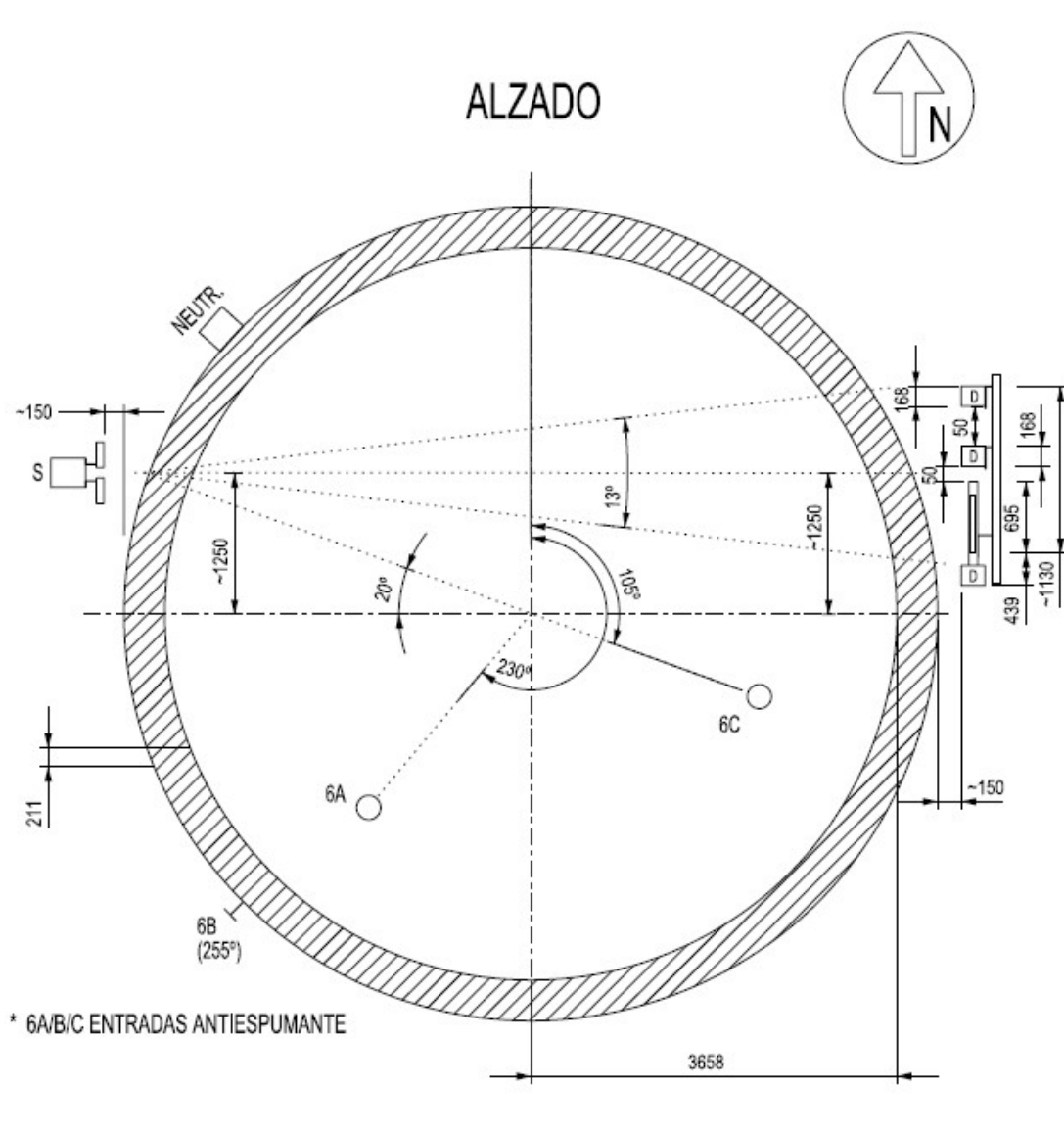


Figura 3.9: Plano de la sección de la vasija.

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema se necesita que la intensidad medida sea de al menos $1,5 \mu\text{Sv/hr}$ y vemos que nuestra fuente cumple este requisito perfectamente.

Buscamos pues ajustar la intensidad que registra el detector a ese valor siempre quedándonos por encima.

Ahora bien, la fórmula que relaciona la intensidad con el espacio recorrido y el tipo de material a atravesar será la siguiente:

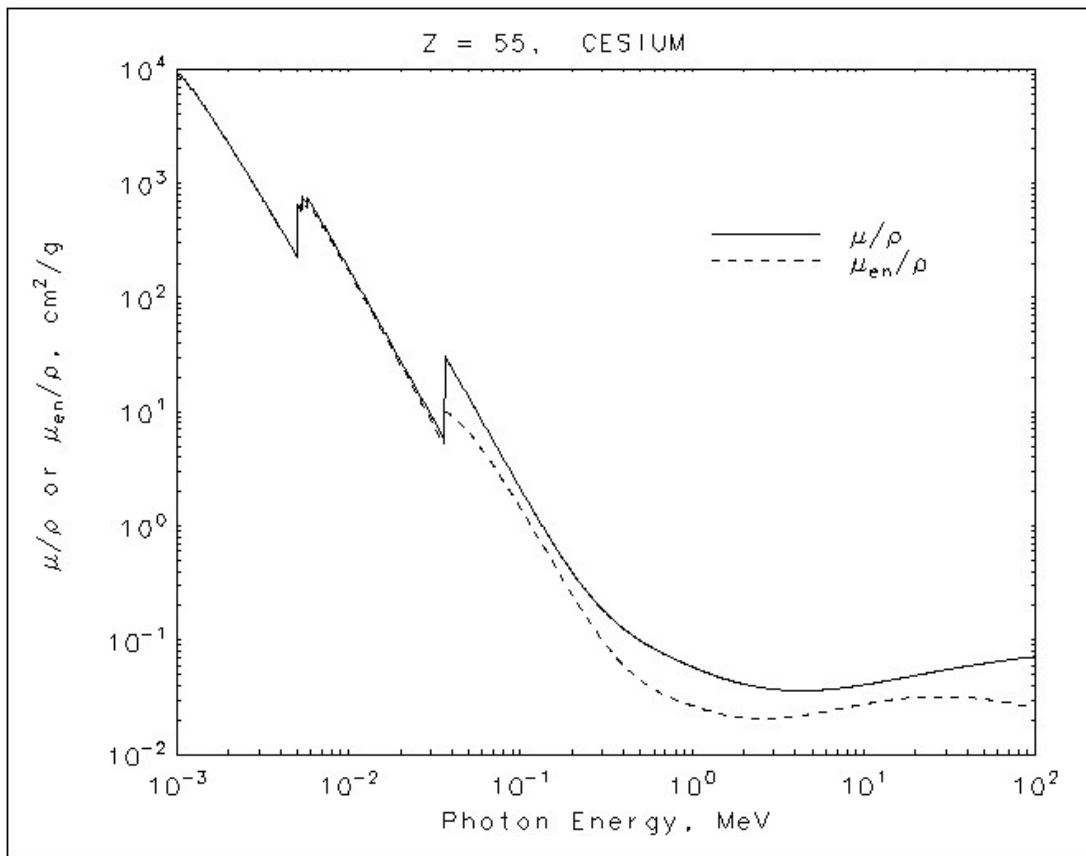


Figura 3.11: Tabla de ratios $u/densidad$ en función de la energía del isótopo de Cesio.

