IX Congreso Argentino de
Protección Radiológica - SAR

RADIOPROTECCIÓN EN INSTALACIONES CICLOTRÓN-RADIOFARMACIA PET

Características de Radioprotección en Instalaciones Modernas y Perspectivas Futuras

FUESMEN

FUNDACION ESCUELA
MEDICINA NUCLEAR

Panorama actual de instalaciones Ciclotrón-Radiofarmacia

Proliferación de la técnica PET y ***diversificación*** de radiofármacos, más allá de 18F-FDG

Madurez de ***soluciones comerciales*** de sistemas de radioprotección específicas para ciclotrón-radiofarmacia.

Los órganos reguladores alientan, cuando es posible, la implementación de ***sistemas de radioprotección automáticos*** por sobre los basados en procedimientos.

Paradigma actual en la producción de radiofármacos PET

De forma complementaria y sinérgica a ***aspectos radioprotectivos*** los procedimientos actuales de producción de radiofármacos para PET se basan en:

- Guías de ***Buenas Prácticas de Manufactura*** (GMP)
- ***Aseguramiento de la Calidad*** (QA)

El producto debe cumplir con las especificaciones de calidad requeridas y además debe ser seguro para su uso en seres humanos

Staff y sus funciones

- Oficial de radioprotección (plan de monitoraje: rad. Ambiental, contaminacion superf., inspección previa a irradiación: personas, sistemas,enclavamientos. Monitoraje operaciones **no** rutinarias. Monitoraje rad. externa)
- Operadores (ciclotrón, celda)
- Responsable de mantenimiento (ciclotrón, módulo)
- Jefe de ciclotrón, jefe de radiofarmacia
- Responsable primario (jefe de la instalación)
- Responsable legal

- REENTRENAMIENTO

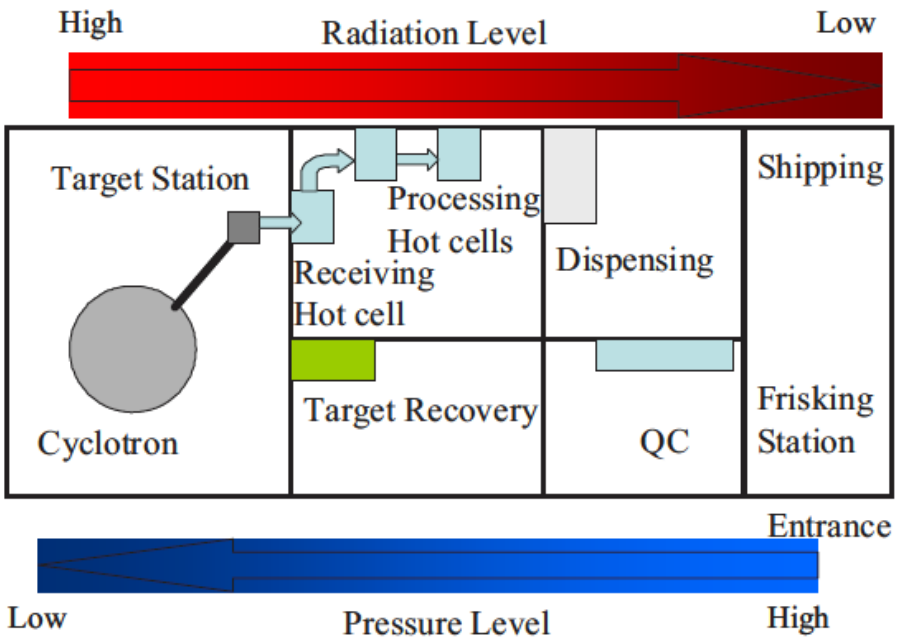
Fuentes de radiación

- Durante irradiación:
  - Se aceleran p´s, se liberan n´s o α´s, se producen emisores de positrones y γ´s de aniquilación
  - Protones que escapan del haz primario => Activación de paredes metálicas del ciclotrón => Neutrones secundarios. **<u>Importante:</u>**
    - rol sistema de extracción del haz hacia los blancos,
    - selección de materiales de construcción
  - Activación directa del aire de la sala (posibles isótopos: N^{13}(T=10min), O^{15}(T=2min) y N^{16}(T=7seg); despreciables para RDS 112)
  - Pérdida de estanqueidad de los portablancos: C^{11}, N^{13}, O^{15} y F^{18}

