

5
205



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**MODELO DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL
RADIOACTIVO EN UN SISTEMA DE PROCESAMIENTO
DE DESECHOS GASEOSOS**

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

F I S I C O

P R E S E N T A

LUCAS VIRGILIO ARAGON SULIK

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

PAG.

INTRODUCCION

CAPITULO

1. GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCION DE UN REACTOR BWR	1
1.2 FUNCIONAMIENTO DE UN REACTOR BWR	4
1.3 GENERACION Y LIMPIEZA DE DESECHOS RADIACTIVOS	5

2. CONTAMINACION RADIACTIVA EN EL REFRIGERANTE PRIMARIO

2.1 PRODUCTOS DE ACTIVACION	8
2.2 PRODUCTOS DE CORROSION ACTIVADOS	9
2.3 PRODUCTOS DE FISION	10
2.3.1 MEZCLA DE RECHAZO	11
2.3.2 MEZCLA DE EQUILIBRIO	11
2.3.3 MEZCLA DE DIFUSION	12
2.4 CONCENTRACION DE RADIONUCLIDOS EN EL REFRIGERANTE PRIMARIO Y VAPOR PRINCIPAL	13
2.5 FACTORES DE CORRECCION	14

3. MODELO ANALITICO

3.1 METODOLOGIA DE CAJAS NEGRAS	15
3.1.1 GENERADOR	16
3.1.2 INVENTARIO	20
3.2 ARREGLOS NO-LINEALES	23
3.3 RADIONUCLIDOS PRECURSORES	25

I N D I C E (CONT...)

	PAG.
4. SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS	
4.1 DESCRIPCION	27
4.2 MODELACION	33
4.2.1 ARREGLO DE CAJAS NEGRAS ASOCIADO AL SISTEMA	33
4.2.2 FACTORES DE PARTICION.	36
4.2.3 CONTRIBUCION DE RADIONUCLIDOS PRECURSORES	37
4.2.4 PROGRAMA DE COMPUTO	40
4.3 IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE	42
5. ESCENARIOS DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS	
5.1 CASO BASICO	48
5.2 VARIACION DEL FLUJO DEL GAS DE PROCESO	51
5.3 VARIACION DE CAMAS DE CARBON ACTIVADO	53
5.4 VARIACION DE TANQUES DE DECAIMIENTO	56
5.5 RADIONUCLIDOS PRECURSORES	58
5.6 ELIMINACION DEL SISTEMA	60
6. ANALISIS Y RESULTADOS	
6.1 RAPIDEZ DE ACTIVIDAD DE RADIONUCLIDOS EN EL PROCESO DE DESECHOS GASEOSOS.	61
6.2 DOSIS POR LIBERACION DE DESECHOS GASEOSOS	76
6.3 CUMPLIMIENTO CON LA GUIAS REGULADORAS	85
6.4 EVALUACION DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS.	86
CONCLUSIONES	88
REFERENCIAS	92
AGRADECIMIENTOS	95

INTRODUCCION

Por el crecimiento que tiene la instalación de Centrales Nucleares en el mundo y por la importancia que tiene el hecho de que México se ha incorporado a la lista de países que cuentan con Centrales Nucleares en operación normal, es necesario diseñar adecuadamente los sistemas utilizados para reducir la liberación de desechos radiactivos generados durante la operación de dichas centrales.

Uno de los sistemas utilizados es el de procesamiento de desechos gaseosos, el cual cuenta con componentes cuya finalidad es reducir, mediante la remoción y/o retención, la actividad radiactiva de los gases en proceso antes de que estos sean liberados al medio ambiente. Para estimar el impacto al medio ambiente por la liberación de estos gases se requiere de la modelación del sistema determinando la actividad radiactiva a la salida de dicho sistema. En este trabajo se utiliza el modelo de "CAJAS NEGRAS" para determinar el valor de la actividad radiactiva de los radionúclidos liberados por el sistema y posteriormente calcular la dosis provocada por esta liberación durante la operación normal de una Central Nuclear.

Para la realización de este trabajo se presenta en el capítulo 1 la descripción y funcionamiento de un Reactor de Agua Hirviente (Boiling Water Reactor, BWR), así como una descripción de su ciclo primario y de la forma como se generan los desechos radiactivos por la operación de una Central Nuclear.

En el capítulo 2 se menciona los mecanismos mediante los cuales el refrigerante primario se contamina con los radionúclidos producidos por los procesos físicos de fisión y de activación en el núcleo del Reactor. Así también con base a las tablas estándares generadas con los valores obtenidos por la operación normal de otros

reactores, se determina la concentración radiactiva en el refrigerante primario y en el vapor principal de un reactor con determinados parámetros típicos de operación.

En el capítulo 3 se explica ampliamente la metodología de "CAJAS NEGRAS", utilizada para modelar a un sistema con un determinado arreglo de componentes que se comunican entre si y que transfieren material radiactivo de un componente a otro. Se establecen las ecuaciones que determinan la actividad radiactiva en cada componente y además se considera en dichas ecuaciones la contribución de los radionúclidos precursores.

Dentro de los sistemas involucrados para realizar el procesamiento de desechos radiactivos generados por una Central Nuclear, se presenta al correspondiente para los desechos gaseosos. En el capítulo 4 se menciona el funcionamiento de sus componentes y la modelación de dicho sistema mediante la metodología descrita en el capítulo 3. Así también se establecen las ecuaciones para calcular las dosis producidas por la liberación de los desechos gaseosos y determinar el impacto ambiental mediante la comparación con los límites establecidos en las guías reguladoras.

En el capítulo 5 se especifican los escenarios establecidos por la variación de parámetros importantes en el funcionamiento del sistema de procesamiento de desechos gaseosos, como es el valor de flujo de gas de proceso en el sistema, el número de camas de carbón y el número de tanques de decaimiento. También se realiza la modelación en caso de que la Central Nuclear no cuente con el sistema.

Finalmente en el capítulo 6 se analizan los resultados y se evalúa el sistema de procesamiento de desechos gaseosos con los diferentes escenarios propuestos. Se evalúan los resultados de dosis y la contribución que producen los radionúclidos precursores, así como también los resultados por no contar con un sistema de procesamiento de desechos gaseosos en operación.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DE UN REACTOR DE AGUA HIRVIENTE (BOILING WATER REACTOR-BWR).

Una central nucleoelectrónica se puede definir como un arreglo de componentes y sistemas, usados para obtener calor a partir de la energía nuclear y realizar la conversión a energía eléctrica. Esta conversión se realiza en tres etapas:

- 1.- La energía del combustible se utiliza para producir vapor a elevada presión y temperatura.
- 2.- La energía cinética del vapor se transfiere provocando el movimiento de las álabes de una turbina.
- 3.- El giro del eje de la turbina se transmite a un generador produciendo energía eléctrica.

La central nucleoelectrónica se diferencia de las demás centrales térmicas solamente en la primera etapa de conversión, es decir, en la forma de producir vapor. La central nucleoelectrónica consta de un reactor nuclear, que equivale a la caldera de las centrales convencionales.

El reactor nuclear de agua hirviendo (Boiling Water Reactor, BWR) tiene como característica el hecho de que el agua que se encuentra en contacto con el combustible, por transferencia de calor se evapora y sale de la vasija del reactor con gran presión para golpear a la turbina.

Los reactores BWR constan de tres elementos esencialmente, a saber^{1, 2}:

COMBUSTIBLE NUCLEAR.- Consiste de una mezcla de materiales fisiónables y fértiles. El ingrediente esencial es el material fisiónable, el cual experimenta fácilmente fisión cuando interacciona con neutrones. Solamente el Uranio-235 es un elemento

natural fisionable y constituye menos del 1% del elemento como es encontrado en la naturaleza. Dos materiales artificiales son el Plutonio-239 y Uranio-233.

Cuando los neutrones interaccionan con el Uranio-238, el cual constituye el 99% del Uranio natural, se forma el Plutonio-239 por esta razón al Uranio-238 se le denomina fértil, así también el Torio-232 es un material fértil formando Uranio-233 cuando interacciona con un neutrón. Los tres materiales fisionables básicos pueden ser usados separadamente o con alguno de los materiales fértiles como combustible para un reactor nuclear. El más comúnmente usado es el Uranio con el isótopo Uranio-235 con 99.3% y el isótopo de Uranio-235 con 0.7% o bien uranio enriquecido, en el que la cantidad de Uranio-235 aumenta hasta un 3%.

MODERADOR.- Los neutrones que se generan como consecuencia de la fisión de los núcleos de Uranio-235, tienen al emitirse velocidades de aproximadamente 20,000 km/seg.

Para que estos neutrones puedan a su vez fisiónar a otros núcleos de Uranio-235 de una manera eficiente y prosiga así la reacción en cadena, se debe disminuir su velocidad hasta aproximadamente 2 km/seg. Esto se logra intercalando alguna substancia cuyos átomos se encargan de frenar a los neutrones por medio de choques sin absorberlos, a dicha substancia se le denomina moderador y al proceso de disminuir la velocidad se le conoce como termalización de neutrones.³

Entre los moderadores más comunes se pueden citar al agua, grafito y al agua pesada. Estos moderadores absorben distintas cantidades de neutrones. Por ejemplo el agua natural absorbe más neutrones que el agua pesada y, para compensar el efecto que esta disminución de neutrones tiene sobre el número de átomos de Uranio-235, se enriquece el combustible.

