

Lección 7

Monitorización de tritio y ^{14}C en el lugar de trabajo



Monitorización de tritio

Contenido – ^3H

- Información general y relevancia
- Técnicas de medición
- Mediciones en tiempo real
- Estimación de la actividad beta de baja energía

Información general y relevancia

- Tritio (H_3) es un emisor beta de baja energía con E_{\max} de 18 keV y necesita técnicas de medición especiales.
- Actividades altas de tritio son producidas en reactores de agua pesada. En estos reactores, casi 2/3 de la dosis interna se debe a incorporaciones del tritio.
- Los reactores de fusión utilizan tritio como combustible.

Información general y relevancia

- Tritio también se produce en reactores de agua ligera, pero en una cantidad mucho menor.
- Tritio puede ser encontrado como agua tritiada (HTO), tritio gaseoso (HT) y tritio ligado orgánicamente (TLO).

Dosimetría y radiotoxicidad de tritio

- La exposición más importante al tritio es por el óxido de tritio (HTO). HTO puede entrar en el organismo por inhalación o absorción por la piel.
- La dosis efectiva total de la exposición a HTO en el aire es aproximadamente 10.000 veces más grande que la dosis efectiva total de una equivalente exposición* a gas HT.

Dosimetría y radiotoxicidad de tritio

- El tritio se clasifica como de baja toxicidad según el esquema de clasificación del OIEA (baja Sv/Bq).
- Por lo tanto, la actividad volumétrica (Bq/m^3) del tritio tiene que ser muy alta para poner en peligro los trabajadores.
- Aún así, se hace necesaria la manipulación segura.

Contaminación por tritio

- El HT y el HTO son fácilmente absorbidos por las superficies de la mayoría de los metales (como el acero inoxidable, el cobre o el aluminio), de los plásticos y de los cauchos.
- El HT y el HTO absorbidos también son fácilmente liberados. Un proceso al cual se denomina desgasificación (emisión de gases) y que puede dar lugar a significativas concentraciones de tritio por metro cúbico de aire.

Contaminación por tritio

- El tritio absorbido permanecerá cerca de la superficie a no ser que el metal sea calentado a altas temperaturas.
- HTO puede difundirse a través de revestimientos metálicos, resultando en contaminación en lugares inesperados.