Fuentes de radiación

- Durante mantenimiento (cambio de ventanas, catodos, etc) debido a inhalación de partículas desprendidas de las piezas:
  - Alta probabilidad de incorporación: Tc^{97}, Co^{56}, Co^{57}, Co^{58}, Co^{60}, V^{49}, V^{48}, Mn^{52} y Fe^{55}
  - Baja y media probabilidad de incorporación: Cd^{109}, Zn^{65} y Na^{22}.
  - Bajo condiciones controlada las dosis totales por incorporación son ínfimas

Distribución de la instalación Ciclotrón-Radiofarmacia



Minimización de probabilidad de incorporación por inhalación: Modelo ideal de gradientes de tasa de radiación y presión de aire de los locales

ÁREAS

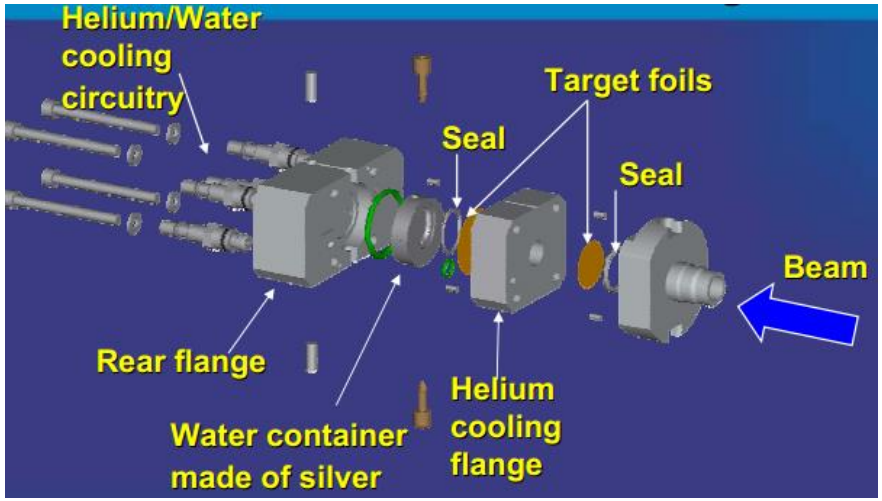
- PROHIBIDAS
- SUPERVISADAS
- CONTROLADAS
- LIBRES

Estructura de un Target Líquido/Gaseoso

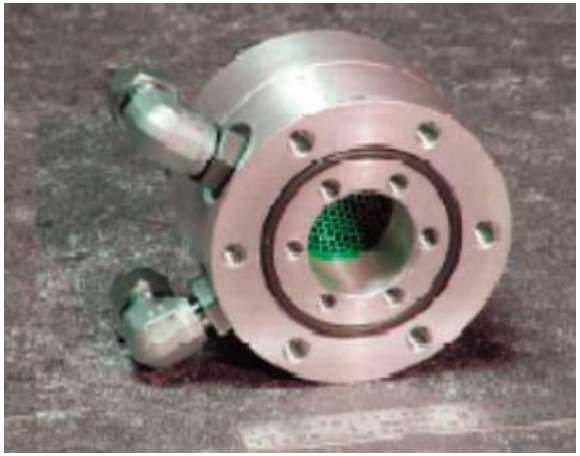
- ***Cuerpo metálico***: contiene al fluido a irradiar. *Refrigeración con Agua*

- ***Window Foil***: cierra el recinto y permite el pasaje del haz. A veces 2 foils: "antecámara" para *refrigerar con gas*

- ***Grilla***: incrementa la presión que el foil puede soportar



Grilla (en color verde)



Portablanco

- Dispositivo capaz de contener material blanco durante bombardeo. El blanco puede ser gaseoso, líquido o sólido.
- Debe permitir el pasaje de los iones acelerados hacia el blanco y aislar a este último del alto vacío: ventanas de aluminio y de havar.
- Debe poder presurizar los blancos gaseosos y líquidos para garantizar las estanqueidad durante el bombardeo.
- Debe permitir la extracción efectiva, rápida y segura del material blanco irradiado una vez finalizado el bombadeo hacia el área de radiofarmacia.