REFRIGERANTE- La gran cantidad de calor que se genera en el reactor a consecuencia de la reacción nuclear, debe ser extraída para producir el vapor que se requiere en la generación de energía eléctrica y, al mismo tiempo disminuir la temperatura de los distintos elementos que se encuentran en su interior. Esto se consigue mediante la acción de un fluido que se conoce como refrigerante, el cual circula entre las barras de combustible permitiendo así el intercambio del calor producido por la reacción en cadena en el proceso de fisión.

Para cumplir su función en forma satisfactoria, el refrigerante debe cumplir una serie de condiciones:

- a).- No capturar neutrones.
- b).- Tener un elevado calor específico.
- c).- No ser corrosivo.

En los reactores de agua hirviendo se tiene como refrigerante y moderador al agua natural, la cual llena la vasija hasta un determinado nivel que permite que el combustible se mantenga cubierto.

1.2 FUNCIONAMIENTO DE UN REACTOR DE AGUA HIRVIENTE (BWR)

El núcleo de un reactor de agua hirviente es un arreglo en forma de un cilindro circular vertical que contiene un gran número de celdas de combustible y está localizado dentro de la vasija del reactor, permitiendo el flujo del refrigerante primario hacia arriba a través de él. Está integrado por una gran cantidad de barras de combustible y algunas barras que contienen agua, separadas y soportadas en un arreglo cuadrado formando así lo que se conoce como ensamble de combustible (ver fig. 1.2.1). Algunos reactores tienen del orden de 700 ensamblados formados por un total de aproximadamente 40000 barras de combustible⁴. Las barras de combustible consisten de un tubo de encamisado de zircaloy y contienen pilas de dióxido de uranio UO_2 .

La primera etapa de la conversión de energía nuclear a energía eléctrica se realiza en la vasija del reactor, comenzando por el proceso de fisión en el núcleo. En dicho proceso de fisión se genera calor que se transfiere al refrigerante que fluye por los elementos de combustible y así calentarlo hasta hervir. El vapor resultante de esta ebullición pasa a través de un separador de humedad y un secador de vapor, para que salga de la vasija como vapor seco a una gran presión y temperatura, y sea conducido por tuberías hasta llegar a la turbina donde le transfiere la mayor cantidad de energía cinética logrando así su movimiento, que es utilizado para la generación de electricidad.

Posteriormente el vapor, después de pasar por las turbinas, se condensa en el condensador principal y se regresa a la vasija en forma de agua para así completar el ciclo. En la figura 1.2.2 se muestra un diagrama simplificado del ciclo primario de un reactor BWR.

1.3 GENERACION Y LIMPIEZA DE DESECHOS RADIACTIVOS DE UN BWR

Dentro de los principales mecanismos que afectan las concentraciones de los diferentes radionúclidos en el refrigerante primario se tienen^{5, 6}:

- (1) fuga de productos de fisión al refrigerante por defectos del encamisado del combustible y generación de productos de fisión por pequeñas cantidades de uranio depositadas en el encamisado.
- (2) productos de corrosión activados en el núcleo.
- (3) remoción de la radiactividad por el sistema de limpieza del refrigerante primario.
- (4) remoción por los desmineralizadores de condensado.
- (5) remoción de radiactividad a través de los eyectores de aire.

Los productos de fisión entran al refrigerante primario como resultado de los defectos del encamisado del combustible y de trampas de uranio en la superficie del encamisado; mientras que los productos de corrosión son activados en el núcleo del reactor. Para prevenir el daño de los elementos del combustible y otros componentes del reactor, es necesario remover continuamente estas impurezas del refrigerante primario. Esto se logra de dos formas (ver fig. 1.2.2).

a) Después de pasar a través de la turbina, el vapor condensado es procesado a través del sistema de limpieza de condensado por medio de unos filtros desmineralizadores.

b) Una parte de la corriente del refrigerante primario es continuamente removida y procesada a través del sistema de limpieza de agua del reactor por medio también de filtros desmineralizadores.

Ambos sistemas remueven efectivamente partículas e impurezas iónicas del refrigerante primario. Los materiales colectados por los filtros desmineralizadores son removidos periódicamente por regeneración química y por reemplazo de resinas de intercambiadores iónicos que son transferidos al sistema de tratamiento de sólidos para formar posteriormente lo que se conoce como los desechos sólidos.

Otras fuentes adicionales de desechos líquidos están en la corriente necesaria para lavar, retrolavar, regenerar y enjuagar resinas desmineralizadas; otras son aguas de desechos de la lavandería, regaderas, drenajes de laboratorios y áreas de descontaminación, así como también agua colectada en drenajes de equipo y piso. Así entonces, al aumentar los desechos líquidos aumentan los desechos sólidos por el uso de resinas para realizar el intercambio iónico y reducir las concentraciones de los radionúclidos presentes en los desechos líquidos.

Por otra parte los desechos gaseosos que son removidos del vapor condensado en el condensador por la acción de los eyectores de aire (ver fig. 1.2.2). Esta fuente de desechos gaseosos es tratada principalmente por retardo de la liberación para permitir el decaimiento radiactivo.

Para los desechos se diseñan en las centrales nucleares sistemas de tratamiento con la finalidad de controlar, medir y reducir la cantidad de materiales radiactivos en efluentes de la central. Estos efluentes deben ser monitoreados para verificar que la radiactividad liberada esté dentro de los límites aceptables. Así también se utilizan métodos para reducir la radiactividad en el efluente como^{5, 6}:

- (1) retención del desecho para permitir su decaimiento.
- (2) reducir la fuente de radiactividad que entra al efluente de vapor.

(3) remover selectivamente los materiales radiactivos antes de la descarga.

El proceso de tratamiento usado en las centrales nucleares depende de las cantidades y tipos de materiales radiactivos presentes en las corrientes del efluente, del volumen total a ser tratado en cada corriente y el grado de reducción requerido para que la liberación no rebase los límites establecidos por las guías reguladoras.

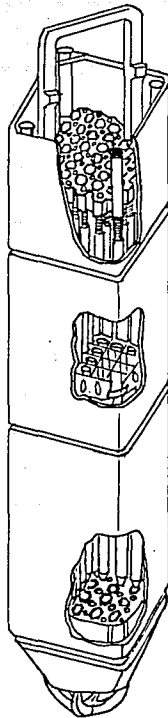


FIG. I.2.1 ENSEMBLE DE COMBUSTIBLE NUCLEAR

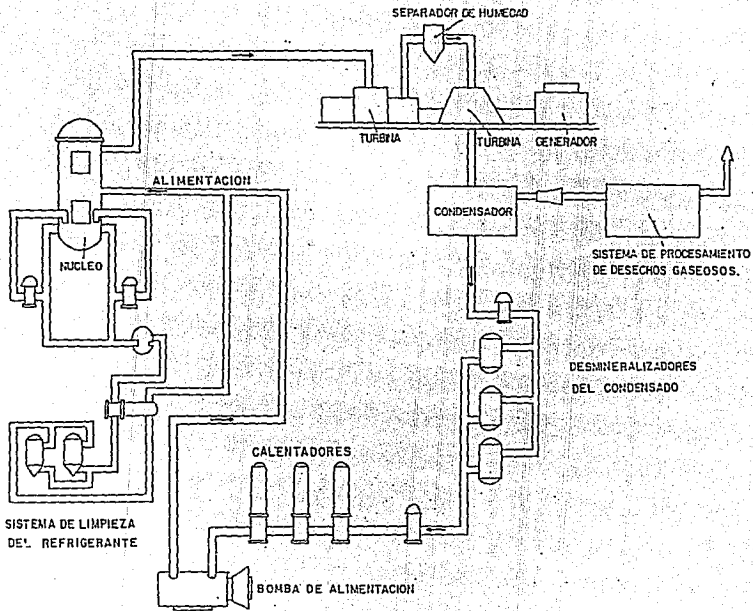


FIG 1.2.2 CICLO PRIMARIO DE UN REACTOR DE AGUA HIRVIENTE (BWR)

CAPITULO 2

CONTAMINACION RADIOACTIVA DEL REFRIGERANTE PRIMARIO

El cálculo de las cantidades de material radiactivo que pueden ser liberadas al medio ambiente por los reactores nucleares tipo BWR en sus emisiones gaseosas durante la operación normal y los eventos operacionales anticipados durante la vida útil de la planta nuclear, requiere del conocimiento de las fuentes y cantidades de material radiactivo generados. Estas fuentes así como sus cantidades dependen del tipo de reactor y del diseño de la planta nuclear.