Así sabremos que la ratio $u/densidad$ será de $7,93 \cdot 10^{(-2)} \text{ cm}^2/\text{g}$ Finalmente, conociendo las densidades del acero ($8,05\text{g}/\text{cm}^3$) y de la carga interior ($1,05\text{g}/\text{cm}^3$) sabremos sus respectivos coeficientes de atenuación, $0,638 \text{ cm}^{-1}$. y $0,083\text{cm}^{-1}$.

Sustituyendo en la ecuación despejada y aplicándola para las dos paredes de acero y para el diámetro interno de la vasija:

$$I_0 = 1,5 / (e^{-0,638 \cdot 3,2}) = 11,5 \text{ } \mu\text{Sv/hr}$$

$$I_0 = 11,5 / (e^{-0,083 \cdot 71,36}) = 4311,83 \text{ } \mu\text{Sv/hr}$$

$$I_0 = 4311,83 / (e^{-0,638 \cdot 3,2}) = 33206,723 \text{ } \mu\text{Sv/hr}$$

Sabiendo esto, recurrimos al programa RadPro para saber la actividad necesaria en la fuente (situada a 25 cm de la pared) para que la tasa de dosado sea de esos $33206.723 \text{ } \mu\text{Sv/hr}$:

The screenshot shows the 'RAD PRO CALCULATOR' software interface. The 'DOSE RATE & ACTIVITY' tab is selected. Under 'Select Calculation', 'Activity and Dose-Rate' is chosen. The 'Select Isotope (Point Source)' dropdown is set to 'Cs-137'. 'Select Dose-Rate Units' is 'uSv/hr' and 'Select Activity Units' is 'mCi'. 'Enter Dose-Rate' is '33206,723 uSv/hr' and 'Enter Distance' is '25 cm'. The 'Calculated Activity' is '734,083701889779 mCi'. The text below the result reads 'Cs-137 measuring 33206,723 uSv/hr at 25 Centimeters'. Buttons for 'Calculate', 'Start Excel', 'Show Workbook', and 'Exit' are visible at the bottom.

Figura 3.12: Cálculo de actividad necesaria de la fuente para que lleguen exactamente $1,5 \mu\text{Sv/hr}$ al detector.

Ahora bien, el tipo de fuente que más se ajusta a estos 734,08 mCi es la de 1000mCi. Ahora el proceso de cálculo será exactamente al revés. Con la fuente de 1000mCi calculamos qué intensidad llegará al detector:

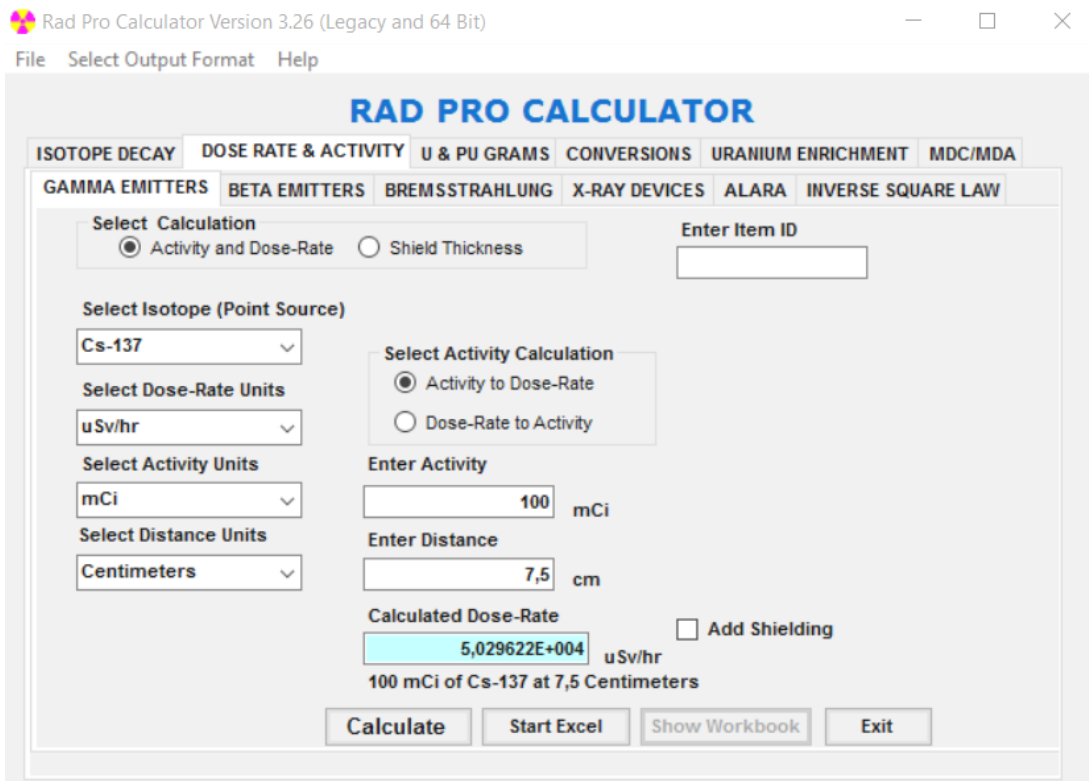


Figura 3.13: Cálculo de la tasa de dosado que llega a la pared de la cámara con una actividad de fuente de 1000mCi.

Aplicando ahora la fórmula directa tenemos que:

$$I = 45234,61 * (e^{-0,638*3,2}) = 5873,76 \mu\text{Sv/hr}$$

$$I = 5873,76 / (e^{-0,083*71,36}) = 15,73 \mu\text{Sv/hr}$$

$$I = 15,73 / (e^{-0,638*3,2}) = 2,04 \mu\text{Sv/hr}$$

Así confirmamos que un LevelPro con fuente de 1000mCi resultará el más eficaz para nuestro proceso.

3.4.3. Detector / Transmisor

- El LevelPro utiliza un detector de centelleo para medir la radiación que le llega desde la fuente una vez atravesadas las paredes de las cámaras y/o el material de proceso. El detector de centelleo consiste en un material plástico de centelleo, un tubo fotomultiplicador y la electrónica asociada.