Técnicas de monitorización

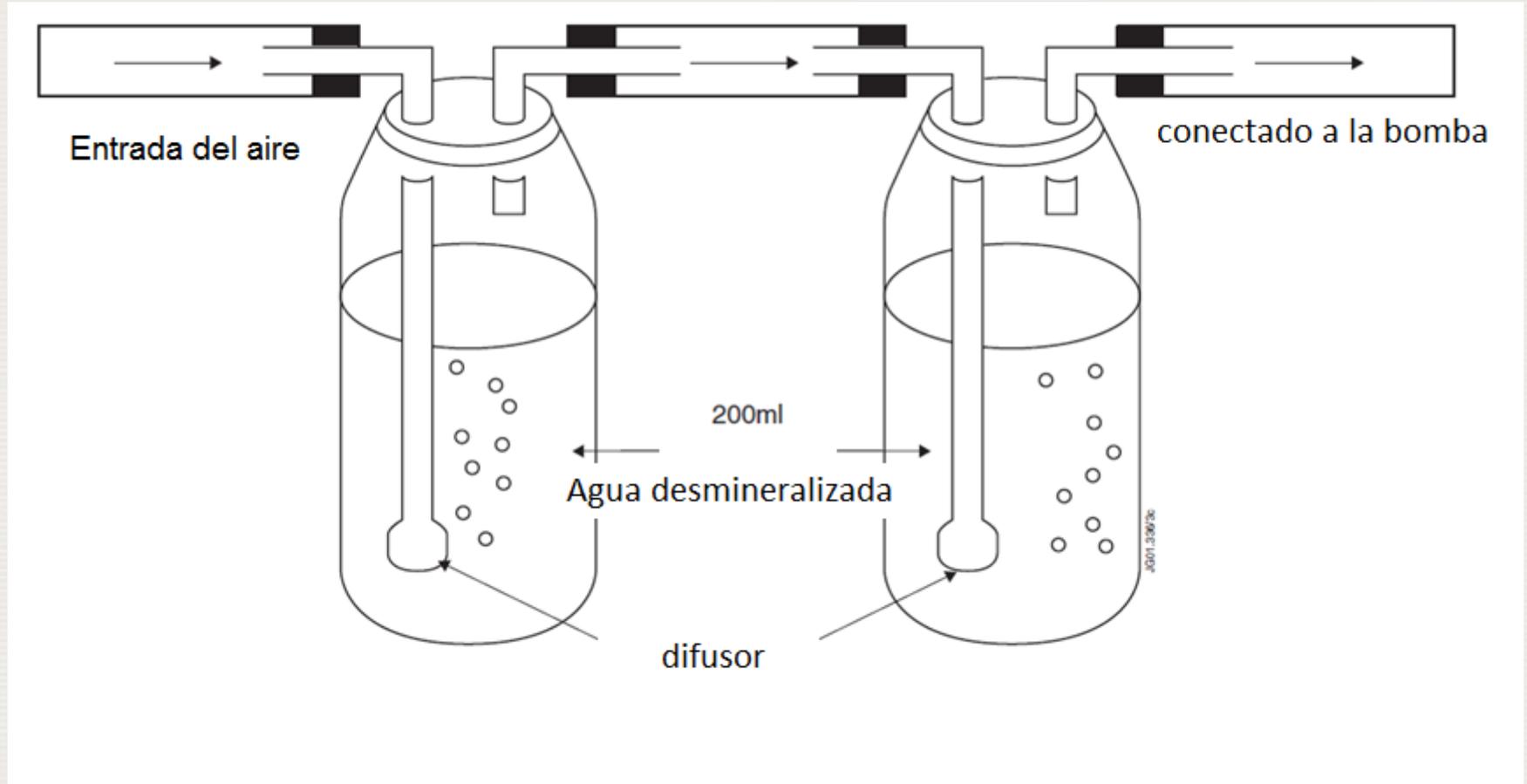
Monitorización del tritio

- En el lugar de trabajo, el tritio puede existir como HT o como vapor de HTO. La técnica de muestreo y medición depende de la forma química del tritio.
- Debido a su beta de baja energía, la monitorización directa del tritio en el aire no es posible, a menos que el aire con tritio esté dentro del detector.
- El monitoreo puede ser en tiempo real o por muestreo del aire y medición “a posteriori” de la muestra en el laboratorio.

Muestreo del aire - tritio

- El muestreo de vapor de HTO se puede hacer por técnicas dinámicas (borboteador) o estáticas (por medio de la condensación criogénica o absorción en un adsorbente sólido tal como gel de sílice, zeolita etc.)
- La actividad del HTO retenido en los borbotadores o adsorbentes sólidos se mide por la técnica de recuento de centelleo líquido.

Muestreo de HTO y HT



Borboteador para muestreo de HTO y HT

- El aire pasa a través de dos conjuntos de borboteadores en serie llenos de agua desmineralizada y separados por un horno.
- El primer borboteador retiene el vapor tritiado HTO.
- El HT se oxida en el horno al utilizarse un catalizador adecuado para convertirlo en HTO.

Borboteador para muestreo de HTO y HT

- Al muestrear el aire durante mucho tiempo, como, por ejemplo, durante una semana, se recomienda utilizar un borboteador equipado con un dispositivo de enfriamiento para evitar la evaporación del agua.
- Debe evitar el uso de teflón para las tuberías de muestreo.

Muestreo de HTO y HT



Cortesía: Southern Scientific

Muestreo de HTO y HT

- 99% de retención.
- Reducción de la evaporación debida al sistema refrigerado, permitiendo la recolección semanal.
- Fácil de utilizar, con simple retirada de la muestra.
- Medidor de flujo de aire electrónico calibrado.

Muestreadores activos - ventajas

- Bajo límite de detección inferior.
- Velocidad de muestreo ajustable de 10 a 60 l/h.
- Alta eficiencia de recolección (>95%).
- El volumen muestreado se conoce con exactitud.
- Posibilidad de largos tiempos de muestreo.

Muestreadores activos - limitaciones

- Requieren alimentación externa.
- El HTO es diluido.
- Es necesario controlar la temperatura del horno y cambiar el catalizador como requerido por el fabricante (generalmente una vez al año).