La mayor cantidad de los radionúclidos que se producen en un reactor nuclear queda retenida dentro de los mismos elementos del combustible nuclear, sin embargo, una pequeña cantidad de estos materiales puede llegar a escapar debido a defectos en el encamisado del combustible e introducirse en el refrigerante primario⁷. Por otra parte en el mismo refrigerante primario pueden generarse o incorporarse a él otros radionúclidos que son productos de activación por neutrones, productos de corrosión activados, o bien productos del decaimiento de estos radionúclidos.

2.1 PRODUCTOS DE ACTIVACION

Los productos de activación son formados cuando un núcleo estable absorbe un neutrón o experimenta otra reacción nuclear que produce en el átomo, que está siendo formado un estado inestable.

Con el flujo neutrónico en el reactor, las moléculas del agua del refrigerante son partidas y una fracción de los átomos componentes resultan ser activados. Esto mismo sucede con los elementos del aire, que se encuentran disueltos en el refrigerante, que se activan por la interacción del flujo neutrónico formando radionúclidos que se incorporan al refrigerante primario. Estos radionúclidos, O y N, son considerados los productos de activación importantes del refrigerante primario.

En el reactor, los productos de activación están distribuidos entre la fase líquida y gaseosa (vapor) y los más comunes están listados en la tabla 2.1.1⁴.

Los constituyentes más volátiles son arrastrados con el vapor y son extraídos con el sistema de tratamiento de desechos gaseosos radiactivos en el condensador y, debido a que sus vidas medias son relativamente cortas, la mayoría de los átomos radiactivos formados decaen dentro del reactor o del sistema de tratamiento de desechos gaseosos radiactivos antes de ser liberados al medio ambiente.

2.2 PRODUCTOS DE CORROSION ACTIVADOS

Estos productos son elementos solubles e insolubles, los cuales han sido producidos principalmente en el condensador, en la turbina, tuberías y calentadores de agua de alimentación del sistema del reactor, debido a la corrosión de tales componentes y equipos.

Dichos elementos son transportados a la zona de flujo neutrónico y se activan mientras circulan a través del núcleo o mientras se depositan sobre la superficie en el área del núcleo. Algunos de estos elementos permanecen en las superficies de transferencia de calor, otros son removidos por el sistema de limpieza del agua del reactor, y una pequeña parte se deposita en el condensador, turbina, en las tuberías, válvulas, etc.

Varios de los productos de corrosión activados más comunes y los mecanismos de producción están listados en la tabla 2.2.1⁴. Los productos de corrosión junto con los productos de fisión de vida media más larga son los radionúclidos que deben vigilarse debido a que estos forman parte importante del inventario que contribuye a los desechos de una planta nuclear.

2.3 PRODUCTOS DE FISION

Por la experiencia operacional de otros reactores de agua hirviente se ha podido observar que la fuga de productos de fisión que se envían hacia el refrigerante, se origina fundamentalmente desde la zona de combustible que se considera afectada porque el encamisado no es completamente hermético y no en la totalidad del combustible. Esto tiende a limitar la magnitud de fuga y hacer ver la importancia de la condición en que se encuentra el combustible en la zona del defecto.

La distribución de los productos de fisión liberados a través de las imperfecciones del combustible es estudiada para evaluar la condición del combustible.

El comportamiento de los productos de fisión en el refrigerante y en otros sistemas vendrá regido por el proceso de desintegración de los mismos y las propiedades físico-químicas del elemento tales como la volatibilidad y solubilidad (por ejemplo, los gases nobles tienden a irse con el vapor de agua, en lugar de quedarse con el refrigerante).

Por todo esto es necesario examinar el proceso de fisión tal como ocurre en el combustible y los diferentes mecanismos mediante los cuales los fragmentos de fisión escapan del punto en que se verifica la fisión del UO_2 . Cada uno de estos mecanismos supone diferentes retrasos en la salida de los productos de fisión y por tanto diferentes distribuciones de ellos en el refrigerante.

Si no hubiese ningún obstáculo y el producto de fisión fuese directamente al refrigerante, la actividad del producto de fisión no cambiaría. Sin embargo, esto no sucede, se han observado tres tipos de distribuciones de productos de fisión que pueden correlacionarse con los diferentes tipos de mecanismos de escape⁷:

2.3.1 MEZCLA DE RECHASO

Se observa una distribución de rechazo cuando no existe retraso entre el momento en que se realiza la fisión y el escape de los productos de fisión del encamisado del combustible, es decir, es como si la fisión se realizase en el refrigerante (fig. 2.3.1.1). Las características del modelo de distribución son tales que todos los productos de fisión dan la sensación de tener la misma fuente de fisión.

Este tipo de fuentes está de acuerdo con el modelo de escape que se espera que causen las impurezas de uranio que se encuentran en la superficie del combustible o en los materiales estructurales.

2.3.2 MEZCLA DE EQUILIBRIO

Cuando existen pequeños orificios en las vainas, como por ejemplo un poro, existe un retraso efectivo entre el tiempo en que se ha producido la fisión y el momento en que los productos de fisión escapan a través del agujero al refrigerante (fig. 2.3.2.1). Dicho tiempo no es determinado sino que varía dependiendo del tamaño del agujero y del modo como opera el combustible. Para orificios pequeños el tiempo es grande.

Puesto que la mayoría de los productos de fisión son retenidos dentro del óxido de uranio, en las condiciones normales de temperatura del combustible solamente una pequeña fracción de los radionúclidos de Kr, Xe e yodo saldrán desde el combustible, pasando por el defecto de la vaina, hasta salir al refrigerante.

2.3.3 MEZCLA DE DIFUSION

Cuando existen roturas mayores en las vainas tales como grietas se producen escapes que son más grandes (fig. 2.3.3.1) y producen distribuciones que son diferentes que cuando se trata de pequeños orificios. Este tipo de defectos permiten que el UO_2 esté en contacto directo con el refrigerante que se encuentra a temperaturas elevadas y, aunque pudiera esperarse un modelo de distribución del tipo de la mezcla de rechazo, el modelo de escape y la magnitud del mismo demuestran que el proceso de escape supone un cierto retraso dentro del UO_2 .

La magnitud del escape depende del tamaño de la rotura y de las condiciones de operación del combustible. Los estudios realizados en plantas BWR de los escapes debido a tales defectos pueden variar desde 100 $\mu Ci/seg$ hasta varios miles de $\mu Ci/seg$.⁷

2.4 CONCENTRACION DE RADIONUCLIDOS EN EL REFRIGERANTE PRIMARIO Y VAPOR PRINCIPAL.

Por la forma de contaminación del refrigerante primario debido a la operación del Reactor, es necesario en esta parte determinar las concentraciones de los radionúclidos que son generados en el refrigerante primario.

La concentración de radionúclidos en el refrigerante primario es función de la potencia del reactor, del quemado del combustible, del tipo de encamisado, de la integridad del encamisado (No. de fallas), del grado de impurezas y aditivos químicos en el refrigerante mismo y del volumen del refrigerante. Para facilitar el cálculo de la concentración radiactiva, se han desarrollado tablas estándares que proporcionan concentraciones típicas de radionúclidos en el refrigerante primario y en el vapor principal para varios diseños de reactores en condiciones normales de operación, dichas tablas están basadas en la experiencia operacional de reactores y se encuentra en el ANSI/237⁸ y en el código GALE⁹ (Gas and Liquid Effluent, NUREG-0016), los cuales presentan la concentración radiactiva de radionúclidos (tabla 2.4.1) basados en la experiencia operacional de reactores tipo BWR que operan con parámetros que se encuentran dentro de determinados márgenes de validez (tabla 2.4.2).

2.5 FACTORES DE CORRECCION

Para reactores cuyos parámetros de operación estén fuera del intervalo de validez indicados en la tabla 2.4.2, existe una serie de factores de ajuste (tabla 2.5.1) que permiten corregir las concentraciones radiactivas iniciales de los distintos radionúclidos a partir de las utilizadas para un reactor que tenga parámetros dentro del intervalo de validez. Para la determinación de los factores de ajuste, se requiere del valor de la rapidez de remoción del agua del reactor (R). Para aquellos reactores que tienen parámetros de operación fuera de la validez de la tabla 2.4.2, el valor de R se calcula mediante la siguiente relación⁹:

$$R = \frac{FA * NA + (NC * FS * NS * NB)}{WP}$$

aplicable para halógenos, Cs y Rb y otros radionúclidos. Los símbolos y valores están identificados y mostrados en las tablas 2.4.2 y 2.5.2.

Para mostrar el uso de los factores de corrección, se utilizan para este trabajo los parámetros (tabla 2.5.3) de un reactor típico que están fuera de los intervalos de validez. Utilizando los factores de ajuste se procede a realizar la corrección obteniendo las concentraciones radiactivas (tabla 2.5.4) de los radionúclidos que se encuentran en el refrigerante primario y en el vapor principal del reactor supuesto.

En la tabla 2.5.4 se puede apreciar que no existe corrección alguna para radionúclidos como gases nobles ni para los productos de activación, esto indica que las concentraciones de la tabla 2.4.1 son aplicables para el caso propuesto, sin embargo, los demás radionúclidos tienen su corrección apropiada.