-
- Cuando la radiación golpea el material plástico del detector, se emiten pequeños destellos de luz; y según aumenta la densidad del material del proceso, mayor cantidad de radiación gamma se absorbe y menos pulsos de luz se generan en el detector.
 - El tubo fotomultiplicador y la electrónica asociada, convierten los pequeños pulsos de luz en pulsos eléctricos que se procesan para determinar el nivel del producto y la relación con los valores medidos.
 - La comunicación con el instrumento puede realizarse mediante los puertos serie RS-485 o RS-232, con un terminal de mano (HHT) y un PC con software TMTComm para Windows o bien mediante un terminal estándar ANSI o VT-100.
 - La salida 4 -20 mA estándar del equipo soporta el protocolo HART sobreimpuesto y permite la comunicación con el equipo con un comunicador estándar Rosemount 375.
 - El modelo LevelPro proporciona una salida de corriente 4-20 mA, puertos de comunicación RS-232 y RS-485 y dos entradas de cierre de contactos, que puede programarse para activar un comando basado en una entrada proporcionada por el usuario.

3.4.4. Características Principales

- Configuración basada en menú dinámico. (Dynamic Menu System). Incluye todos los parámetros básicos y los comandos requeridos para configurar rápidamente el equipo, así como indicaciones rápidas y accesos directos a los comandos bypassando el menú del sistema.
 - Respuesta instantánea, utiliza el sistema de procesamiento de la señal (DPT Dynamic Process Tracking). Este procedimiento, asegura que no hay tiempos muertos en la respuesta del equipo a cambios significativos en el nivel del proceso. Cuando ocurre un cambio, el DPT reduce la constante de tiempo promediado por un factor de ocho, para asegurar una respuesta rápida. Una vez se estabiliza el nivel, aplica de nuevo una constante de tiempo promediado superior para reducir las fluctuaciones inherentes a las medidas
-

basadas en radiactividad. De esta forma, se consigue que se identifiquen rápidamente cambios de nivel, mientras que efectos debidos a las variaciones estadísticas de las medidas basadas en radiación se reducen de forma considerable.

- *Lecturas simultáneas*: Pueden seleccionarse hasta ocho valores de medida para visualizar el nivel, volumen,
- *Alarmas de proceso*: Pueden definirse hasta 16 alarmas además del sistema de alarmas de fallo y aviso integradas.
- La salida 4 -20 mA estándar del equipo soporta el protocolo HART sobreimpuesto y permite la comunicación con el equipo con un comunicador estándar Rosemount 375.
- *Señales de salida* : cualquier medida puede asignarse a la salida de corriente 4 – 20 mA.
- Admite hasta 16 puntos de calibración.

3.4.5. Calibrado

El calibrado se realiza tomando dos puntos:

- Vacío
- Lleno de agua

El output variaría de 4mA (0 %) a 20mA (100 %)

De esa forma, la calibración asignaría los siguientes valores:

- Vasija vacía: 5 % = 4.8 mA
- Vasija llena de agua: 95 % = 19.2 mA

Así, con esta configuración las lecturas que se pueden registrar serían las siguientes:

- Espuma líquida: del 15 % al 35 %
-

- Espuma pesada: del 40 % al 60 %
- Coque saturado con agua: del 85 % al 90 %
- Coque seco: del 70 % al 85 %

3.4.6. Principales ventajas de la medida con radiación gamma

- La medida sin contacto con la muestra es apropiada para aplicaciones abrasivas, corrosivas, a alta presión y alta temperatura.
- La electrónica integrada en el detector reduce los costes de instalación y cableado.
- La tecnología de transmisión de radiación gamma no se ve afectada por variables de proceso como presión, temperatura, viscosidad o densidad.
- Entrada para compensación de la medida de nivel por densidad de gas/vapor.

3.4.7. Especificaciones Técnicas

3.4.7.1. Fuentes

- 1000 mCi / 37 Gbq Cs-137 (Periodo de semidesintegración del Cs137: 30 años)
- Carcasa de la fuente en acero al carbono
- Ángulo de direccionamiento de la radiación: 60 grados
- Actuador manual estándar para cierre del obturador
- Tags en acero inoxidable (3,3" x 2,5") bridadas

3.4.7.2. Detectores

- Electrónica basada el multiprocesador, con salida ininterrumpida durante la entrada y salida de datos e interrogación del sistema. Todos los datos de usuario se almacenan por duplicado en una memoria no volátil sin necesidad de back-up
-

- Detector: De centelleo en plástico PVT, con amplio rango dinámico, resistente a choques mecánicos y a la humedad.
- Temperatura de operación: -20 a +60°C (Refrigeración opcional con agua para aplicaciones de alta temperatura).
- Carcasa en acero al carbono.
- Longitud del detector / transmisor en función de la aplicación (12 pies, 3660 mm de longitud sensible).
- Alimentación: 115/230 VAC, 24 VDC.
- Dos Relés tipo C, SPDT, 8 A, 220 VAC (opcionales).
- Salida 4-20 mA aislada y alimentadas por el lazo, autoalimentada o no aislada y autoalimentada.
- Módulo de comunicación Hart.
- Tags en acero inoxidable.
- Clasificación eléctrica: ATEX II 2G EEx d IIC T6 (-20 a +60°C), certificado CE.
- Display local remoto (opcional), modelo 9723, retroiluminado de dos líneas, con 16 caracteres alfanuméricos.

3.5. Manejo de señales y datos

Después de ver cómo funcionan los niveles radiactivos, se explicará el manejo de los datos y señales obtenidos de las fuentes, para el correcto funcionamiento de la unidad. El receptor de la fuente manda la señal de nivel a la sala de control de la refinería, donde en el panel se visualizan los 3 niveles de neutrones y 1 nivel continuo de cada cámara en %. De esta manera el técnico de la sala de control supervisa el llenado de las cámaras y actúa de acuerdo con la información obtenida y la experiencia. Cuando el medidor de neutrones del nivel inferior está al 25 % se da la orden y se introduce antiespumante en la cámara. A continuación si lo que se encontraba en dicho nivel era espuma, la señal recibida ahora será

menor, porque gracias al antiespumante el nivel de espuma ha disminuido. Si por el contrario en el nivel ya se encontraba compuesto sólido, la señal recibida será la misma que antes de rociar el antiespumante y en consecuencia se sabe que el coque ya ha alcanzado dicho nivel en la cámara.

El proceso se repite similarmente con otros tantos por ciento de llenado en este nivel y en los superiores que según la experiencia del panelista, ajusta para la optimización del proceso.

En cuanto al medidor continuo, únicamente se recibe una señal la cual da el % de llenado de la cámara total. Al igual que en los medidores de neutrones se rociará antiespumante en la cámara cuando se llegue a unos % preestablecidos.