…Portablanco

- Debe disponer de sistema de **refrigeración** para sí y para el blanco, con el fin de disipar la gran cantidad de enegía térmica producida por la interacción del haz. Manteniendo la integridad del portablancos mismo y las condiciones químicas del blanco (refrigeración líquida con **agua** y gaseosa con **He**)

- Debe estar construído de **materiales mecánica y químicamente estables** (Aluminio, plata, niobidio, etc), para asegurar una estabilidad física duradera y para minimizar la contaminación del blanco con residuos no deseados

- Debe minimizarse la presencia de especies isotópicas que puedan resultar activadas por el haz, sobre todo las de T prolongados. Por cuestiones radioprotectivas del staff de mantenimiento

Selección del material del portablanco (2)

Propiedades físico químicas de los materiales más usados en la construcción de targets líquidos y gaseosos

TARGET BODY PROPERTIES

Property	Aluminium	Titanium	Nickel	Niobium	Tantalum	Silver
Thermal conductivity ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	167	21.9	90.9	53.7	57	429
Melting point (°C)	582	1725	1453	2410	3290	961
Chemical inertness	Fair	Good	Fair	Excellent	Excellent	Good
Heat capacity ($J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)	24.2	24.9	26.1	24.6	25.3	25.4

Mantenimiento y limpieza del portablanco (1)

Target posee ***la mayor activación*** en un ciclotrón, fundamentalmente en los window foils. La ***vida útil*** de foils dependerá de:

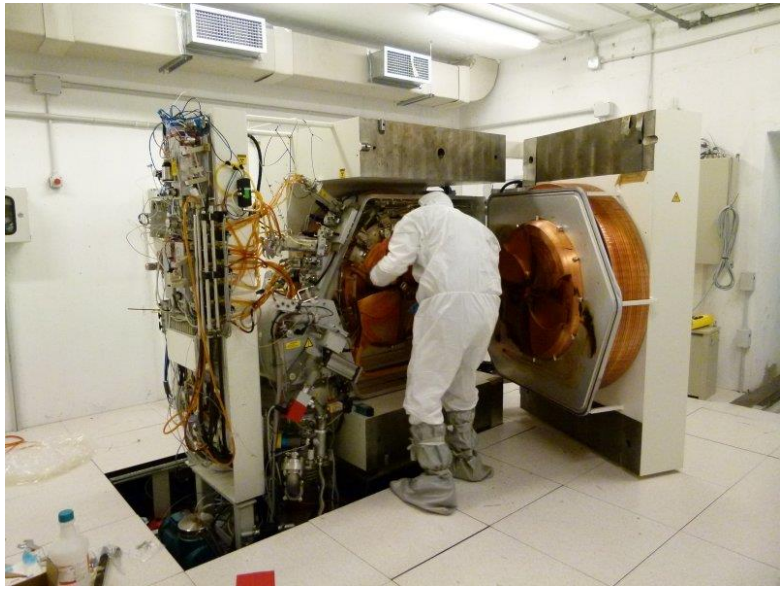
- Carga de Trabajo (μA * hr)
- Material de construcción
- Grosor
- Presión a la que se somete

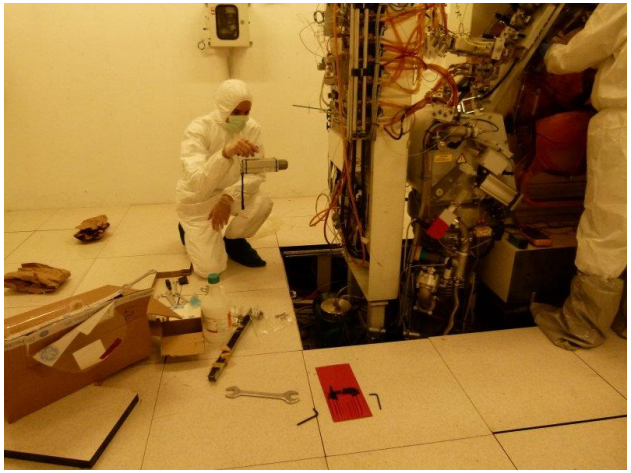
Reemplazo de forma preventiva para minimizar probabilidad de incidentes con dispersión por rotura del foil y paradas de mantenimiento no programadas.