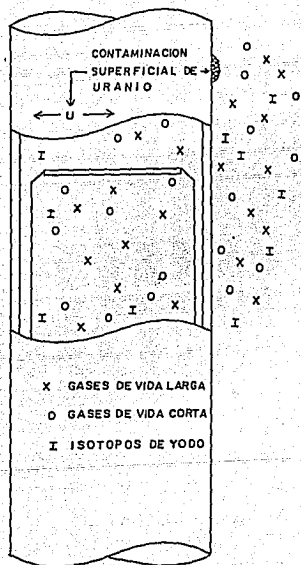


FIG. 2.3.1.1 MODO DE DISTRIBUCION DE LA MEZCLA DE RECHAZO.

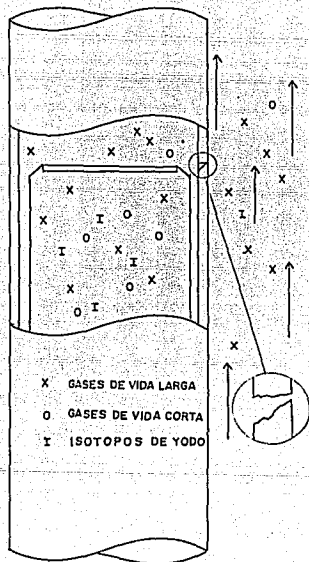


FIG. 2.32.1 MODO DE DISTRIBUCION DE LA MEZCLA DE EQUILIBRIO

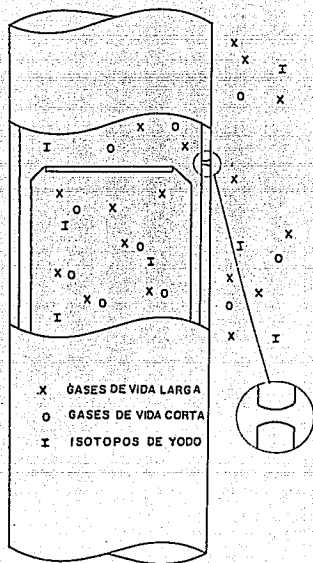


FIG. 2.3.3.I MODO DE DISTRIBUCION DE LA MEZCLA DE DIFUSION

Tabla 2.1.1 Productos de activación del refrigerante primario

RADIONUCLIDO	VIDA MEDIA	MECANISMO DE FORMACION
N-16	7.10 seg.	$O^{16}(n,p)N^{16}$
N-13	9.97 min.	$O^{16}(p,\alpha)N^{13}$
O-19	26.80 seg.	$O^{18}(n,\gamma)O^{19}$
F-18	109.80 min.	$O^{18}(p,n)F^{18}$

Tabla 2.2.1 Productos de corrosión activados.

RADIONUCLIDO	VIDA MEDIA	MECANISMO DE FORMACION
Cr-51	27.80 días	$\text{Cr}^{50}(\text{n}, \gamma)\text{Cr}^{51}$
Mn-54	312 días	$\text{Fe}^{54}(\text{n}, \text{p})\text{Mn}^{54}$
Mn-56	2.58 hrs.	$\text{Fe}^{56}(\text{n}, \text{p})\text{Mn}^{56}$ $\text{Mn}^{55}(\text{n}, \gamma)\text{Mn}^{56}$
Fe-59	45 días	$\text{Fe}^{58}(\text{n}, \gamma)\text{Fe}^{59}$ $\text{Co}^{59}(\text{n}, \text{p})\text{Fe}^{59}$
Co-58	71 días	$\text{Ni}^{58}(\text{n}, \text{p})\text{Co}^{58}$
Co-60	5.24 años	$\text{Co}^{59}(\text{n}, \gamma)\text{Co}^{60}$ $\text{Ni}^{60}(\text{n}, \text{p})\text{Co}^{60}$
Cu-64	12.9 hrs.	$\text{Cu}^{63}(\text{n}, \gamma)\text{Cu}^{64}$
Zn-65	243 días	$\text{Zn}^{64}(\text{n}, \gamma)\text{Zn}^{65}$
W-187	24 hrs.	$\text{W}^{186}(\text{n}, \gamma)\text{W}^{187}$

Tabla 2.4.1 Concentraciones ($\mu\text{Ci}/\text{gr}$) de referencia de radionuclidos en un reactor de agua hirviente.

RADIONUCLIDO	REFRIGERANTE	VAPOR
	PRIMARIO	PRINCIPAL
Kr-83m	---	9.10E-04
Kr-85m	---	1.60E-03
Kr-85	---	5.00E-06
Kr-87	---	5.50E-03
Kr-88	---	5.50E-03
Kr-89	---	3.40E-02
Kr-90	---	7.50E-02
Kr-91	---	9.10E-02
Kr-92	---	9.10E-02
Kr-93	---	2.40E-02
Kr-94	---	5.90E-03
Kr-95	---	5.50E-04
Kr-97	---	3.60E-06
Xe-131m	---	3.90E-06
Xe-133m	---	7.50E-05
Xe-133	---	2.10E-03
Xe-135m	---	7.00E-03
Xe-135	---	6.00E-03
Xe-137	---	3.90E-02
Xe-138	---	2.30E-02
Xe-139	---	7.50E-02
Xe-140	---	8.00E-02
Xe-141	---	6.50E-02
Xe-142	---	1.90E-02
Xe-143	---	3.20E-03
Xe-144	---	1.50E-04
Br-83	6.00E-03	9.00E-05
Br-84	7.00E-03	1.00E-04
Br-85	3.00E-03	5.00E-05
I-131	3.70E-03	6.00E-05
I-132	6.00E-02	9.00E-04
I-133	5.00E-02	8.00E-04
I-134	1.00E-01	2.00E-03
I-135	5.00E-02	8.00E-04
Rb-89	5.00E-03	5.00E-06

Tabla 2.4.1 Concentraciones ($\mu\text{Ci}/\text{gr}$) de referencia de radionúclidos en un reactor de agua hirviente (cont...).

RADIONUCLIDO	REFRIGERANTE PRIMARIO	VAPOR PRINCIPAL
Cs-134	3.00E-05	3.00E-08
Cs-136	2.00E-05	2.00E-08
Cs-137	8.00E-05	8.00E-08
Cs-138	1.00E-02	1.00E-05
N-13	5.00E-02	7.00E-03
N-16	6.00E+01	5.00E+01
N-17	9.00E-03	2.00E-02
O-19	7.00E-01	2.00E-01
F-18	4.00E-03	4.00E-03
Na-24	1.00E-02	1.00E-05
P-32	2.00E-04	2.00E-07
Cr-51	6.00E-03	6.00E-06
Mn-54	7.00E-05	7.00E-08
Mn-56	5.00E-02	5.00E-05
Fe-55	1.00E-03	1.00E-06
Fe-59	3.00E-05	3.00E-08
Co-58	2.00E-04	2.00E-07
Co-60	4.00E-04	4.00E-07
Ni-63	1.00E-06	1.00E-09
Ni-65	3.00E-04	3.00E-07
Cu-64	3.00E-02	3.00E-05
Zn-65	2.00E-04	2.00E-07
Zn-69	2.00E-03	2.00E-06
Sr-89	1.00E-04	1.00E-07
Sr-90	7.00E-06	7.00E-09
Sr-91	4.00E-03	4.00E-06
Sr-92	1.00E-02	1.00E-05
Y91	4.00E-05	4.00E-08
Y92	6.00E-03	6.00E-06
Y93	4.00E-03	4.00E-06
Zr-95	8.00E-06	8.00E-09
Zr-97	6.00E-06	6.00E-09
Nb-95	8.00E-06	8.00E-09
Nb-98	4.00E-03	4.00E-06

Tabla 2.4.1 Concentraciones ($\mu\text{Ci/gr}$) de referencia de radionúclidos en un reactor de agua hirviente (cont...).

RADIONUCLIDO	REFRIGERANTE	VAPOR
	PRIMARIO	PRINCIPAL
Mo-99	2.00E-03	2.00E-06
Tc-99m	2.00E-02	2.00E-05
Tc-101	9.00E-02	9.00E-05
Tc-104	8.00E-02	8.00E-05
Ru-103	2.00E-05	2.00E-08
Ru-105	2.00E-03	2.00E-06
Ru-106	3.00E-06	3.00E-09
Ag-110m	1.00E-06	1.00E-09
Te-129m	4.00E-05	4.00E-08
Te-131m	1.00E-04	1.00E-07
Te-132	1.00E-05	1.00E-08
Ba-139	1.00E-02	1.00E-05
Ba-140	4.00E-04	4.00E-07
Ba-141	1.00E-02	1.00E-05
Ba-142	6.00E-03	6.00E-06
La-142	5.00E-03	5.00E-06
Ce-141	3.00E-05	3.00E-08
Ce-143	3.00E-05	3.00E-08
Ce-144	3.00E-06	3.00E-09
Pr-143	4.00E-05	4.00E-08
Nd-147	3.00E-06	3.00E-09
W-187	3.00E-04	3.00E-07
Np-239	8.00E-03	8.00E-06

Tabla 2.4.2 Intervalo de validez de los parámetros de los reactores de referencia.

PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR	INTERVALO	
			NOMINAL	MAXIMO	MINIMO
Potencia Térmica	P	MWt	3400	3800	3000
Peso del agua en la vasija del reactor.	WP	lb	3.8(5) [*]	4.2(5)	3.4(5)
Flujo de los desmineralizadores de limpieza.	FA	lb/hr	1.3(5)	1.5(5)	1.1(5)
Flujo de vapor	FS	lb/hr	1.5(7)	1.7(7)	1.3(7)
Razón de flujo de los desmineralizadores de condensado al flujo de vapor	NC	-	0.75	0.99	0.5

* 3.8(5) = 3.8×10^5

Tabla 2.5.1 Factores de ajuste para reactores de agua hirviente

RADIONUCLIDOS	REFRIGERANTE DEL REACTOR	VAPOR DEL REACTOR
GASES NOBLES	1.0	1.0
HALOGENOS	$\frac{P}{WP} \left(110 \frac{lb}{MWE} \right) \frac{0.4 + \lambda}{R + \lambda}$	$\frac{P}{WP} \left(110 \frac{lb}{Mwt} \right) \frac{0.4 + \lambda}{R + \lambda}$
Cs, Rb	$\frac{P}{WP} \left(110 \frac{lb}{MWE} \right) \frac{0.17 + \lambda}{R + \lambda}$	$\frac{P}{WP} \left(110 \frac{lb}{Mwt} \right) \frac{0.17 + \lambda}{R + \lambda}$
PRODUCTOS DE ACTIVACION	1.0	1.0
OTROS RADIONUCLIDOS	$\frac{P}{WP} \left(110 \frac{lb}{MWE} \right) \frac{0.31 + \lambda}{R + \lambda}$	$\frac{P}{WP} \left(110 \frac{lb}{Mwt} \right) \frac{0.31 + \lambda}{R + \lambda}$

λ -constante de decaimiento (hr^{-1}).

Tabla 2.5.2 Valores usados en la determinación de los factores de ajuste para los reactores de agua hirviendo.

PARAMETRO	SIMBOLO	GASES NOBLES	HALOGENOS	Cs,Rb	PRODUCTOS ACTIVACION	OTROS
Fración de material removido en el reactor por el sistema de limpieza del agua.	NA	0.0	0.9	0.5	0.0	0.9
Fración de material removido por los desmineralizadores de condensado	NB	0.0	0.9	0.5	0.0	0.9
Razón de concentración en el vapor a la concentración en el agua del reactor.	NS	**	0.015	0.001	***	0.001

* Este término representa la remoción efectiva e incluye otros mecanismos tales como el depósito.

** Todos los gases nobles liberados del núcleo son transportados rápidamente del agua del reactor hasta el vapor y son eliminados del sistema en el condensador principal, por lo tanto la concentración en el agua del reactor es despreciable y la concentración en el vapor es aproximadamente equivalente a la razón de la rapidez de liberación y la rapidez de flujo del vapor.

*** Los productos de activación exhiben variaciones en sus propiedades químicas y físicas en el refrigerante del reactor, los cuales no están bien definidos. Sin embargo la mayoría son eliminados como gases.

Tabla 2.5.3 Valores de los parámetros para un reactor nuclear típico.

PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR NOMINAL
POTENCIA TERMICA	P	MWt	2000
PESO DEL AGUA EN LA VASIJA DEL REACTOR	WP	lb	3.62(5)*
FLUJO DE LOS DESMINERALIZADORES DE LIMPIEZA.	FA	lb/hr	8.3(4)
FLUJO DE VAPOR	FS	lb/hr	8.30(6)
RAZON DEL FLUJO DE LOS DESMINERALIZADORES DE CONDENSADO AL FLUJO DE VAPOR.	NC	--	0.6

* 3.62(5) = 3.62×10^5

Tabla 2.5.4 Concentración ($\mu\text{Ci}/\text{gr}$) corregida de los radionúclidos en el reactor nuclear seleccionado.

RADIONUCLIDO	REFRIGERANTE	VAPOR
	PRIMARIO	PRINCIPAL
Kr-83m	--	9.10E-04
Kr-85m	--	1.60E-03
Kr-85	--	5.00E-06
Kr-87	--	5.50E-03
Kr-88	--	5.50E-03
Kr-89	--	3.40E-02
Kr-90	--	7.50E-02
Kr-91	--	9.10E-02
Kr-92	--	9.10E-02
Kr-93	--	2.40E-02
Kr-94	--	5.90E-03
Kr-95	--	5.50E-04
Kr-97	--	3.60E-06
Xe-131m	--	3.90E-06
Xe-133m	--	7.50E-05
Xe-133	--	2.10E-03
Xe-135m	--	7.00E-03
Xe-135	--	6.00E-03
Xe-137	--	3.90E-02
Xe-138	--	2.30E-02
Xe-139	--	7.50E-02
Xe-140	--	8.00E-02
Xe-141	--	6.50E-02
Xe-142	--	1.90E-02
Xe-143	--	3.20E-03
Xe-144	--	1.50E-04
Br-83	4.37E-03	6.56E-05
Br-84	4.60E-03	6.57E-05
Br-85	1.86E-03	3.11E-05
I-131	3.14E-03	5.09E-05
I-132	4.36E-02	6.54E-04
I-133	4.12E-02	6.60E-04
I-134	6.76E-02	1.35E-03
I-135	3.92E-02	6.28E-04

Tabla 2.5.4 Concentración ($\mu\text{Ci/gr}$) corregida de los radionúclidos en el reactor nuclear seleccionado (cont...).

RADIONUCLIDO	REFRIGERANTE	
	PRIMARIO	VAPOR PRINCIPAL
Rb-89	3.15E-03	3.15E-06
Cs-134	2.79E-05	2.79E-08
Cs-136	1.85E-05	1.85E-08
Cs-137	7.45E-05	7.45E-08
Cs-138	6.43E-03	6.43E-06
N-13	5.00E-02	7.00E-03
N-16	6.00E+01	5.00E+01
N-17	9.00E-03	2.00E-02
O-19	7.00E-01	2.00E-01
F-18	4.00E-03	4.00E-03
Na-24	1.00E-02	1.00E-05
P-32	2.00E-04	2.00E-07
Cr-51	6.00E-03	6.00E-06
Mn-54	7.00E-05	7.00E-08
Mn-56	5.00E-02	5.00E-05
Fe-55	1.00E-03	1.00E-06
Fe-59	3.00E-05	3.00E-08
Co-58	2.00E-04	2.00E-07
Co-60	4.00E-04	4.00E-07
Ni-63	9.31E-07	9.31E-10
Ni-65	3.00E-04	3.00E-07
Cu-64	2.60E-02	2.60E-05
Zn-65	2.00E-04	2.00E-07
Zn-69	2.00E-03	2.00E-06
Sr-89	9.30E-05	9.30E-08
Sr-90	6.52E-06	6.52E-09
Sr-91	3.40E-03	3.40E-06
Sr-92	7.58E-03	7.58E-06
Y91	3.72E-05	3.72E-08
Y92	4.67E-03	4.67E-06
Y93	3.41E-03	3.41E-06
Zr-95	7.44E-06	7.44E-09
Zr-97	5.27E-06	5.27E-09
Nb-95	7.44E-06	7.44E-09
Nb-98	2.47E-03	2.47E-06

Tabla 2.5.4 Concentración ($\mu\text{Ci}/\text{gr}$) corregida de los radionúclidos en el reactor nuclear seleccionado (cont...).

RADIONUCLIDO	REFRIGERANTE	VAPOR
	PRIMARIO	PRINCIPAL
Mo-99	1.83E-03	1.83E-06
Tc-99m	1.64E-02	1.64E-05
Tc-101	5.74E-02	5.74E-05
Tc-104	7.45E-02	7.45E-05
Ru-103	1.86E-05	1.86E-08
Ru-105	1.59E-03	1.59E-06
Ru-106	1.85E-06	1.85E-09
Ag-110m	1.00E-06	1.00E-09
Te-129m	3.72E-05	3.72E-08
Te-131m	8.99E-05	8.99E-08
Te-132	9.18E-06	9.18E-09
Ba-139	7.09E-03	7.09E-06
Ba-140	3.71E-04	3.71E-07
Ba-141	6.44E-03	6.44E-06
Ba-142	3.80E-03	3.80E-06
La-142	3.59E-03	3.59E-06
Ce-141	2.79E-05	2.79E-08
Ce-143	2.71E-05	2.71E-08
Ce-144	2.79E-06	2.79E-09
Pr-143	3.71E-05	3.71E-08
Nd-147	2.78E-06	2.78E-09
W-187	3.00E-04	3.00E-07
Np-239	7.31E-03	7.31E-06

CAPITULO 3

MODELO ANALITICO

3.1 METODOLOGIA DE CAJAS NEGRAS

Cuando se tiene un arreglo de componentes que contienen material radiactivo y que se encuentran conectados entre sí, como es el caso del sistema de procesamiento de desechos gaseosos, es de vital importancia para el cálculo de dosis poder determinar el inventario de radionúclidos y su respectiva actividad en cada uno de los componentes.