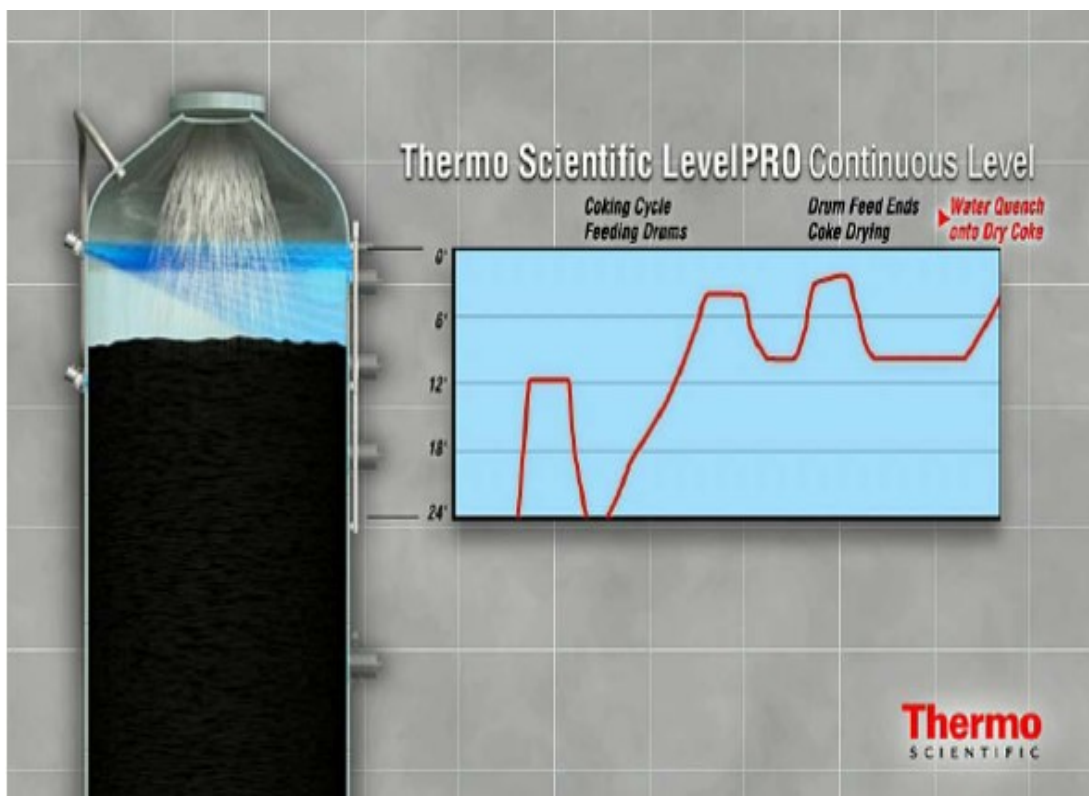
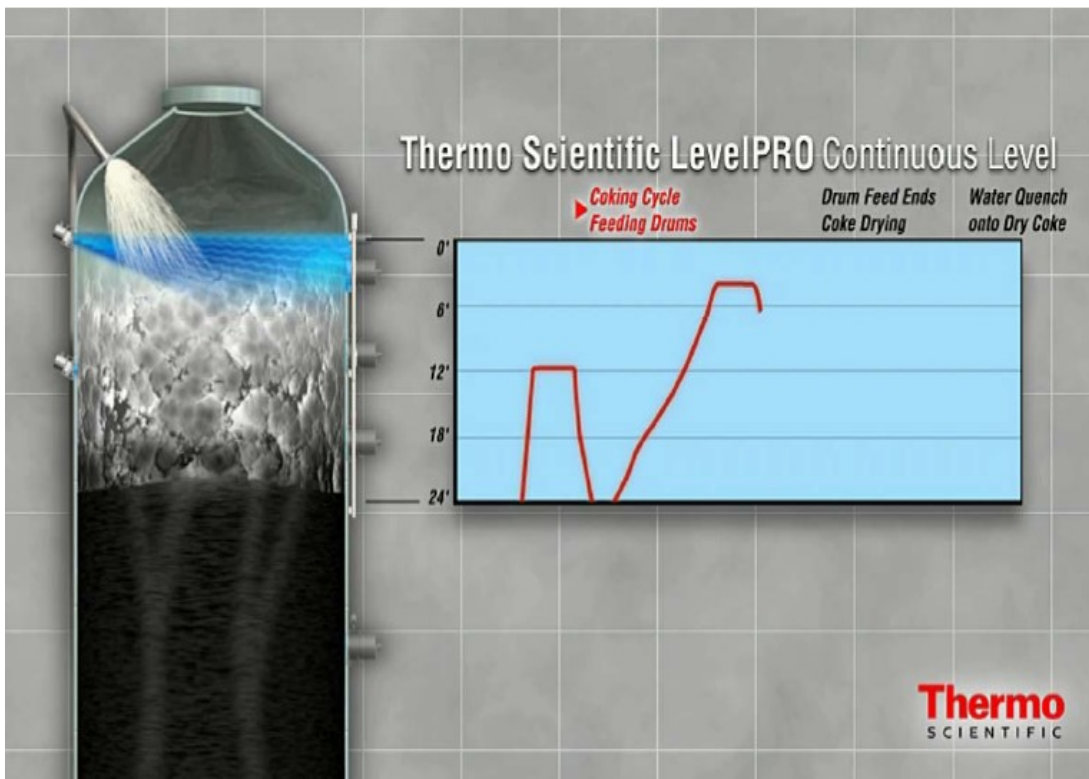
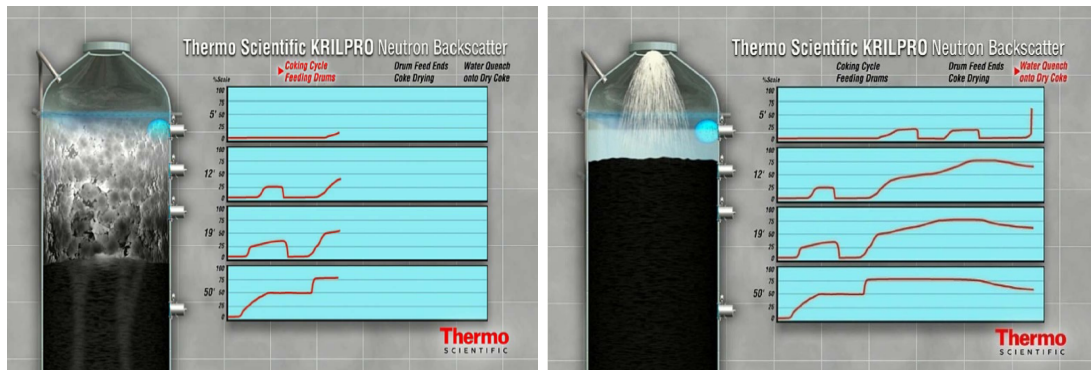
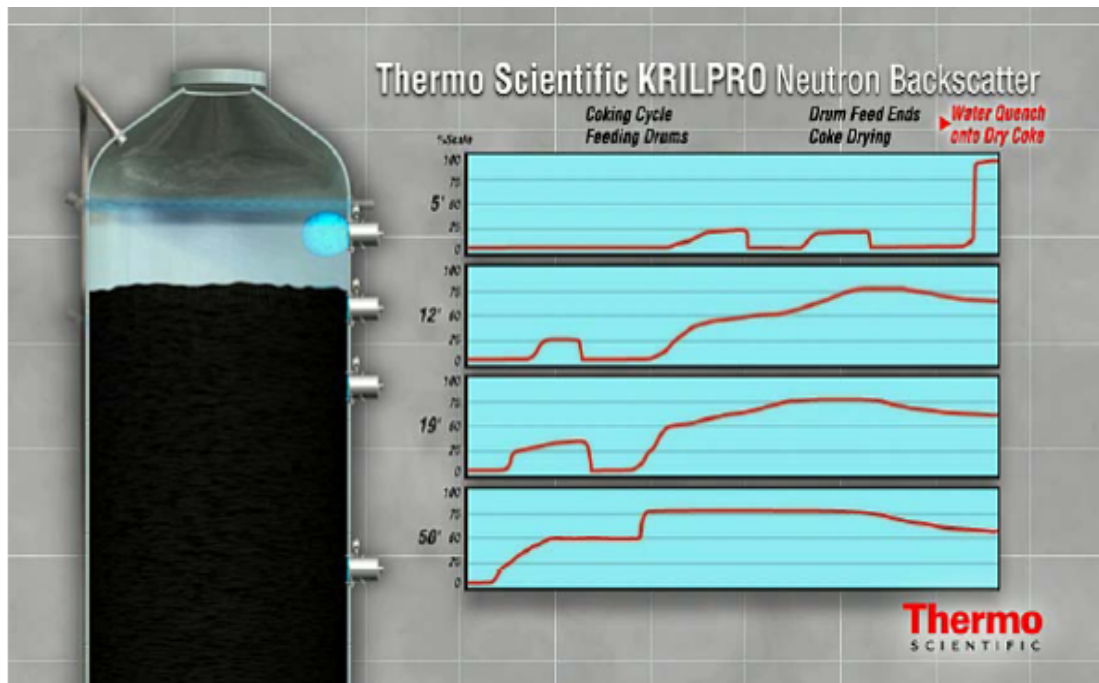