Mantenimiento y limpieza del portablanco (2)

Apertura de la cámara de Alto vacío: ***Vestimenta*** para prevenir:

- ***contaminación*** superficial
- ***incorporación*** por inhalación

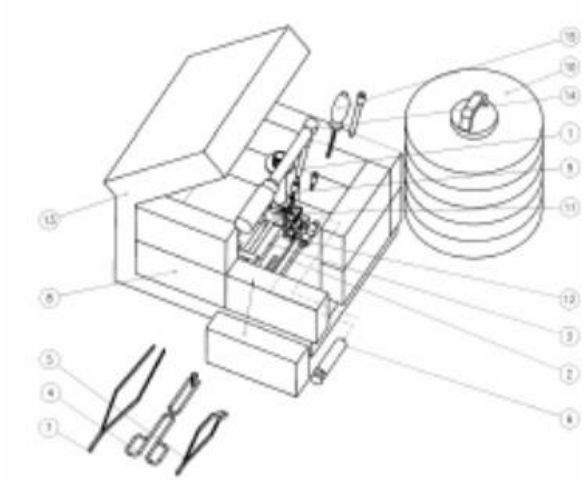




Mantenimiento y limpieza del portablanco (3)

Banco de trabajo:

- fácilmente ***descontaminable***
- ***pantalla blindante*** para manipulación de targets



Mantenimiento y limpieza del portablanco (4)

Limpieza rutinaria de target es necesaria para ciertos materiales, para preservar las características de ***pureza del producto***.

Debe verificarse el nivel de contaminación de los desechos líquidos y sólidos generados y gestionarlos según corresponda.

Mantenimiento y limpieza de portablanco (5)

Recinto debidamente blindado para ***guarda*** de:

- ***residuos radiactivos***
- ***partes activadas*** reutilizables (Faraday cups, targets de backup)

Sistemas de radioprotección en el movimiento de material radiactivo(1)

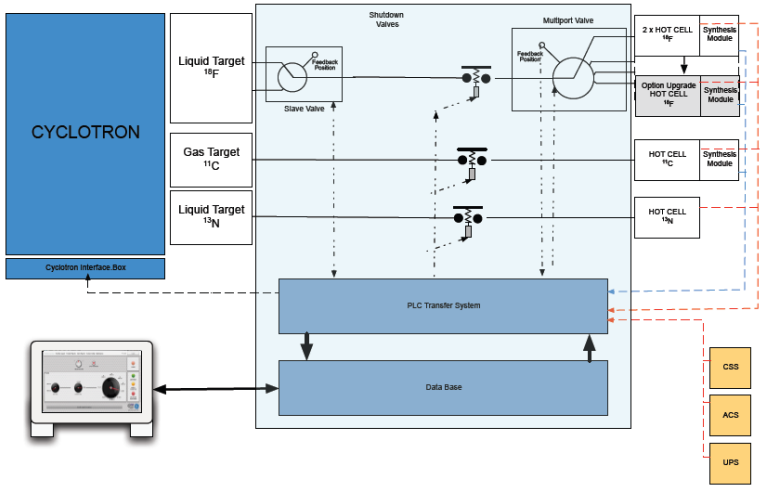
Para una transferencia segura de material irradiado de ciclotrón a celdas sistemas automáticos verifican la condición de:

- ***Puerta cerrada*** en celda de destino cerrada y nivel de ***depresión*** adecuada para poder habilitar la transferencia

Luego de la transferencia se activará un ***enclavamiento de puerta*** de celda al superarse un umbral de tasa de dosis en su interior

Sistemas de radioprotección en el movimiento de material radiactivo(2)