Muestreadores pasivos

- Un vial se coloca en el lugar de trabajo. El vial de 20 ml contiene agua sin tritio o absorbente de agua como medio de retención de HTO.
- En algunos casos, los absorbentes sólidos como la zeolita o gel de sílice se utilizan como medios de retención de HTO.
- La parte superior del vial está equipada con un orificio de difusión que permite la entrada del HTO.

Muestreadores pasivos

- El flujo constante en el vial se mantiene por el gradiente de concentración producido por el nivel reducido del vial cerrado en comparación al aire ambiente.
- Un desorbedor es necesario para extraer el agua del adsorbente sólido.
- El agua se recoge en un dispositivo a baja temperatura.

Muestreadores pasivos - ventajas

- Los muestreadores son pequeños.
- No requieren alimentación externa.
- No son caros para comprar y mantener.
- Fáciles de utilizar.
- No diluyen el HTO.

Muestreadores pasivos - limitaciones

- Dos muestreadores diferentes son necesarios para medir las concentraciones de HT y HTO (uno con un catalizador).
- Sólo son posibles tiempos cortos de muestreo (entre 15 y 30 minutos).
- Baja tasa de muestreo.
- Es necesario verificar la evaporación del líquido y cambiar el catalizador después de cada muestreo.

Medición en tiempo real

Medición en tiempo real

- Para la medición en tiempo real, el aire muestreado pasa a través de un detector. El detector debe ubicarse en un área con baja radiación de fondo.
- Debido a la beta de baja energía, la celda (célula) de medición es el propio detector, por ejemplo: una cámara de ionización, un contador proporcional o un centelleador plástico.

Medición en tiempo real

- Se coloca un pre-filtro por encima de la celda de medición para retener las partículas en el aire muestreado.
- El pre-filtro debe incluir un filtro de yodo, si necesario.
- El pre-filtro no debe atrapar ni retener el tritio, tampoco disminuir el flujo o la presión dentro de la celda de medición, respetando los límites especificados por el fabricante.

Medición en tiempo real

- Se debe minimizar la interferencia de los gases nobles durante la medición de tritio.
- La compensación por la contribución de gases nobles es difícil de lograr en instrumentos basados en cámaras de ionización.
- En el caso de contadores proporcionales o centelleadores de plástico, se puede reducir la contribución de gas noble aprovechando la diferencia en la altura del pulso producida por las partículas beta de gas noble y tritio.

Ejemplos de monitores en tiempo real

Monitorización con cámaras de ionización

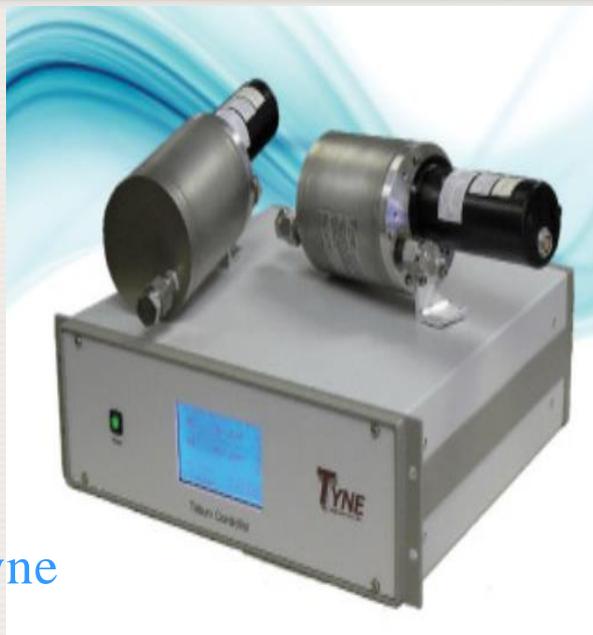
- Los instrumentos de cámara de ionización fija son más adecuados para HT.
- La partícula beta del tritio ioniza el gas de la cámara.
- Equipo portable puede complementar los instrumentos fijos.
- Los volúmenes de la cámara varían de 0,1 L a pocas decenas de litros dependiendo de la sensibilidad requerida. Los flujos son de pocos litros por minuto.
- La compensación por radiación gamma y radón es crucial.