Figura 3.14: Gráficas de la señal del LevelPro en panel en función del estado de la cámara



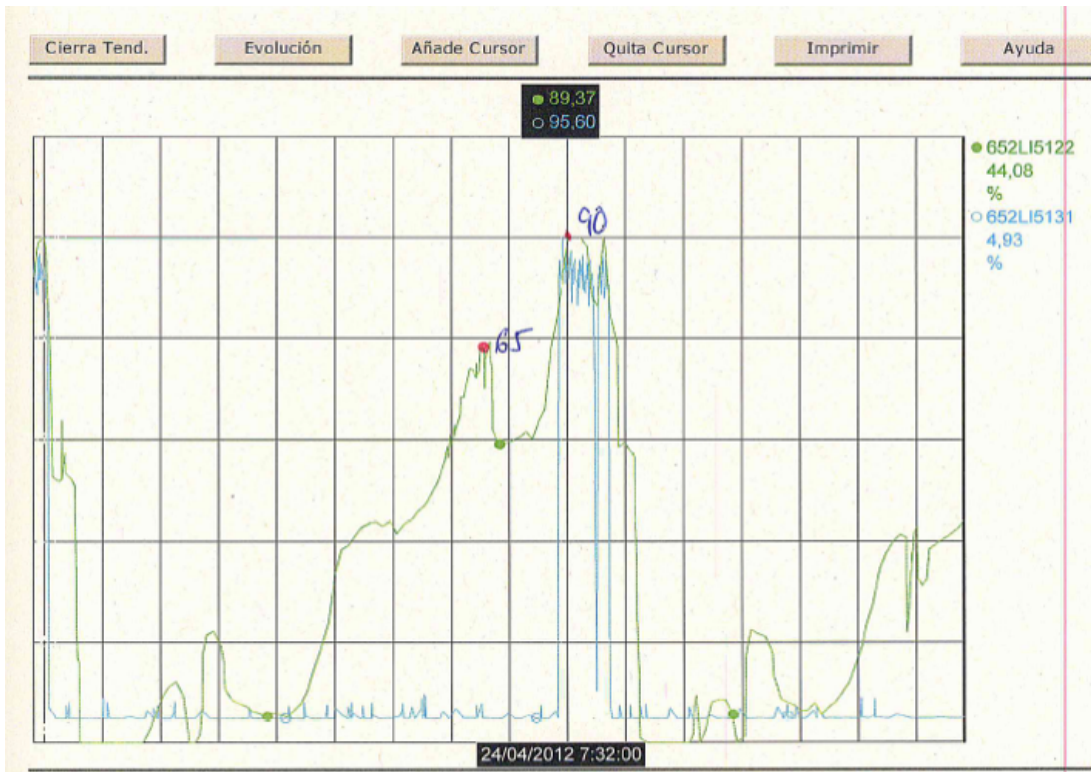
(a)

(b)