Sistemas de transferencia hacia celdas de gases y líquidos

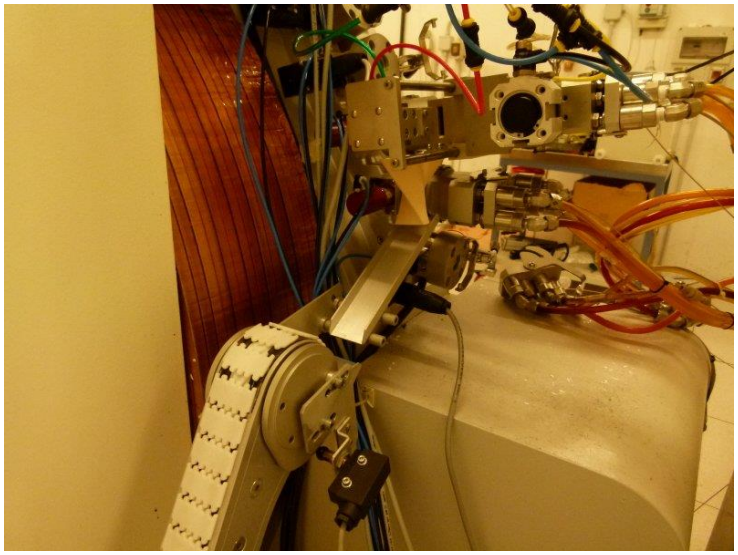


Sistemas de radioprotección en el movimiento de material radiactivo(3)

Ejemplo de target sólido: 124-Te para producción de 124-I. Soporte: 'moneda' de oro

Algunos sistemas de transferencia de targets sólidos:

Cinta de transporte



Sistemas de propulsión neumática

BLINDAJE DEL CICLOTRÓN(1)

Blindaje para ***Neutrones*** y ***Radiación Gamma***. Dos estrategias:

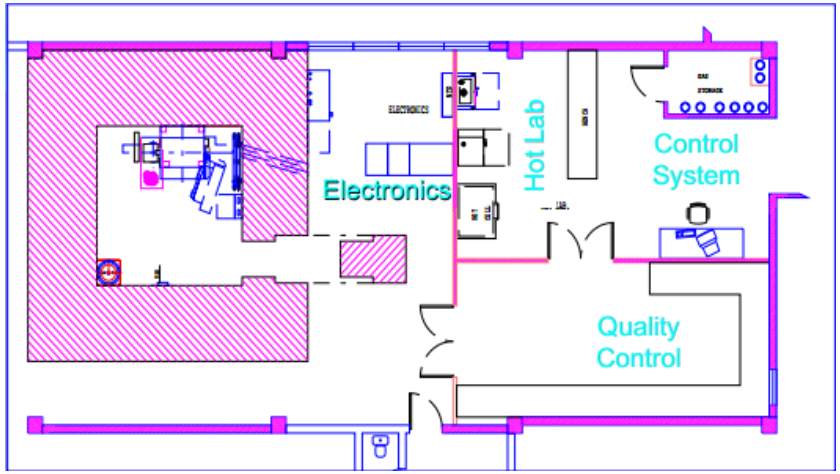
- Ciclotrones ***autoblindados***
- Ciclotrones sin autoblindaje: ***bunker*** de concreto

BLINDAJE DEL CICLOTRÓN (2)

