



08.61.02

PRINCIPLES OF THE DESIGN OF THE RAEP REACTOR

Abstract

The general principles utilized to draft the preliminary design of a 3-5 MW research and radio-isotope production reactor are described in the paper.

PRINCIPIOS DEL DISEÑO DEL REACTOR RAEP

Resumen

En el trabajo se indican los principios generales seguidos para llevar a efecto el anteproyecto de un reactor de investigación y productor de radioisótopos de 3-5 MW.

PRINCÍPIOS DE DESENHO DO REATOR RAEP

Resumo

No trabalho detalham-se os princípios gerais utilizados para a execução do anteprojeto de um reator de pesquisa e produção de radioisótopos de 3-5 MW.

PRINCIPIOS DEL DISEÑO DEL REACTOR RAEP

J. Cosentino, J. Gosztonyi, C. Mayans y E. Nasjleti
Comisión Nacional de Energía Atómica
Argentina

1. Introducción

El objetivo del proyecto RAEP es de dotar a la CNEA de un reactor de alto flujo neutrónico que permita simultáneamente sostener y ampliar la investigación ya iniciada en el campo de la ciencia nuclear y a la vez producir radioisótopos.

Con el objeto de obtener un flujo neutrónico térmico del orden de 10^{13} n/cm²/seg con una mínima potencia de operación se utilizará un núcleo reactante de uranio enriquecido al 20% en U²³⁵ moderado y refrigerado con agua liviana.

Este tipo de núcleo reactante permite lograr este nivel de flujo de neutrones operando a niveles de potencia de 1 a 5 MW.

Esta elección de tipo de núcleo se ve reforzada por la posibilidad de fabricar íntegramente en la Argentina los elementos combustibles del mismo una vez provisto el uranio enriquecido.

2. Elementos Combustibles

Se ha seleccionado como elemento combustible cajas de 3" x 3" conteniendo 10 placas de una aleación de U-Al envuelta en aluminio. Las características de las placas son las siguientes:

Especificaciones de las chapas combustibles
para el Reactor RAEP

(Para caja combustible de 10 chapas)

I.-Cantidad de U²³⁵ por chapa: $14,75 \pm 0,25$ gr.

II.-Dimensiones de la chapa combustible:

Medidas externas:

Alto 62,50 cm.

Ancho 7,6 cm.

Espesor total $0,205 \pm 0,025$ cm.

Espesor del recubrimiento de aluminio 0,04 cm.

Medidas del relleno combustible:

Alto 60 cm.

Ancho 6,90 cm.

Espesor $0,125 \pm 0,025$.

($\pm 0,025$ corresponde al margen librado a la elección del fabricante para el espesor del relleno combustible. Al valor elegido se aplicará la tolerancia correspondiente).

III.-Condiciones térmicas y de disipación calórica de la chapa combustible:

Temperatura máxima interior 85°C.

Temperatura máxima en la envoltura de aluminio 82°C.
Disipación calórica máxima 6 cal/cm²/seg.

IV.-Condiciones de corrosión.

Temperatura máxima normal del arma 45°C.
Pureza del agua 0,5 a 1 ppm.
P.H. del agua primaria 4,5 a 7.
Velocidad máxima del agua en la superficie del elemento combustible 1,2 m/seg.
Vida útil del elemento combustible no menor de un año.

V.-Tolerancias.

Las dispersiones de concentración de U²³⁵ en el relleno, no deberán ser superiores al 5%.
Tolerancia en el espesor del relleno 0,01 cm.
Tolerancia para el espesor del recubrimiento de aluminio 0,01 cm.

Los elementos reflectores son bloques de grafito envueltos en aluminio de las mismas dimensiones exteriores de las cajas combustibles.

Con estos elementos combustibles iniciales será posible operar el reactor hasta potencias del orden de 1 MWt. Para operar posteriormente a potencias de 3 a 5 MWt se utilizarán elementos combustibles de iguales dimensiones que contendrán el doble número de placas disminuyendo proporcionalmente el contenido de U²³⁵ por placa.

Elementos combustibles especiales serán utilizados para albergar las barras de seguridad, control grueso y control fino. Cajas conteniendo un número menor de placas combustibles servirán para ajustar la masa crítica operativa.

Los elementos combustibles y los elementos reflectores estarán insertados en una platina de soporte.

La misma está sostenida por una estructura apoyada en el fondo del tanque. Dentro de esta estructura se halla el dispositivo de descarga de agua.