Monitores de aire tritio portátiles y fijos



Monitor portátil de tritio
con 4 cámaras de
ionización

Cortesía Tyne



Monitor fijo de tritio con 2
cámaras de ionización

Cámaras de ionización - ventajas

- Detector pequeño debido a la distancia recorrida por la partícula beta de tritio en el aire.
- Buena sensibilidad para el tritio.
- Bajo costo de mantenimiento.

Cámaras de ionización - limitaciones

- Generalmente no específicas para la medición de tritio.
- La medición varía con los cambios de temperatura.
- La medición varía con los cambios de presión (respuesta directamente proporcional).

Monitoreo de ^{14}C

^{14}C en centrales nucleares

- El ^{14}C y tritio son emisores beta de baja energía y no presentan un peligro de radiación externa.
- Las principales reacciones de activación de neutrones que producen ^{14}C en reactores de energía nuclear son:
 - (a) $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$
 - (b) $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$
 - (c) $^{13}\text{C}(n,\gamma)^{14}\text{C}$
 - (d) $^{15}\text{N}(n,d)^{14}\text{C}$
 - (e) $^{16}\text{O}(n,^3\text{He})^{14}\text{C}$

Formas químicas del ^{14}C

- ^{14}C se puede encontrar como CO_2 , CO o hidrocarburos.
- El CO y los hidrocarburos se pueden convertir a CO_2 , por un catalizador a alta temperatura.
- La conversión es necesaria porque, en la forma de CO_2 , es fácil medir la actividad del ^{14}C .

Técnicas de monitorización

- Las técnicas de muestreo de $^{14}\text{CO}_2$ en el aire pueden ser activas o pasivas.
- Los monitores en tiempo real utilizados para el muestreo de tritio también pueden ser adecuados para el ^{14}C .

Muestreo del aire para ^{14}C

- $^{14}\text{CO}_2$ se puede retener burbujeando el aire a través de una solución de hidróxido de sodio o en un adsorbente sólido como la zeolita.
- El aire pasa a través de un conjunto de borbotadores con solución de hidróxido sódico en el rango de 0,8 - 4,0 M (o tubos llenos de adsorbente sólido), un horno y un segundo conjunto de borbotadores (o tubos llenos de adsorbente sólido).
- El primer conjunto de borbotadores (o tubos con adsorbente) retiene el $^{14}\text{CO}_2$.

Muestreo del aire para ^{14}C

- Las moléculas orgánicas se descomponen y el ^{14}CO se oxida a $^{14}\text{CO}_2$ en el horno, mediante un catalizador hecho de pellets de platino/alúmina.
- El $^{14}\text{CO}_2$ se retiene en el segundo conjunto de borboteadores o adsorbentes sólidos conectado a la salida del horno.

Liberación de ^{14}C para medición

- Cuando el $^{14}\text{CO}_2$ se retiene en un adsorbente sólido, el CO_2 debe ser desorbido por calentamiento.
- Se requiere una temperatura de $400\text{ }^\circ\text{C}$ para la zeolita.
- El CO_2 desorbido se retiene burbujeando a través de una solución de hidróxido de sodio.
- La actividad de ^{14}C se cuenta en un CCL utilizando el centelleador de tolueno.

Calibración

- El medidor de flujo asociado con el conjunto de muestreo se debe calibrar según un estándar nacional.
- La eficiencia de oxidación debe ser determinada mediante el muestreo de un estándar de calibración del HT o carbono orgánico.



Calibración y verificación

- Se debe calibrar el conjunto de medición con una fuente estándar de HTO, ^{14}C o, para monitores, con una fuente radioactiva.
- La verificación de funcionamiento debe incluir la eficiencia de detección del sistema de medición y el flujo de muestreo.