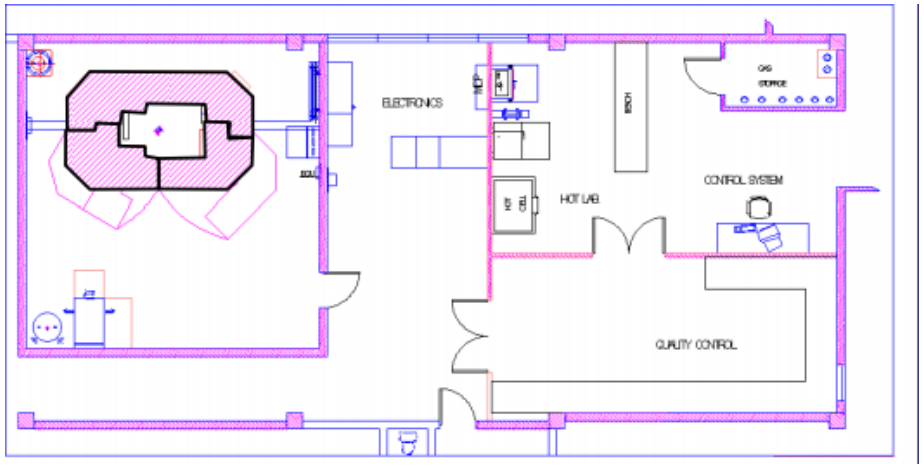
Bunker	Autoblindaje
Crecimiento futuro	Targets adicionales limitados
Fácil acceso para mantenimiento	Limitado acceso para mantenimiento
Costo potencialmente menor	Requiere menor espesor de loza (menor altura)
Cálculo de blindaje específico para el sitio	

BLINDAJE DEL CICLOTRÓN (3)

Solo Bunker



Con Autoblindaje



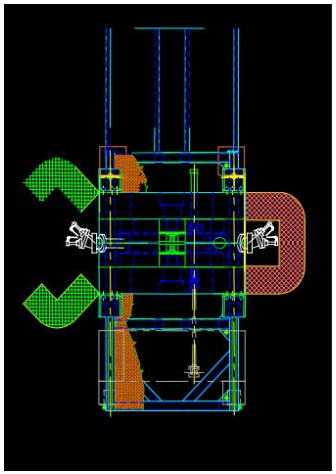
BLINDAJE DEL CICLOTRÓN (4)

Bunker

- Usa '***blindaje local***' entorno a los targets para absorber los neutrones antes de llegar a los muros del bunker

- Sobre muros utilizar capa de '***material de sacrificio***' que sea fácilmente descartable

Blindaje Local



BLINDAJE DEL CICLOTRÓN (5)

Ejemplo de un ciclotrón con autoblindaje

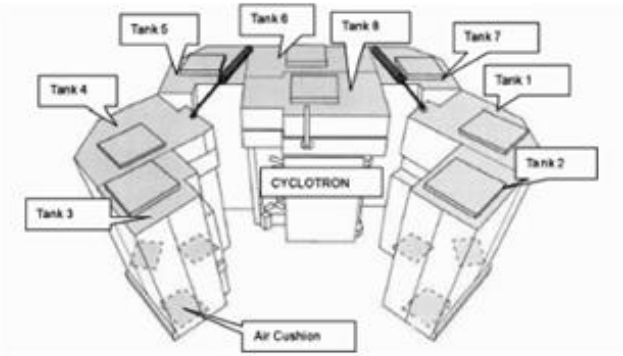
- Blindaje interno: núcleo de alta densidad, de 30 cm de espesor, de fundición de mezcla de plomo, epoxi y carburo de boro
- Blindaje externo: 70 cm de espesor de polietileno y hormigón con carburo de boro

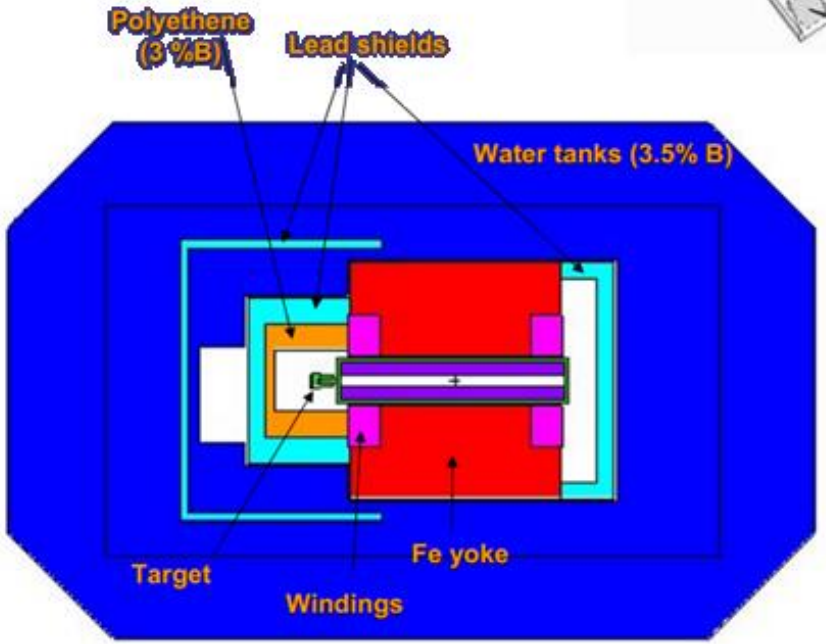
Se debe chequear el autoblindaje para descartar fugas de neutrones