Para llevar a cabo la determinación de la actividad de los radionúclidos en el sistema de procesamiento de gases, es útil modelar al sistema considerando a cada componente en forma individual sin olvidar que se encuentra conectado a otros de tal manera que se permita aislarlo para su estudio. Uno de los modelos que permite realizar esto, es el de "cajas negras"^{11, 12, 13, 14}. Este modelo considera a cada componente del arreglo, como si fuera una caja negra, denominándola así por el hecho de desconocer el proceso que sufre el material radiactivo dentro de la misma.

La determinación de la actividad de cada radionúclido en componente se realiza mediante el conocimiento de la cantidad de entrada y salida del material radiactivo, es decir, se establece un balance de producción y consumo de átomos radiactivos.

En el arreglo de los componentes, es conveniente establecer como se alimentan éstos, de tal manera que se pueda numerar y especificar la forma en que se comienza a distribuir el material radiactivo en el arreglo. De igual manera es conveniente establecer arreglos lineales¹¹, en los cuales la transferencia de material radiactivo de una caja se realiza solamente hacia otra y en una sola dirección; definiendo en estos arreglos a una primera caja junto con las condiciones iniciales de transporte de material radiactivo.

Con base a las condiciones iniciales de transporte de material radiactivo en cada arreglo lineal, el modelo presenta dos escenarios¹¹:

3.1.1 GENERADOR

Este caso se presenta cuando la primera caja del arreglo es alimentada con un flujo de material radiactivo a una rapidez de entrada N_g y de esta caja se transfiere a las demás del arreglo (ver fig. 3.1.1).

En este arreglo se ha distribuido material radiactivo y se pretende determinar la actividad radiactiva en cada uno de los componentes, suponiendo que solo es alimentada la primera caja y que inicialmente no existe material radiactivo en las demás. El cálculo de la actividad radiactiva en la primera caja se basa esencialmente en establecer lo siguiente: La rapidez de cambio respecto al tiempo, del número de átomos (N_1) radiactivos es igual a la rapidez con que se suministran nuevos átomos (N_g) menos la rapidez con que se pierden los átomos debido a todas las rutas de salida de la caja en cuestión, incluyendo el decaimiento radiactivo, esto es:

$$\frac{dN_1}{dt} = N_g - L_1 N_1 - \lambda N_1 \quad (1)$$

donde λ es la constante de decaimiento y L_1 representa la rapidez de transferencia de átomos hacia la siguiente caja. Este último

parámetro se define como:

$$L_1 = \frac{\phi_1}{M_1}$$

donde ϕ_1 es el flujo (masa/tiempo) de la caja 1 hacia la caja 2 y M_1 es la masa de la caja 1. Así el segundo término del miembro derecho de la ecuación 1, se interpreta como la remoción de la concentración radiactiva debido al flujo.

En general, la rapidez de entrada N_g con que se suministran los átomos radiactivos, al igual que la rapidez de salida de los átomos radiactivos debido al flujo en la caja 1, son funciones que dependen del tiempo, sin embargo, para este trabajo se consideran como constantes, representando una condición de estado estacionario, que en el caso de una central nuclear, corresponde al modo de operación normal.

Resolviendo la ecuación diferencial, con la condición inicial de que en $t=0$ no existe material radiactivo en la caja 1 se tiene:

$$N_1(t) = \frac{N_g}{k_1} \left[1 - e^{-k_1 t} \right] \quad (2)$$

con $k_1 = L_1 + \lambda$

Similarmente, la ecuación diferencial que determina la variación del número de átomos (N_2) en la caja 2 está dada por:

$$\frac{dN_2}{dt} = L_1 N_1 - L_2 N_2 - \lambda N_2 \quad (3)$$

donde L_2 corresponde a la rapidez de transferencia de salida de la caja 2. La solución a la ecuación anterior, considerando que $N_2(t=0)=0$, queda como:

$$N_2(t) = -L_1 N_g \left[\frac{1 - e^{-k_1 t}}{k_1 (k_1 - k_2)} + \frac{1 - e^{-k_2 t}}{k_2 (k_2 - k_1)} \right] \quad (4)$$

con $k_2 = L_2 + \lambda$

Análogamente para la tercera caja, la ecuación diferencial que determina el número de átomos (N_3) en función del tiempo es:

$$\frac{dN_3}{dt} = L_2 N_2 - L_3 N_3 - \lambda N_3 \quad (5)$$

cuya solución es:

$$N_3(t) = L_2 L_1 N_g \left[\frac{1 - e^{-k_1 t}}{k_1 (k_1 - k_2) (k_1 - k_3)} + \frac{1 - e^{-k_2 t}}{k_2 (k_2 - k_1) (k_2 - k_3)} + \frac{1 - e^{-k_3 t}}{k_3 (k_3 - k_1) (k_3 - k_2)} \right] \quad (6)$$

Continuando en este sentido se establece, en forma inductiva, la expresión para determinar el número de átomos en la n-ésima caja, la cual está dada por:

$$N_n(t) = (-1)^{n+1} \prod_{i=1}^{n-1} LiNg \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1 - e^{-k_i t}}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n k_i (k_i - k_j)} \quad (7)$$

Así finalmente la actividad radiactiva en cada una de las cajas está dada por:

$$A_i = \lambda N_i \quad i=1,2,\dots,n$$

se tiene con esto la actividad radiactiva para la n-ésima caja como:

$$A_n(t) = (-1)^{n+1} \prod_{i=1}^{n-1} LiNg \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1 - e^{-k_i t}}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n k_i (k_i - k_j)} \quad (8)$$

donde $\dot{A}g = \lambda Ng$ representa la rapidez con que se transfiere la actividad radiactiva a la caja 1.

3.1.2 INVENTARIO

Este segundo caso corresponde al mismo arreglo de cajas que en el escenario del generador, con la diferencia de que en este caso no se tiene una rapidez de alimentación de material radiactivo en la primera caja ($\dot{N}_g=0$), sino que de alguna manera inicialmente la primera caja, ya contiene material radiactivo (N_0) y representa la única fuente que alimenta a las demás cajas, por la transferencia hacia ellas (fig. 3.1.1). Así la ecuación diferencial que gobierna el comportamiento del número de átomos radiactivos que se encuentran en la caja 1 está dada por:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda N_1 - L_1 N_1 \quad (9)$$

con la condición inicial de que al tiempo $t=0$ se tengan N_0 átomos radiactivos en la primera caja, la solución de la ecuación será:

$$N_1(t) = N_0 e^{-k_1 t} \quad (10)$$

El número de átomos radiactivos en la segunda caja se obtiene a partir de la ecuación diferencial siguiente:

$$\frac{dN_2}{dt} = L_1 N_1 - \lambda N_2 - L_2 N_2 \quad (11)$$

$$N_2(t=0) = 0$$

sustituyendo la expresión (10) en esta ecuación y resolviendo la ecuación para la condición inicial dada, se tiene:

$$N_2 = -L_1 N_0 \left[\frac{e^{-k_1 t}}{k_1 - k_2} + \frac{e^{-k_2 t}}{k_2 - k_1} \right] \quad (12)$$

Similarmente para la tercera caja

$$\frac{dN_3}{dt} = -L_2 N_2 - \lambda N_3 - L_3 N_3 \quad (13)$$

$$N_3(t=0) = 0$$

sustituyendo la expresión (12) y resolviendo:

$$N_3(t) = L_1 L_2 N_0 \left[\frac{e^{-k_1 t}}{(k_1 - k_2)(k_1 - k_3)} + \frac{e^{-k_2 t}}{(k_2 - k_1)(k_2 - k_3)} + \frac{e^{-k_3 t}}{(k_3 - k_1)(k_3 - k_2)} \right] \quad (14)$$

Así para la n-ésima caja se tiene que el número de átomos para el caso inventario está dado por:

$$N_n(t) = (-1)^{n+1} N_0 \prod_{l=1}^{n-1} L_l \frac{e^{-k_l t}}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^{n-1} (k_l - k_j)}$$

y la actividad radiactiva será :

$$A_n(t) = (-1)^{n+1} A_0 \prod_{l=1}^{n-1} L_l \frac{e^{-k_l t}}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^{n-1} (k_l - k_j)}$$

con $A_0 = \lambda N_0$

3.2 ARREGLOS NO LINEALES

Hasta aquí se han obtenido las ecuaciones que regulan el comportamiento del número de átomos con respecto al tiempo en un arreglo lineal de cajas, sin embargo, ¿cómo deberá tratarse el caso, para encontrar la actividad radiactiva, cuando se presente un arreglo no lineal? (ver fig. 3.2.1). La respuesta a esta situación se da, de igual forma que en un arreglo lineal, basándose en el hecho de que las ecuaciones diferenciales que gobiernan el comportamiento del número de átomos en cada componente son lineales. Esto permite que un arreglo cualquiera se pueda tratar, para fines de cálculo de actividad radiactiva, como la suma de arreglos lineales y tomar como actividad total la suma de los resultados de cada arreglo lineal^{11, 12, 16}. Para considerar los arreglos no lineales se dan a continuación algunos puntos que facilitan el cálculo de la actividad:

1. Seleccionar y numerar en forma adecuada, todas las cajas involucradas.
2. Identificar la caja donde se requiere conocer la actividad radiactiva.
3. Identificar todas las rutas lineales que permiten conducir el material radiactivo hasta la caja en cuestión y establecer los valores de la rapidez de remoción total (k_1), así como la rapidez de transferencia (L_1) debida al flujo en cada componente.
4. Identificar en el arreglo si se trata del caso generador, inventario o ambos. En este último caso, generador e inventario se tratan por separado y el resultado total será la suma de cada contribución.
5. Realizar los cálculos dependiendo del número de cajas involucradas en cada arreglo lineal.
6. Sumar las contribuciones parciales de cada arreglo lineal para obtener el resultado del arreglo no lineal.