La platina de soporte o grilla posicionadora del núcleo tendrá 8 x 10 posiciones, número suficiente para lograr convenientes configuraciones críticas.

3. Elección del Tipo de Reactor

Para albergar y operar este núcleo reactante se analizaron la disposición en pileta abierta y la

designada indistintamente como tipo "pozo" o tipo "tanque". Una de las ventajas más ponderables del reactor tipo "pileta" es que permite una distribución cómoda de las facilidades experimentales puesto que el núcleo puede ser operado en diversas posiciones dentro de la pileta.

El análisis de los requerimientos experimentales y de irradiación que debe satisfacer el RAEP demostró que los mismos serían cumplidos colocando las facilidades de acceso e irradiación alrededor de una posición fija del núcleo.

Por tanto en el reactor RAEP se dispondrá el núcleo fijo en el fondo de un tanque metálico (Gráfico 1) o sea el reactor será del tipo "tanque" o "pozo".

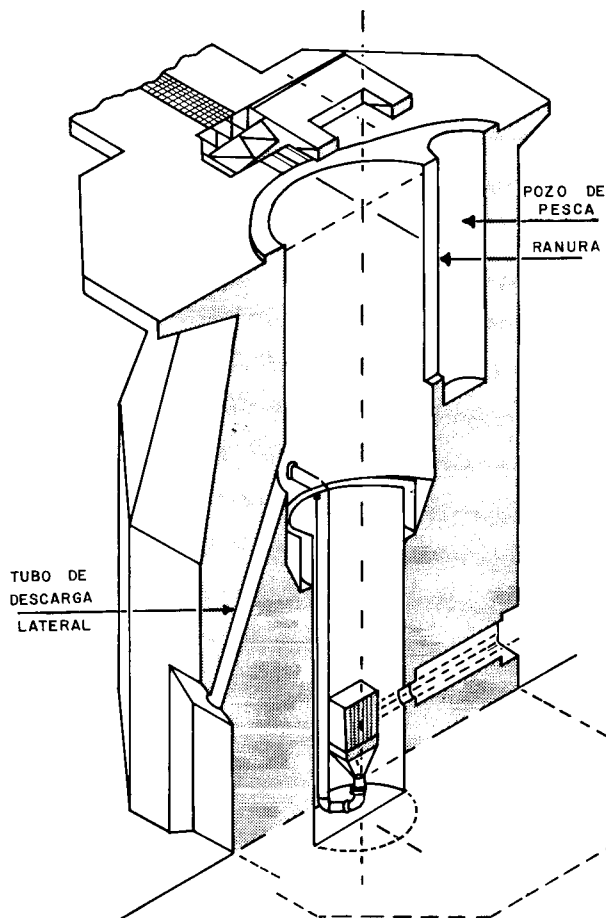


Gráfico 1

4. Tanque Metálico

Para la elección del material de este tanque se ha considerado el aluminio y el acero inoxidable.

Ambos materiales soportan bien las condiciones de corrosión que existirán en el RAEP.

En cambio las soldaduras se comportan diversamente. Las uniones soldadas en aluminio muestran una marcada tendencia a la corrosión no aconteciendo esto con las uniones soldadas en acero inoxidable.

El estudio de la activación de la pared del tanque de acero inoxidable demostró que de permitirse un espesor de agua conveniente entre el núcleo y la pared esta circunstancia no sería un impedimento para la utilización de este material.

Este parámetro gravitaría en la elección del diámetro inferior del tanque.

Por esto se decidió utilizar el acero inoxidable para la fabricación del tanque. Por otra parte esta solución está favorecida por el hecho de que la técnica de la soldadura en acero inoxidable está más desarrollada en el país que la del aluminio.

Las dimensiones del tanque son diámetro inferior 2,70 m y diámetro superior 3,70 m. El diámetro inferior está acondicionado por el espacio de agua que debe dejarse entre la parte activa del núcleo y el blindaje biológico de hormigón barítico. El espesor de agua fijado y el blindaje térmico de plomo de 2" que envolverá al tanque a la altura del núcleo garantizarán la atenuación de la radiación gamma que de otra manera provocaría un calentamiento no deseado en el hormigón. Por otra parte como hemos hecho mención anteriormente el espesor de agua disminuirá el flujo neutrónico a un nivel tal que la activación del tanque de acero inoxidable y del hormigón a la altura del núcleo no sobrepasará los niveles permisibles.