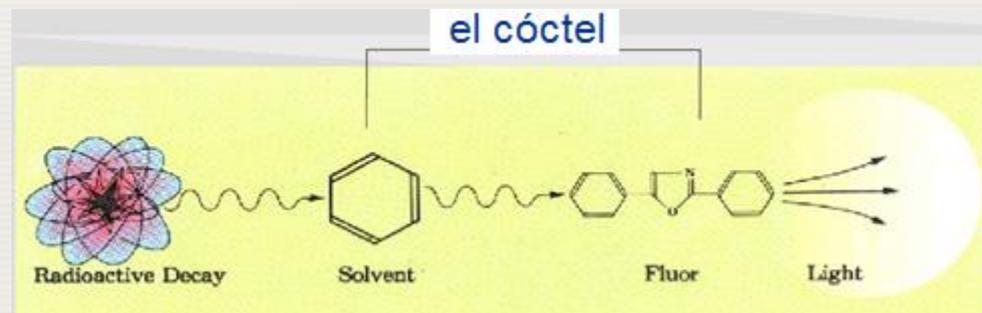
Métodos de análisis

El contador de centelleo líquido

- Para el recuento de centelleo líquido, se añade a la muestra una mezcla de productos químicos orgánicos - en una determinada proporción - denominada cóctel.
- Generalmente el cóctel consiste en un solvente primario (dioxano para las muestras acuosas y tolueno para las muestras orgánicas), un solvente secundario (naftaleno sólo para las muestras acuosas), un soluto primario (PPO) y un soluto secundario (POPOP).
- El vial que contiene la muestra y el cóctel se coloca en la celda de medición del equipo.

El contador de centelleo líquido

- Los centelleos producidos en el cóctel por partículas beta del tritio son detectados por tubos fotomultiplicadores.
- La salida de luz que resulta de los centelleos puede reducirse en el cóctel debido a varios mecanismos, comúnmente conocidos como “quenching”. El interferente (quench) es un factor que reduce la eficiencia de la transferencia de energía a los fototubos o causa la absorción de los fotones en la muestra, reduciendo la eficiencia del detector y afectando los resultados de conteo de radiación.