Es importante entender bien el proceso que se lleva a cabo en el arreglo de componentes para poder modelar correctamente, procurando determinar las componentes importantes en el proceso de transferencia de material radiactivo.

3.3 RADIONUCLIDOS PRECURSORES

Debido a que el proceso de decaimiento de radionúclidos está presente todo el tiempo durante la transferencia del material radiactivo de un componente a otro, es necesario determinar la contribución de la actividad radiactiva de los radionúclidos precursores que decaen al radionúclido en cuestión. Para ello se recurre al uso de una caja virtual para cada radionúclido de la cadena de decaimiento considerada (ver fig. 3.3.1) y se establece nuevamente un balance de producción y consumo en cada caja, como se hizo anteriormente, permitiendo la identificación de un arreglo no lineal de cajas. Este arreglo de componentes puede tratarse siguiendo los pasos anteriormente citados, con la observación de que la constante de decaimiento representa ahora una rapidez de transferencia (L_1) de una caja a otra¹¹.

EJEMPLO

Para visualizar la aplicación del modelo de cajas y la contribución de los radionúclidos precursores, se ha planteado el siguiente problema como un ejemplo¹²:

Considere un sistema, como se muestra en la figura 3.3.2, compuesto de una vasija de un reactor nuclear, la cual fuga radionúclidos a una rapidez S , rodeada por un edificio de contención que permite una fuga a una rapidez L . Dentro del edificio de contención se encuentra un filtro como sistema de limpieza con una rapidez de filtración V . Siguiendo el esquema de decaimiento de la figura 3.3.2, encontrar el número de átomos de Br^{85} en el filtro después de que ha transcurrido un tiempo t de haberse liberado los radionúclidos de la vasija.

Este ejemplo corresponde a un caso generador de 2 cajas (contenedor y filtro), sin embargo, por la contribución de los

radionúclidos de la cadena de decaimiento, se asigna una caja virtual a cada radionúclido, teniéndose un arreglo de 6 cajas (ver fig. 3.3.3) para la primera rama ($As^{85} - Se^{85} - Br^{85}$) y 4 cajas (ver fig. 3.3.4) para la segunda rama ($Se^{85a} - Br^{85}$) de la cadena.

Se tienen arreglos no lineales por lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

- 1.- Numerar todas las cajas virtuales (figs. 3.3.5 y 3.3.6).
- 2.- Se identifica la caja 6 para el radionúclido Br^{85} en el filtro.
- 3.- Los arreglos lineales así como los valores de rapidez de transferencia (L_i) y rapidez de remoción total (K_i) se muestran en las tablas 3.3.1 y 3.3.2 respectivamente.
- 4.- Se identifica el escenario como generador, debido a la producción de radionúclidos que se fugan hacia el ambiente del contenedor.
- 5.- Se utilizan las ecuaciones para el caso generador, dependiendo del número de cajas involucradas en cada arreglo lineal, para obtener la actividad radiactiva del Br^{85} al tiempo t después de que empezó la fuga, en cada uno de los arreglos. Una vez calculada la actividad para todos los arreglos se suman para obtener la actividad total del Br^{85} .

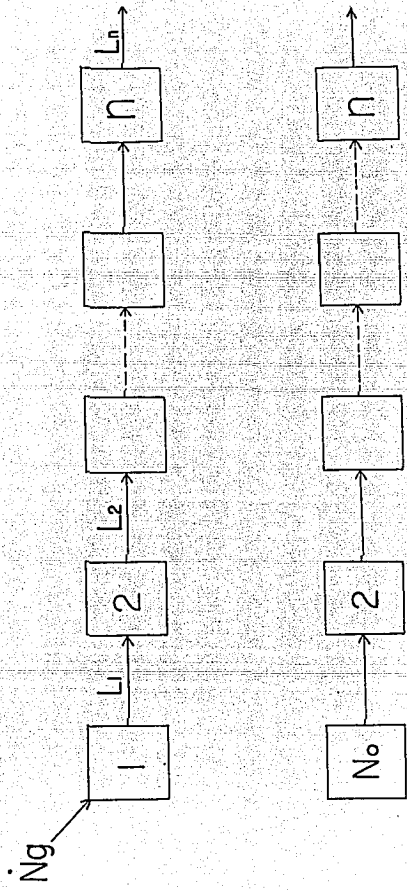


FIG 3.1.1 REPRESENTACION DE LOS CASOS GENERADOR ($\dot{N}_g \neq 0$) E INVENTARIO ($N_o \neq 0$)

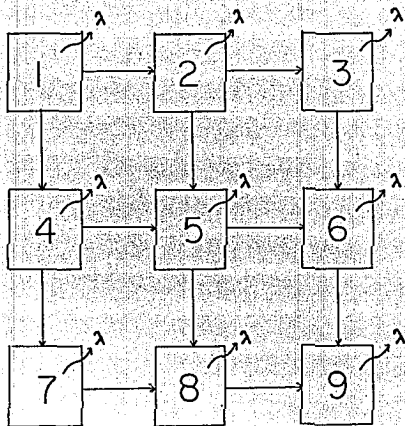


FIG. 3.21 ARREGLO NO LINEAL DE COMPONENTES

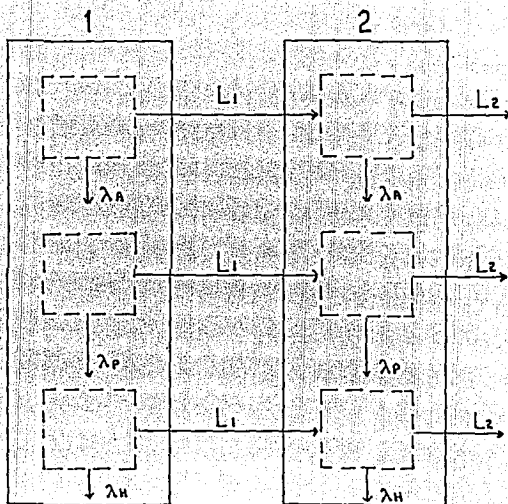


FIG 3.3J ARREGLO DE CAJAS VIRTUALES ASOCIADAS A LA CONTRIBUCION DE RADIONUCLIDOS PRECURSORES.

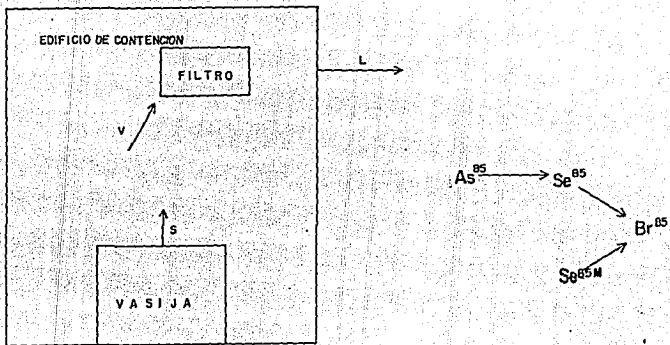


FIG. 3.32 FUGA DE RADIONUCLIDOS DE LA VASIJA DE UN REACTOR

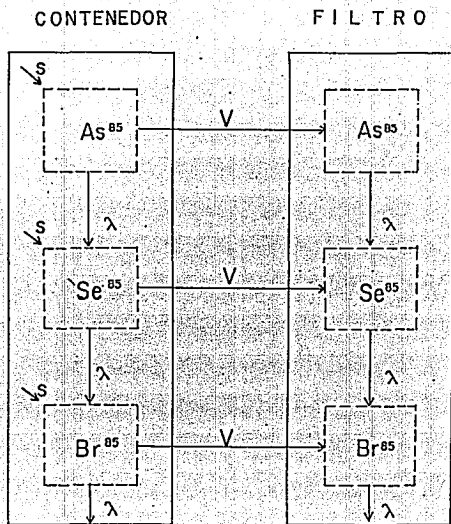


FIG. 3.3.3 ESQUEMA DE LA CONTRIBUCION DE LOS RADIONUCLIDOS PRECURSORES

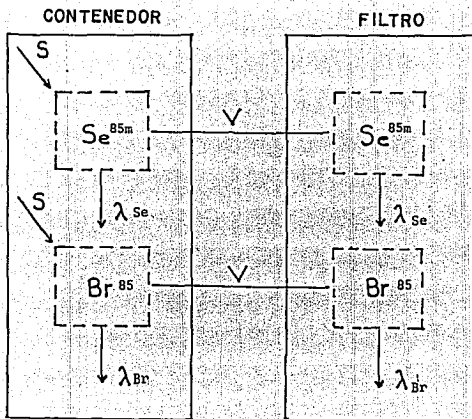


FIG. 3.3.4 ESQUEMA DE LA CONTRIBUCION DE LOS RADIONUCLIDOS PRECURSORES.