La altura del tanque está fijada por la altura de agua necesaria para que actúe como blindaje biológico superior. Su altura es de 10 metros.

5. Blindaje Biológico

El blindaje biológico que rodea al reactor es de hormigón barítico (densidad 3,2 a 3,5 gr/cm³) de 2,50 m de espesor hasta una altura de 3 m sobre el núcleo.

El resto será completado con hormigón común. (Gráficos 1 y 2).

En la dirección vertical el blindaje biológico estará constituido por la altura de agua del pozo que será de 7,50 metros.

6. Sistema de Refrigeración

El agua de refrigeración primaria (agua desmineralizada) es succionada a través del núcleo a razón de 250 m³/hora y retenida en un tanque de decaimiento de donde es aspirada por dos bombas centrífugas (una tercera en "by-

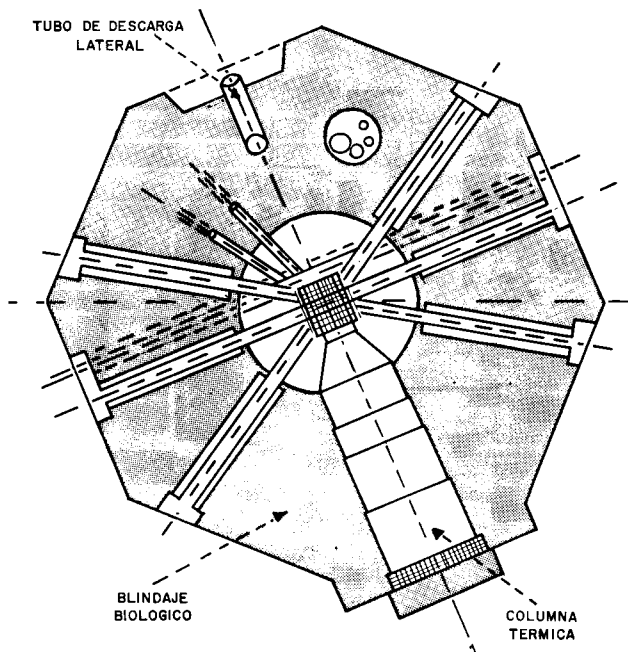


Gráfico 2

pass") de acero inoxidable e impulsada por el "tube side" del intercambiador de calor (Gráfico 3).

De allí es reinyectada al tanque mediante un dispersor radial. Este dispersor dirige las venas líquidas que arrastran la mayor parte del caudal de agua hacia el núcleo pero una parte del mismo es enviada a lo largo de las paredes inferiores del tanque. Esta acción permite una refrigeración adicional de las paredes del tanque.

Se tiene el convencimiento que con una oportuna elección de la altura a que se coloca este inyector radial y de la dirección que se imprime a las venas líquidas salientes del mismo se obtendrá una dinámica del agua primaria dentro del tanque que evitará que venas líquidas activas asciendan a la superficie del mismo.

De esta manera los estratos superiores del agua del tanque actuarán como tapón de retención. Para asegurar esta estratificación del agua en el interior del tanque, se inyectará en la parte superior del mismo, mediante un dispersor radial agua precalentada.

En la parte superior del tanque está ubicado un borde de derrame que abarcará todo el perímetro del mismo. Esta solución disminuirá y evitará la formación de olas en la superficie libre facilitando la observación. El agua recogida por el derrame será filtrada, precalentada y reinyectada por el dispersor superior.

El equipo desmineralizador funcionará en derivación sobre el circuito primario pudiendo descargar con caudales controlables sobre ambos reinyectores.