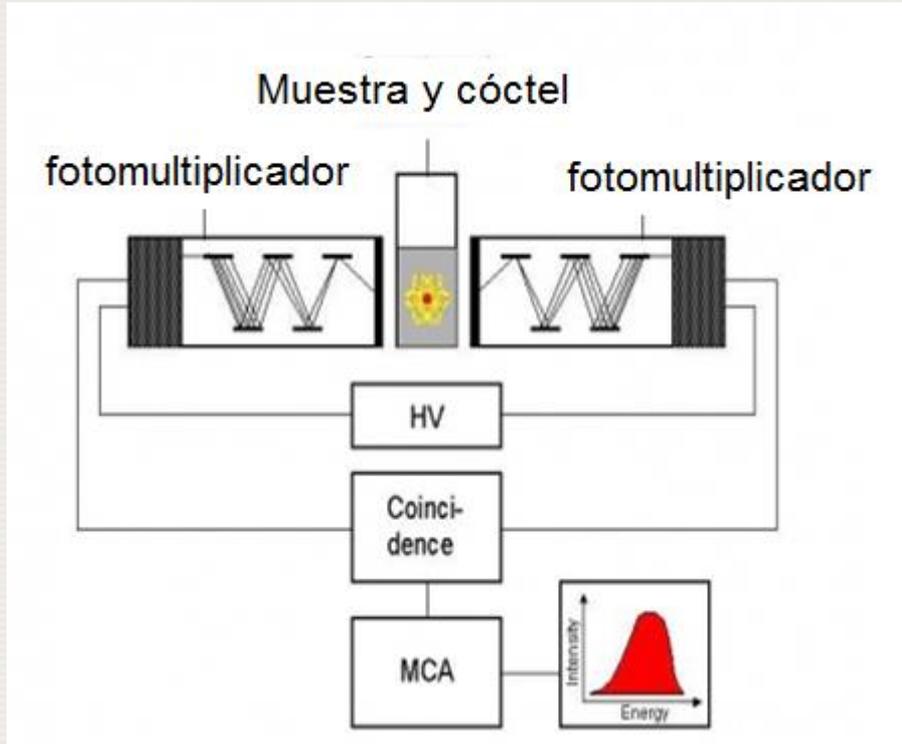
El contador de centelleo líquido



Cortesía
Perkin-Elmer



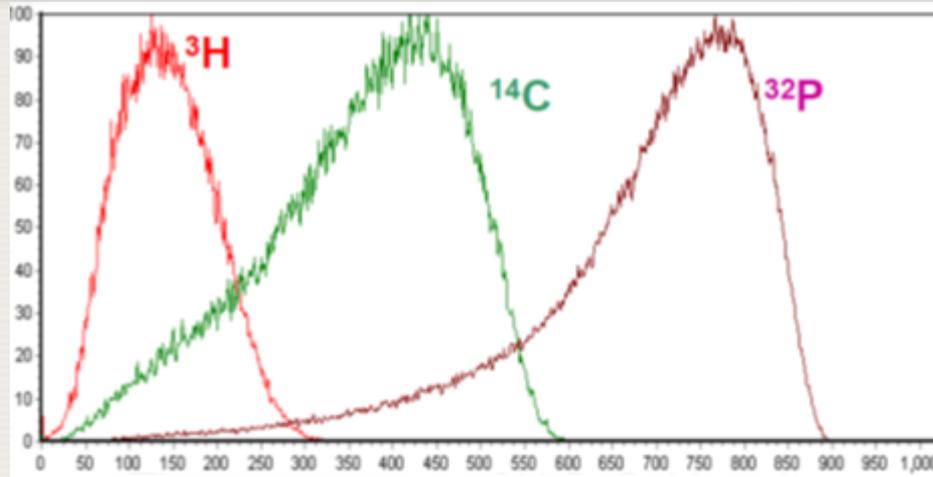
El contador de centelleo líquido



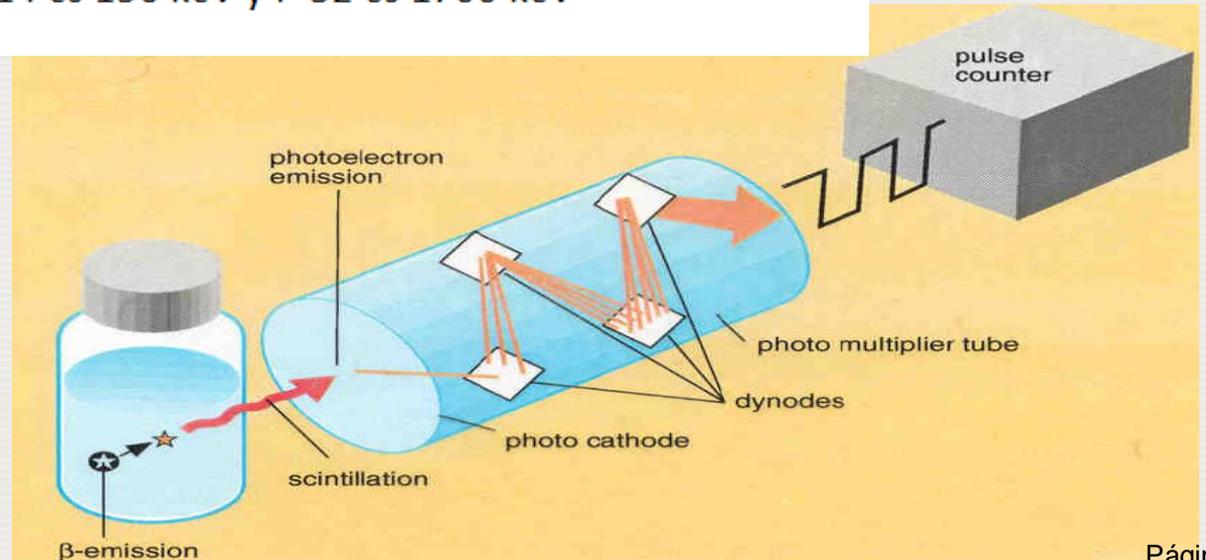
- Detecta el número de fotones por segundo.
- La conversión a tasa de desintegración se realiza a través de factores de calibración.

Espectrometría beta

Fracción de la
emisión total



energía máxima de H-3 es 18 keV, de
C-14 es 156 keV y P-32 es 1700 keV



Contador de centelleo líquido - interferencia

La interferencia (quench) puede ser causada por:

- ruido electrónico de fondo;
- electricidad estática;
- solvente orgánico que penetra la pared del vial;
- la presencia de dos o más radionuclídeos (superposición de espectros), y
- luminiscencia adicional: quimioluminiscencia, bioluminiscencia o fotoluminiscencia.

Aspectos prácticos

- El solvente debe ser compatible con el cóctel de centelleo líquido.
- Se deben evitar los derrames de cóctel en el exterior del vial para evitar “quenching”.
- Hay que asegurarse de que el rango de energía sea correcto para los radionuclídeos de interés.

Muchas gracias por
vuestra atención y...

SE ABRE EL DEBATE