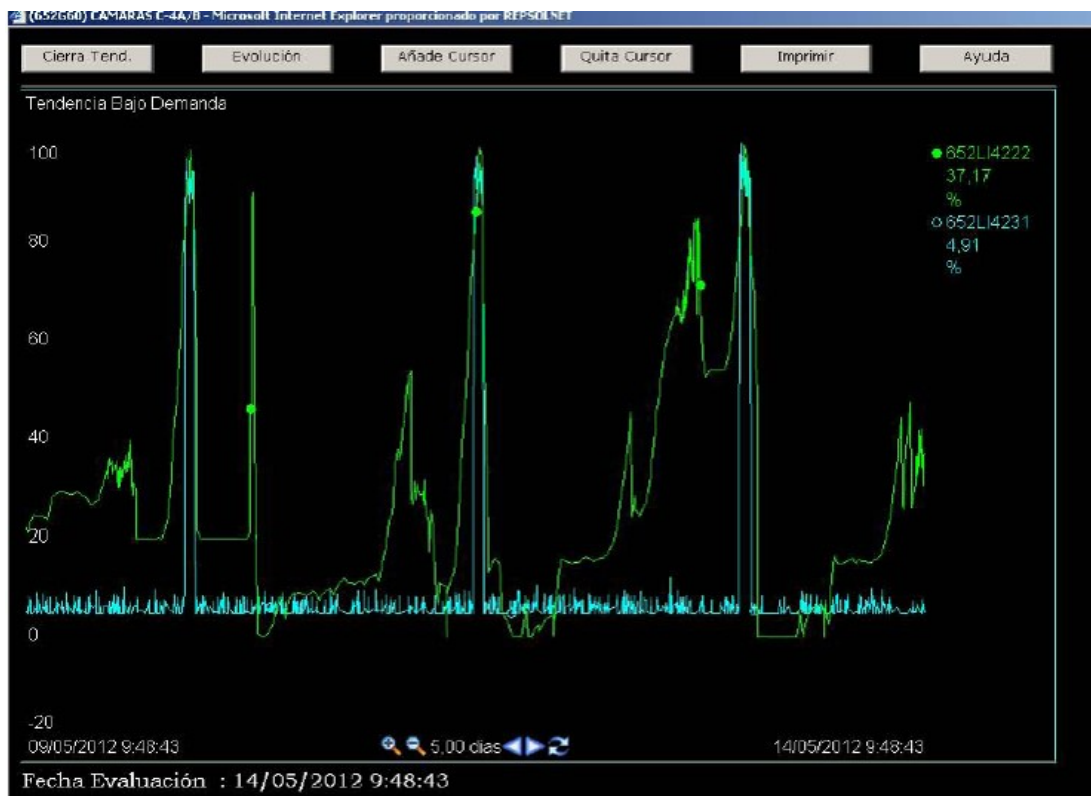


(c)

Figura 3.15: Gráficas de la señal del KrilPro en panel en función del estado de la cámara



(a)



(b)

Figura 3.16: Comportamiento continuo de las gráficas

En la imagen (b) de la figura 3.16 se observan caídas de densidad bruscas después de picos en medio de tendencias ascendentes. Esto se debe a que se detectó la presencia de espuma que se contrarresta con la inyección de antiespumante que devuelve la tendencia predominante. Esta gráfica en particular abarca 3 ciclos enteros. Como se puede ver, existe un patrón que se repite entre ciclos.

Por otro lado, las irregularidades de nivel que se registran en la zona máxima de la imagen (a) se deben al enfriamiento de la carga con agua, que provoca fluctuaciones.

3.6. Riesgos radiológicos en control de procesos y técnicas analíticas

En las instalaciones de trabajo, y debido al uso de estos medidores radiactivos, existen radiaciones ionizantes.

Las radiaciones ionizantes tienen unas características determinadas que hacen que al interactuar con un medio le transfieren la energía suficiente para desligar un electrón de su átomo.

Definimos de esta forma la ionización como la formación de un par de iones, el negativo (o electrón libre) y el positivo (o átomo sin uno de sus electrones). Podríamos diferenciar dos tipos de radiaciones ionizantes:

- Directamente ionizantes, como las partículas alfa y beta.
- Indirectamente ionizantes, como rayos X, rayos gamma y neutrones.

Definiremos también la contaminación como la presencia indeseable de sustancias radiactivas en una materia, superficie, medio o persona. A su vez, la irradiación es la exposición de una persona a sustancias radiactivas con la consecuencia de una dosis apreciable de radiación.

Existen al menos tres tipos de fuentes radiactivas a tener en cuenta:

- Fuentes encapsuladas: se trata de material radiactivo confinado en cápsula inactiva de suficiente resistencia mecánica para impedir el contacto o la dispersión del material radiactivo. Tan solo existe riesgo de irradiación y de contaminación en el caso de que se diese un accidente.
-

503.6. Riesgos radiológicos en control de procesos y técnicas analíticas

- Fuentes no encapsuladas: material radiactivo en estado líquido, gas, o en forma de polvo. Existe siempre riesgo de irradiación y de contaminación.
- Fuente por generadores de radiación ionizante (rayos X): sólo corremos riesgo con esta última con el equipo de operación.

Existen tres parámetros a tener en cuenta para prevenir la irradiación

- Tiempo: cuanto menos tiempo nos exponamos a la fuente radiactiva la dosis que recibiremos será menor. Un cálculo sencillo nos dice que $Dosis = Tasa \text{ de dosis} \times Tiempo \text{ de permanencia}$
- Distancia: la radiación gamma de una fuente radiactiva de reducidas dimensiones, así como la generada de un tubo de rayos X se propaga en el espacio siguiendo la ley de proporción inversa al cuadrado de la distancia. Definido en forma de ecuación

$$D_1 x d_1^2 = D_2 x d_2^2$$

- Blindaje (alfa y beta): hay que tener en consideración que el alcance de partículas beta es tan sólo de unos pocos metros en el aire y de escasos centímetros en sustancias como el tejido o el plástico. Los átomos de los blindajes pesados absorben una parte mayor de la energía beta en cada interacción pero, debido a ello, los propios átomos del blindaje comienzan a producir a su vez rayos X, denominados radiación de frenado (Bremstrahlung). Por otro lado, los materiales ligeros son los blindajes más eficaces contra radiación beta, pese a que haga falta un mayor espesor de los materiales.
 - Blindaje neutrones: al carecer de carga eléctrica los neutrones resultan muy penetrantes en la materia, por lo que su interacción solo puede ser posible cuando los mismos se acercan a los núcleos a distancia del orden del radio nuclear (dispersión o captura). Además, en la radiación neutrónica con la materia siempre hay presente además radiación γ y o partículas, y antes de absorberlos se deberán frenar.
-

Cabe citar que se recurre a otras medidas de prevención de la irradiación centradas en la notificación de los riesgos a los empleados a través de indicaciones ópticas (señalización) y acústicas (alarmas conectadas a los equipos de detección).

TIPO DE ZONA	COLOR DEL TRÉBOL	OTRAS DISTINCIONES EN EL TRÉBOL
zona vigilada	gris magenta	<ul style="list-style-type: none"> • puntos radiales en los extremos: peligro de irradiación externa • campo puntado alrededor del trébol: peligro por contaminación • ambas señales: peligro por contaminación externa y radiación
zona controlada	verde	
zona permanencia limitada	amarillo	
zona prohibida	rojo	



Figura 3.17: Indicaciones ópticas de riesgo radiactivo.

3.6.1. Clasificación de trabajadores según posible exposición

Trabajadores profesionalmente expuestos (TPE)

Parte Afectada	Límite Anual de Dosis
Totalidad del Organismo	100mSv en 5 años (max. 50mSv en un año)
Cristalino	150 mSv/año oficial
Piel	500 mSv/año oficial
Mano, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv/año oficial

Límites especiales

Mujeres embarazadas	1 mSv/año oficial
Estudiantes mayores de 18 años	Igual a TPE
Estudiantes entre 16 y 18 años	6 mSv/año oficial
Estudiantes menores de 16 años	1 mSv/año oficial (Igual a miembros del público)

Miembros del Público

Parte Afectada	Límite Anual de Dosis
Totalidad del Organismo	1mSv/año oficial
Cristalino	15 mSv/año oficial
Piel	50 mSv/año oficial
Mano, antebrazos, pies y tobillos	50 mSv/año oficial

Figura 3.18: Tabla de distintos trabajadores en función de exposición radiactiva.