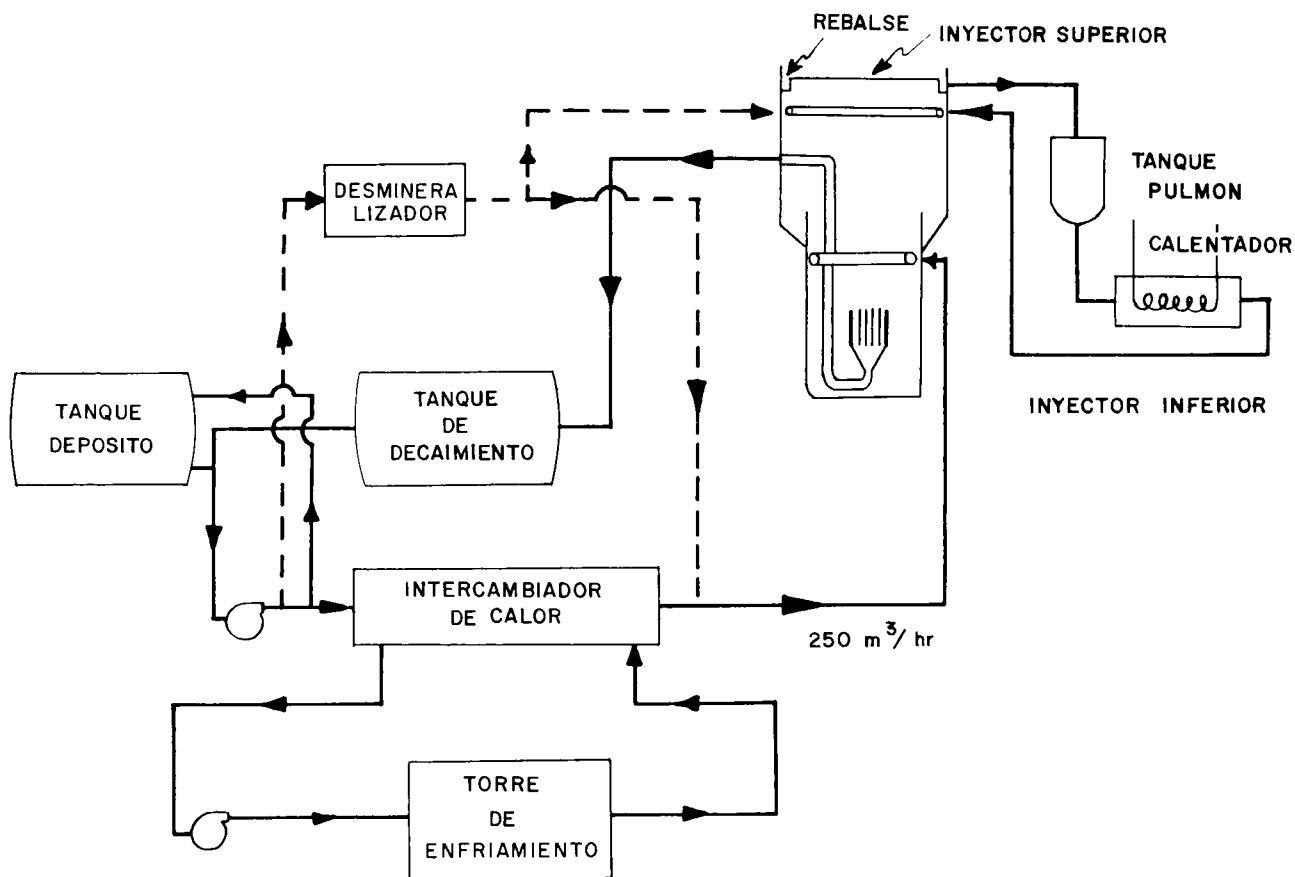


Gráfico 3. Sistema de Enfriamiento del RAEP

El circuito secundario es actuado por una bomba centrífuga que circula el agua por el "shell side" del intercambiador de calor y de allí a una torre de enfriamiento del tipo de tiro inducido. El agua utilizada en el sistema secundario será descarbonatada.

El conductor de aspiración del agua que es aspirada a través del núcleo está unido a la platina de soporte del mismo mediante un embudo. Dos de las caras de este embudo son articuladas. La succión del agua primaria (bombas del circuito de refrigeración primario en marcha) hace que estas caras permanezcan cerradas permitiendo la aspiración únicamente por el núcleo. En caso de interrupción de la circulación forzada, se producirá la apertura de estas caras permitiendo la refrigeración de los elementos combustibles por convección natural.

Se ha previsto la ubicación de un antisifón en la cañería de salida del agua aspirada en el tanque. De esta manera queda asegurada la inmersión del núcleo en caso de un drenaje accidental del agua.

7. Sistema de Control e Instrumentación del Reactor

Un sistema de control subdividido en seis

canales permitirá cubrir la operación del reactor desde nivel de fuente hasta máxima potencia.

Cada canal abarca parte de los niveles de operación con suficiente superposición con el inmediato superior e inferior como para obtener información sobre el flujo neutrónico en forma continua.

Dos canales de baja potencia cubren el rango de las bajas potencias mediante sendas cámaras de fisión. Las corrientes de ambas cámaras son preamplificadas, amplificadas y enviadas a un integrador lineal y logarítmico respectivamente.