Apertura de autoblindaje para mantenimiento

BLINDAJE DEL CICLOTRÓN (6)

Otro ejemplo: el autoblindaje se logra parcialmente con tanques de Agua (GE PETtrace)





INGRESO AL BUNKER DE CICLOTRÓN (1)

- Al igual que el resto del bunker el nivel del blindaje dependerá de si el ciclotrón es o no autoblindado

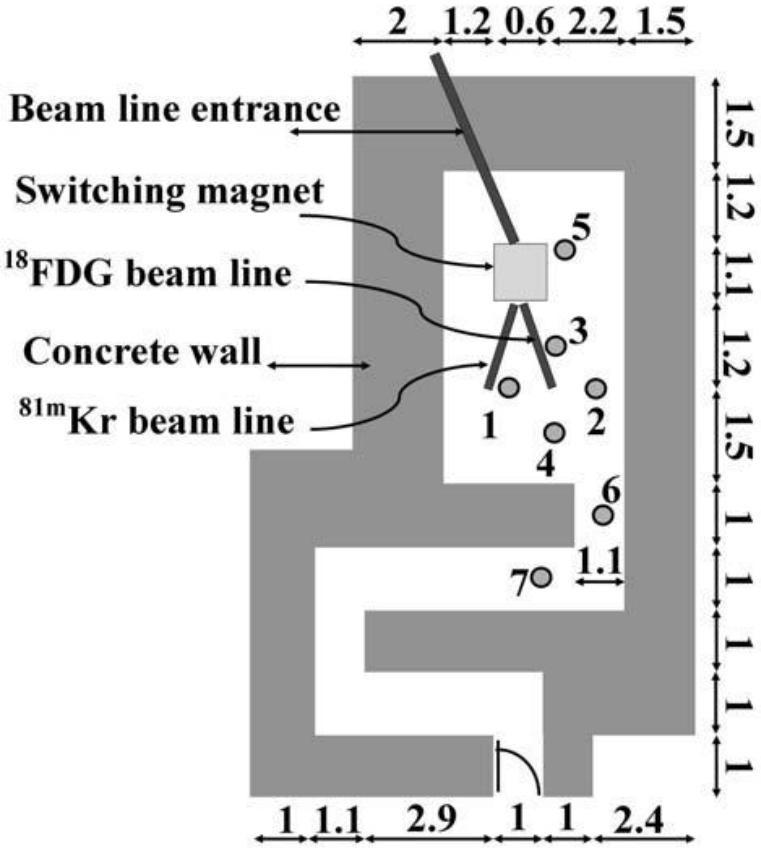
- Puerta corrediza: soluciones modernas poseen empaquetaduras inflables para lograr un alto nivel de estanqueidad dentro del bunker

- Puerta giratoria

INGRESO AL BUNKER DE CICLOTRÓN (2)

- ***Acceso Laberíntico***: simplifica el acceso, pero debe ser largo y con múltiples giros calculados cuidadosamente para minimizar el efectivamente el flujo de neutrones en el punto de ingreso

Esquema de una instalación con acceso tipo laberinto



INGRESO AL BUNKER DE CICLOTRÓN (3)

Cierre de puerta: Sistema de Último Hombre

- Pulsadores estratégicamente ubicados dentro del bunker, sin puntos ciegos
- Secuencia de pulsación predefinida dentro de una ventana de tiempo
- Señalización audiovisual de puerta en movimiento

Pulsador dentro del bunker

Monitoreo de contaminación de aire (1)