Resumen y conclusiones

El coque, también conocido como coque de petróleo o petcoke se obtiene a partir de un proceso de refinado del petróleo (llamado coquización) y contiene una elevada proporción de carbono. Durante esta coquización, es de vital importancia evitar que la espuma que se genera no salga por la parte superior de la cámara recirculándose hacia los conductos previos, ya que al enfriarse se solidificaría obstruyendo el paso de los gases generados durante el proceso. Por ello, controlar en todo momento el nivel de la carga de la cámara es de vital importancia.

El objetivo de este trabajo ha sido determinar el tipo de medidor de nivel que mejor reúna las condiciones necesarias para el seguimiento del proceso de coquización llevado a cabo en las cámaras de coque de la refinería de Repsol A Coruña.

A la hora de elegir entre los posibles medidores en el mercado, deberemos tener en cuenta las características de la cámara de coque:

- Altura: 20 metros
- Presión de trabajo: 1,96133 bares
- Temperatura: 400 °C
- Densidad de la carga: 1,05g/cc

Para ello se han tenido en cuenta los siguientes tipos de medidores de nivel:

- Ultrasónicos
- Capacitivos

- Hidrostáticos
- Radar
- Magnetostrictivos
- Radiactivos

Estos medidores reúnen las siguientes características:

	ultrasonicos	capacitivos	hidrostáticos	radar	magnetostrictivos	radiactivos
rango máximo (m)	10	2	∞	50	3	
funcionamiento en ambientes agresivos	bueno	normal	normal	muy bueno	muy bueno	excepcional
exactitud	± 0,08 in	± 1%	± 0,15%	± 0,12 in	± 0,05%	± 0,0015%
T mínima (°C)	-40	-40	0	-20	-20	-40
T máxima (°C)	80	270	200	250	200	80
Presión (bar)	10	40	40	64	30	—
Diferencia fases	no	no	no	no	no	sí
Mantenimiento	bajo	bajo	medio	nulo	mínimo	medio
Instalado internamente	si	si	si	si	si	no

Figura 4.1: Tabla comparativa de las propiedades de los diferentes medidores de nivel.

Tras el estudio de la tabla comparativa de prestaciones 4.1 y entendiendo la importancia de poder diferenciar entre niveles de carga, agua y espuma, nos damos cuenta de que el único tipo de medidor viable para esta operación es el radiactivo.

Además, una vez que la carga solidifica y pasa a considerarse coque se tritura con una broca instalada axialmente en la vasija, lo cual dificulta enormemente la instalación de un medidor de forma interna, por lo que los radiactivos se convierten en la mejor opción de manera evidente.

Más concretamente el uso de dos tecnologías (retrodispersión de neutrones y radiación gamma) en conjunto (denominado “Nivel híbrido de coque”) posibilita una visión superior de los cambios del proceso que en el caso de usar sendos métodos de forma separada.

El hecho de que los dispositivos que utilizan estas tecnologías se instalen en las paredes de la cámara nos permite ignorar las limitaciones de presión, temperatura etc.

El medidor de densidad / interfase Modelo KrilPro 7200A, basa su principio de operación en la retrodispersión de neutrones.

El principio de medida se basa en que los átomos de hidrógeno absorben energía de los neutrones rápidos en proporciones muy superiores a la absorción de energía que puede sufrir cualquier otro elemento.

Los neutrones rápidos atraviesan la pared de las cámaras y chocan con el producto a medir.

El número de neutrones lentos o térmicos producidos tras el choque con moléculas que contienen hidrógeno es directamente proporcional a la densidad del mismo presente en la muestra. Los neutrones lentos pueden detectarse con una cámara de ionización gaseosa.

Por otro lado, el modelo LevelPro para la medida en continuo del nivel en las cámaras está diseñado para proporcionar la medida de nivel.

El equipo consiste en un emisor que contiene la fuente con el radioisótopo y el detector/transmisor, que contiene el detector de centelleo y la electrónica.

El radioisótopo, Cs137, emite radiación gamma que atraviesa el material de proceso. La medida de la energía (radiación no absorbida por el material de proceso) se realiza en el detector de centelleo, y es proporcional al nivel de llenado en la cámara.

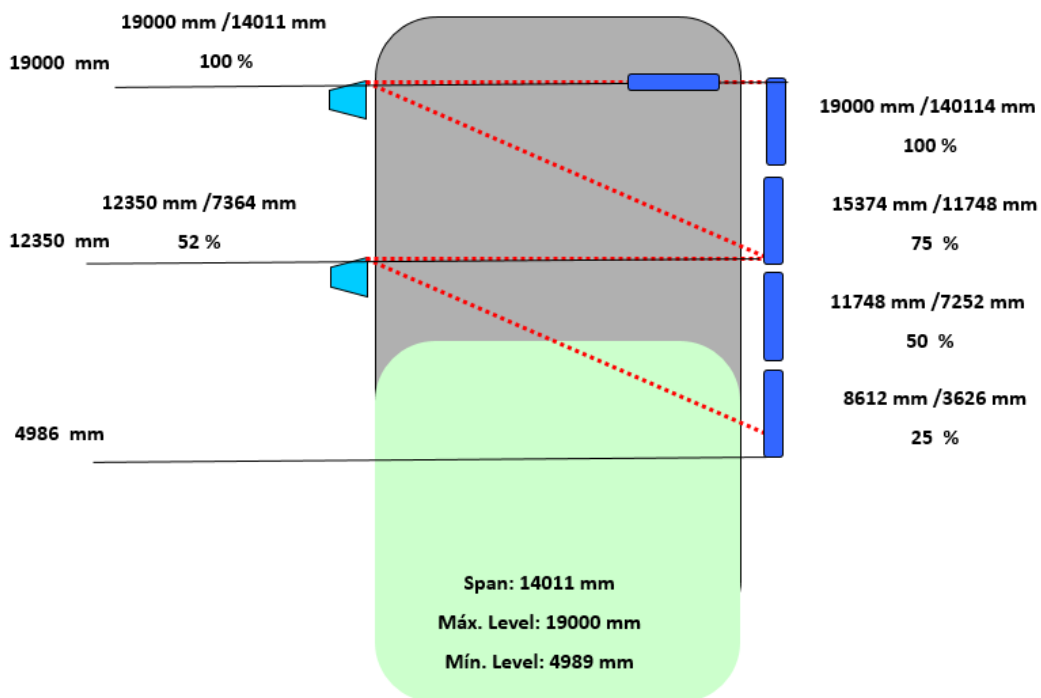


Figura 4.2: Disposición de sistema emisor/receptor de un medidor LevelPro.

Fuente y detectores se montan en caras opuestas de la cámara de coquización como se ve en 4.2

Dicha fuente puede tener diferentes actividades (medidas en mCi). Para saber la apropiada para este caso hemos buscado que el detector registre un dosado mínimo de $1,5 \mu\text{Sv/hr}$.