Los canales de alta potencia y el canal de control utilizan cámaras de ionización compensada. Las funciones de estos canales son las de medir el nivel lineal de potencia, medir el período y obtener una señal de accionamiento para el servo de la barra de control.

Cámaras de ionización alimentan el canal duplicado de seguridad.

Un sistema de señalización luminosa y acústica controla los principales parámetros del sistema total del reactor.

Un número suficiente de "interlocks" impide durante la puesta en marcha y operación del reactor realizar decisiones incorrectas.

Se prevén "interlocks" adicionales para ser

conectados a los equipos y experimentos que se realicen en los tubos de irradiación o en la plataforma del reactor.

Medidores de actividad controlarán en el circuito de refrigeración primario una eventual pérdida de productos de fisión.

El ambiente del reactor será monitorado como asimismo el aire expulsado por el sistema de ventilación del reactor.

8. Facilidades de Irradiación

En el núcleo del reactor se dispondrán canastos de irradiación cuya configuración externa es análoga a un elemento combustible por tanto pueden ser ubicados en la platina posicionadora en la posición conveniente. Se dispondrá además de volumen de irradiación en los elementos reflectores.

El núcleo será accesible a través del blindaje por ocho canales de irradiación dos de los cuales serán pasantes.

Dos canales y un canal pasante serán de 6" de diámetro. El otro canal pasante y tres más serán de 8" de diámetro interno. Habrá un canal de 10" de diámetro interno.

Desde la plataforma superior el núcleo será accesible mediante dos canales verticales.

El depósito de elementos combustibles ubicado en el interior del tanque servirá para irradiaciones gamma intensas.

El reactor poseerá una columna térmica.

Para uno de los canales de irradiación está prevista su prolongación al exterior del edificio para la instalación de un "fast chopper".

Dos canales neumáticos permitirán el acceso rápido al núcleo y tendrán sus estaciones terminales en los laboratorios de radioquímica.

Para el movimiento de los materiales irradiados (radioisótopos, elementos combustibles y materiales activados en general) se ha previsto un tubo de descarga lateral y un "pozo de pesca" anexo al tanque. El tubo de descarga lateral provisto de un conveniente juego de válvulas exclusas permite descargar el material activado directamente en un transportador blindado.

El pozo de pesca comunicado lateralmente con el tanque del reactor mediante una ranura (Gráfico 1) permite bajar en su interior un blindaje mediante el cual se trasladarán los elementos combustibles irradiados a una piletta de enfriamiento que se comunica con el recinto del reactor (Gráfico 4).

9. Edificio del Reactor

El reactor se alojará ligeramente excéntrico (excentricidad 1,5 m) dentro de un edificio

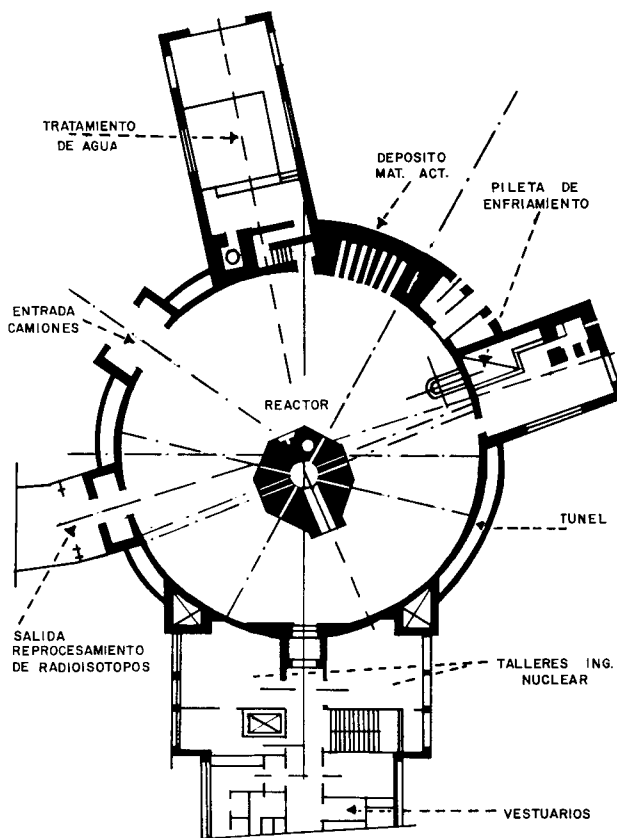


Gráfico 4

cilíndrico de 28 m de diámetro interior (Gráfico 4). Su altura libre interior será de 25 m. La superficie total de esta planta o recinto del reactor será servida por una grúa circular suspendida del centro del techo para 8 ton de carga.