Radioprotección del Trabajador

Distintos métodos

- Muestreo de aire con bomba staplex con **filtros** de ascarita y papel, etc, y posterior medición. ***Lectura retardada.*** Permite monitoreo rutinario para vigilancia

- Monitoreo de aire con ***lectura directa***. Por lo general los que usan detectores gaseosos no son aptos para monitoreo rutinario de incorporación (Límite inferior de detección del orden de 1 DAC de 18F) pero pueden prevenir grandes incorporaciones al ***alertar situaciones accidentales*** inmediatamente

Ambos métodos pueden complementarse

Monitoreo en laboratorio de investigación

Monitoreo de contaminación de aire (2)

Radioprotección de público

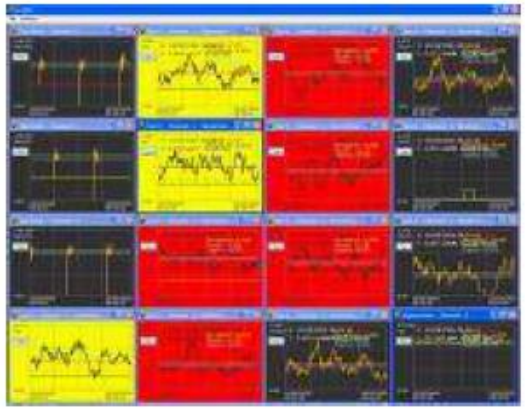
Monitoreo, registro y alarma por descarga ambiental en aire desde chimenea de la instalación

Sistemas centralizados de Monitoreo de niveles de radiación

Varios fabricantes ofrecen consolas centralizadas para supervisión en tiempo real de estados y lecturas de todos los sistemas fijos de monitoreo de radiación, gráficamente y fácil de interpretar.

Permiten además generar registros de todas las lecturas y gestionar la búsqueda de eventos y/o situaciones de alarma, facilitando la investigación.

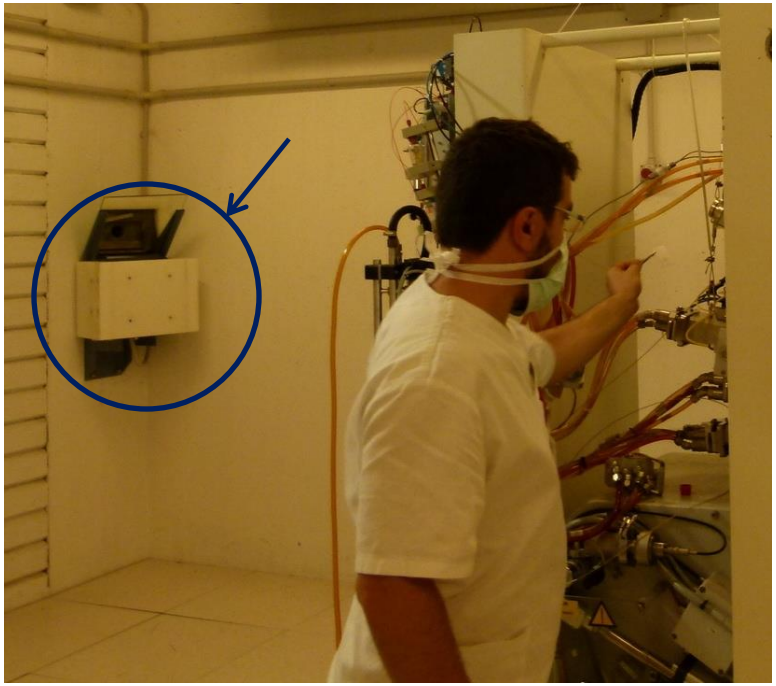
Interfaz gráfica de una consola centralizada de monitoreo



Seguridad Física

- Circuito cerrado de video
- Acceso con clave a Áreas Controladas

Cámara en un bunker: blindada y visión indirecta con espejo



Dispensadores Automático de Dosis

Sistemas automáticos de dosificación dentro de ***celda blindada*** y en condiciones de seguridad biológica del producto (***flujo laminar***)

¡Muchas gracias por su atención!