Ayudándonos del programa RadPro, de tablas de coeficientes de atenuación y de la fórmula

$$I = I_0 * e^{-(ux)}$$

y sabiendo además la densidad de la carga (que será para la que tengamos el menor dosado en el detector) así como el diámetro de la vasija conseguimos determinar que la fuente óptima para nuestro $1,5 \mu\text{Sv/hr}$ de seguridad es de 1000mCi (que nos proporciona un dosado de $2,04 \mu\text{Sv/hr}$)

Tras la comparativa y los cálculos llegamos a la conclusión de que a pesar de lo sencillo de la instalación y el manejo de otros dispositivos, la precisión que nos aportan los radiactivos a la hora de diferenciar entre fases y el hecho de poder instalarlos externamente justifican completamente la complejidad que puedan añadir a nivel de comprensión, utilización o potenciales riesgos radiológicos.

Bibliografía

- [1] “Medición de nivel,” accessed: 20/05/2016. [Online]. Available: <http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0303MedicionNivel1.pdf>
- [2] “Radiación electromagnética,” accessed: 08/06/2016. [Online]. Available: http://nuclear.fis.ucm.es/webgrupo/labo/Lab_Detector_Gamma.html
- [3] “EMERSON:process management,” accessed: 17/05/2016. [Online]. Available: <http://www2.emersonprocess.com/es-ES/Pages/Home.aspx>
- [4] J. Robert N. Cherry, *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO:Cap 48,RADIACIONES IONIZANTES*, 3rd ed.
- [5] R. J. K. Leo L. Meisberger and R. J. Shalek, “The effective attenuation in water of the gamma rays of gold 198, iridium 192, cesium 137, radium 226, and cobalt 60,” *RNSA Radiology*, vol. 90, p. 953, 1968.
- [6] “CESIUM-137 ,” accessed: 20/04/2016. [Online]. Available: <http://www.researchcompliance.uc.edu/Libraries/Isotopes/Cs-137.sflb.ashx>
- [7] “Shielding Layers Examples,” accessed: 17/06/2016. [Online]. Available: <https://www.osha.gov/SLTC/radiationionizing/introtoionizing/shieldinglayerexamples.html>
- [8] P. Daniel R. McAlister, *Gamma Ray Attenuation Properties of Common Shielding Materials*, 4th ed.
- [9] “Half-Value Layer,” accessed: 20/05/2016. [Online]. Available: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/Physics/HalfValueLayer.htm>

-
- [10] “Help for Rad Pro Calculator ,” accessed: 14/06/2016. [Online]. Available: <http://www.radprocalculator.com/Files/RadProCalculatorDesktopHelp.pdf>
- [11] J. Allison, “Gamma-radiation absorption coefficients of various materials allowing for bremsstrahlung and other secondary radiations,” *Austral. J. Phys*, vol. 14, pp. 443–461, 1961.
- [12] D. Creagh and J. Hubbell, “X-ray absorption (or attenuation) coefficients,” *International Tables for Crystallography*, vol. C, pp. 189–206, 1992.
- [13] Knoll, *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley and Sons, 1979.
- [14] “Pulse radar level gauge 26ghz radar water conservancy tank levelsensor,” accessed: 23/05/2016. [Online]. Available: http://www.sino-supplier.com/product/60278828684-0/pulse_radar_level_gauge_26ghz_radar_water_conservancy_tank_levelsensor.html
- [15] “Lana Sarrate:medición y control para la industria y el medio ambiente,” accessed: 14/06/2016. [Online]. Available: <http://www.lanasarrate.es/productos.aspx#>
- [16] “Medidor de nivel agua ZTD-G,” accessed: 16/06/2016. [Online]. Available: <http://spanish.alibaba.com/p-detail/ZTD-G-medidor-de-nivel-agua-300002280048.html>
- [17] “DDTOP GROUP CO:ltd,” accessed: 14/06/2016. [Online]. Available: <http://www.ddtop.com/>
- [18] “AECO sensors,” accessed: 03/04/2016. [Online]. Available: <http://www.aecosensors.com/index.cfm>
- [19] *TankRadar Pro*, 3rd ed., EMERSON:Process Management, Julio 2007.
- [20] “PEPPERL+FUCHS:sensores de nivel ultrasónicos,” accessed: 13/5/2016. [Online]. Available: http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/classid_492.htm
- [21] “Rosemount 2100 Series Vibrating Short Fork Technology ,” accessed: 23/04/2016. [Online]. Available: http://www2.emersonprocess.com/en-us/brands/rosemount/level/2100-series-level-switches/2130-level-switches/documents/vibrating_fork_technology.htm
-

-
- [22] “LEVEL MEASUREMENT:vibration and guided microwave,” accessed: 10/06/2016. [Online]. Available: http://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo/doct/tdoctb028_usa.pdf
- [23] “EMERSON:rosemount 2100 series,” accessed: 13/05/2016. [Online]. Available: <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/pm%20rosemount%20documents/00803-0100-6134.pdf>
- [24] “NIKRON automatización:medidores de nivel ultrasónico,” accessed: 18/06/2016. [Online]. Available: <http://www.nikron.com.ar/automacion/descripcion-producto/4/5/12/3/>
- [25] “Aguamarket:medidor de nivel ultrasonico modelo 8175,” accessed: 13/06/2016. [Online]. Available: <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=3917&nombreactivo=medidor+de+nivel+ultrasonico++modelo+8175>
- [26] “Deltapilot M FMB50, FMB51, FMB52, FMB53:hydrostatic level measurement,” accessed: 13/06/2016. [Online]. Available: https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/8071/000/08/TI00437PEN_1914.pdf
- [27] N. Moreno., “Cenizas volátiles de la combustión del carbón y el coque de petróleo: posibles aplicaciones innovadoras y aplicaciones actuales.” *ASTE MANAGEMENT and RESEARCH*, vol. 10, pp. 976–987, 2010.
- [28] “Aplicaciones del Carbón de Coque.” accessed: 15/06/2016. [Online]. Available: <http://www.sidymetal.com.ar/aplicaciones.html>
- [29] “Presión hidrostática,” accessed: 19/06/2016. [Online]. Available: <http://definicion.de/presion-hidrostatica/>
- [30] “Antiespumante,” accessed: 15/06/2016. [Online]. Available: <http://www.quiminet.com/articulos/los-antiespumantes-agentes-tensoactivos-desestabilizadores-de-espuma-63146.htm>
- [31] “Rotámetro,” accessed: 10/06/2016. [Online]. Available: <http://www.iqb.es/diccio/r/ro.htm>
- [32] “Detector gaseoso,” accessed: 5/06/2016. [Online]. Available: http://nuclear.fis.ucm.es/webgrupo/labo/Lab_Detector_Gaseoso.html
-

- [33] “Detector de centelleo,” accessed: 5/06/2016. [Online]. Available: <http://rabfis15.uco.es/ermuna.net/tutorial/detectores/centelleo.htm>
-