El eje de los canales de irradiación estará a 1,30 m sobre el piso. La mínima distancia entre una cara del reactor (a la salida de los canales de irradiación) y la pared del edificio será de 8 metros y la máxima de 11,50 metros.

El perímetro exterior del edificio está rodeado por un terraplén de tierra que cubre el tunel perimétrico (Gráfico 5), para conductor de aire acondicionado y otros, hasta una altura de 2 metros sobre la cota del piso del recinto.

El recinto del reactor se comunica a nivel con el exterior por una entrada de 3,80 m de ancho para camiones.

Una salida a nivel comunica el reactor con los laboratorios de reprocesamiento de radioisótopos.

Anexo al edificio del reactor y comunicado con el recinto en planta baja y tercer piso está el cuerpo del edificio que alberga la sala de control, una aula "auditorium" con vista al reactor, sala de tableros, sala de baterías y, a nivel del piso del recinto del reactor con los laboratorios y talleres de ingeniería nuclear. En

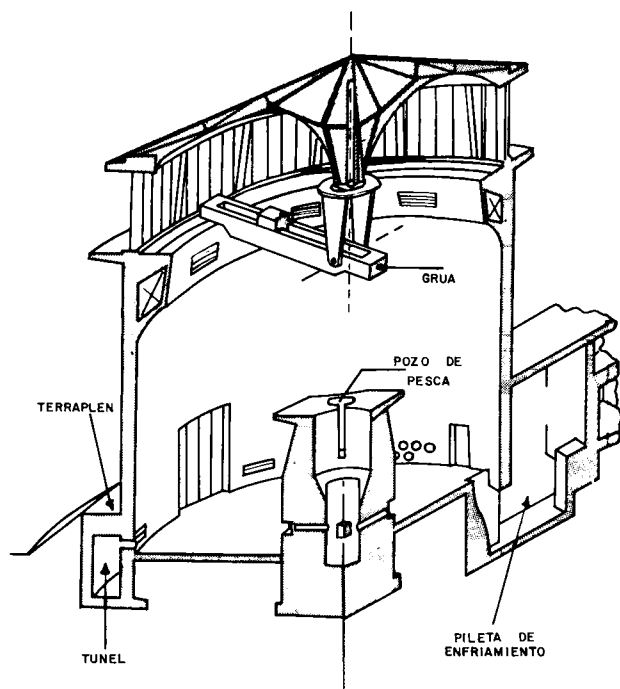


Gráfico 5

el último piso de este edificio se encuentran los equipos de aire acondicionado y en el sótano la sala de calderas. A la entrada de este edificio está ubicado el vestuario para el personal permanente del reactor (Gráfico 4).

Mediante una escalera se puede bajar del recinto del reactor a la sala de bombas del circuito primario. En el edificio que alberga esta sala se encuentran asimismo el tanque de decaimiento, el tanque depósito y la planta de decarbonatación y desmineralización de agua.

También anexo al edificio del reactor se encuentra la pileta de enfriamiento de elementos combustibles que se comunica mediante un canal con el recinto del reactor. Allí se encuentra ubicada una celda blindada para manipular objetos fuertemente radioactivos tales como elementos combustibles.

Una escalera adosada a la pared interna del edificio del reactor permite la comunicación entre la sala de control y el piso del recinto del reactor así como con el puente que une la sala de control y el tope del reactor.

Un depósito de materiales activados de canales horizontales se encuentra ubicado en la pared del edificio del reactor comprendida entre el edificio de bombas y el de la pileta de enfriamiento de elementos combustibles.

10. Eliminación de Residuos Radioactivos

Los residuos líquidos activos ya sea alta o baja su actividad son procesados en dos etapas previas a su eliminación:

- (1) Decaimiento.
- (2) Filtrado.

En las vecindades del reactor están ubicados los tanques separados de decaimiento para líquidos de alta y baja actividad. Un tercer tanque sirve para diluir y preparar el líquido que ya ha decaído para su eliminación. Los líquidos antes de ser dispersados en una zona alejada del terreno son pasados a través del tanden de filtros y monitorados.

Los residuos activos sólidos son envasados en recipientes especiales y enterrados en zanjas ubicadas en una zona especialmente dispuesta del terreno.