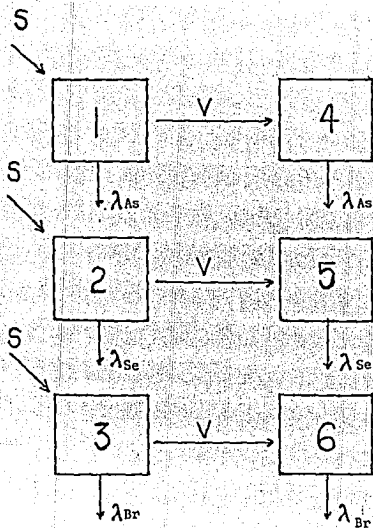


FIG. 3.35 ARREGLO DE CAJAS NEGRAS ASOCIADO A LA PRIMERA RAMA DE DECAIMIENTO
 (As⁸⁵ → Sb⁸⁵ → Br⁸⁵)

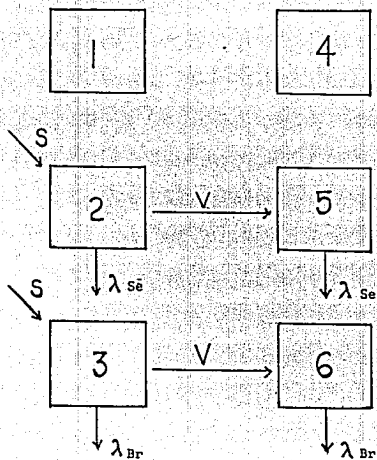


FIG. 336 ARREGLO DE CAJAS NEGRAS ASOCIADO A LA SEGUNDA RAMA DE
 DECAIMIENTO ($Se^{85} \rightarrow Br^{85}$)

Tabla 3.3.1 Arreglos lineales que contribuyen a la actividad radiactiva del Br⁸⁵.

CONTRIBUCION DEL RADIONUCLIDO	RAMA	ARREGLO LINEAL
As ⁸⁵	1	1-4-5-6
	1	1-2-5-6
	1	1-2-3-6
Se ⁸⁵	1	2-5-6
	1	2-3-6
Br ⁸⁵	1	3-6
Se ^{85m}	2	2-5-6
	2	2-3-6

Tabla 3.3.2 Remoción total (K_i) y rapidez de transferencia (L_i) para el cálculo de actividad radiactiva del Br^{85} .

RAMA	ARREGLO							
	LINEAL	L_1	L_2	L_3	K_1	K_2	K_3	K_4
1	1-4-5-6	V	λ_1	λ_2	$V+\lambda_1$	λ_1	λ_2	λ_4
	1-2-5-6	λ_1	V	λ_2	$V+\lambda_1$	$V+\lambda_2$	λ_2	λ_4
	1-2-3-6	λ_1	λ_2	V	$V+\lambda_1$	$V+\lambda_2$	$V+\lambda_4$	λ_4
	2-5-6	V	λ_2		$V+\lambda_2$	λ_2	λ_4	
	2-3-6	λ_2	V		$V+\lambda_2$	$V+\lambda_4$	λ_4	
	3-6	V			$V+\lambda_4$	λ_4		
	2-5-6	V	λ_3		$V+\lambda_3$	λ_3	λ_4	
2	2-3-6	λ_3	V		$V+\lambda_3$	$V+\lambda_4$	λ_4	

$$\lambda_1 = \lambda_{As}^{85}$$

$$\lambda_2 = \lambda_{Se}^{85}$$

$$\lambda_3 = \lambda_{Se}^{85m}$$

$$\lambda_4 = \lambda_{Br}^{85}$$

CAPITULO 4

SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS.

4.1 DESCRIPCION

En este trabajo se hace un estudio del comportamiento de los desechos gaseosos a través de un sistema de tratamiento para reducir la actividad de los radionúclidos que están presentes en la corriente, antes de liberarlos al medio ambiente. Este sistema de tratamiento tiene como función controlar, procesar, disponer y limitar la liberación al medio ambiente de los gases radiactivos generados como un resultado de la operación normal de la planta nuclear.

Para cumplir con su función, el sistema de procesamiento de gases cuenta con equipos que permiten retener o remover a los radionúclidos en el gas de proceso, con la finalidad de lograr su decaimiento y/o su eliminación. Además de estos equipos el sistema cuenta con equipos cuya función principal es la de acondicionar el gas de proceso de tal manera que el sistema cumpla su función en forma eficiente. Un sistema típico de procesamiento de gases se muestra esquemáticamente en la fig. 4.1.1 y consta de los siguientes equipos^{1, 4, 6, 18}:

EYECTORES (A)

El sistema de procesamiento de desechos gaseosos comienza en la descarga de los eyectores. Además de su función extractora de la mezcla de gases no condensables y de mantener la presión negativa dentro del condensador principal durante la operación normal, los eyectores proporcionan la dilución necesaria al hidrógeno contenido en dicha mezcla para mantener una concentración menor al 4% en volumen, evitando así la formación de mezclas explosivas.

PRECALENTADOR (B)

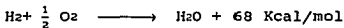
La mezcla de gases no condensables y de aire-vapor que circulan por el lado interior del precalentador, es calentada a una temperatura arriba de los 170°C para asegurar un rendimiento óptimo del recombinador, utilizando vapor principal por lado exterior mantenido a una presión de 20 kg/cm² y una temperatura de aproximadamente 220°C.

El precalentador asegura que la mezcla a la entrada del recombinador esté sobrecalentada, evitando la presencia de humedad en la parte superior del recombinador lo cual podría reducir su eficiencia.

RECOMBINADOR (C)

Al recombinador llega la mezcla de gases descargados por el precalentador que contiene además de los gases radiactivos el hidrógeno y el oxígeno radiolíticos producidos en el reactor por disociación del agua.

En el recombinador se favorece la reacción de recombinación por medio de un catalizador de platino (en forma de esponja) soportado en una estructura de aluminio para recombinar el hidrógeno y el oxígeno radiolíticos en una reacción exotérmica, la reacción efectuada es la siguiente:



El recombinador está conservadoramente diseñado para garantizar un flujo de gases con una concentración de hidrógeno menor a 5% en volumen (base seca) para todas las condiciones de operación.

CONDENSADOR (5)

La descarga de los recombinadores además de los gases radiactivos, contiene vapor de agua producto de la recombinación. Con el objeto de separar el vapor de agua y enfriar los gases no condensables se dispone del paso de éstos por un condensador. El fluido refrigerante proviene del sistema de condensado que circula por el lado exterior. La mezcla de gases y vapor circulan por el lado interior del condensador y ahí se colecta el 99.5% de humedad, la cual es drenada a un cabezal, de este cabezal el condensado es enviado al condensador principal y la corriente de gases no condensables posteriormente es dirigida a los tanques de decaimiento.

TANQUES DE DECAIMIENTO (6 y 7)

El flujo de gas de proceso entra a dos tanques de decaimiento tipo laberinto que están alineados en serie y que proporcionan un tiempo de retardo que permite el decaimiento de los radionúclidos. El tamaño físico y el laberinto interno de los tanques proporcionan el decaimiento de los radionúclidos de vida media corta (del orden de segundos).

PREFILTRO (8)

Esta localizado en la descarga de los tanques de decaimiento con el propósito de eliminar todas aquellas partículas sólidas debidas a los descendientes de los productos de fisión.

El filtro es de alta eficiencia para partículas en el aire (HIGH EFFICIENCY PARTICULATE AIR, HEPA), los filtros están hechos de fibra de vidrio y espaciadores de aluminio corrugado, que evitan el paso de partículas mayores de 0.3 micras con lo cual se logra una eficiencia de 99.97 % en el prefiltro.

GRUPO ENFRIADOR/CONDENSADOR Y SEPARADOR DE HUMEDAD

Este grupo consiste en un tanque enfriador/condensador, separador de humedad y una máquina enfriadora de circuito cerrado.

1.- TANQUE ENFRIADOR/CONDENSADOR (D)

El vapor contenido en el gas de proceso es condensado en el tanque enfriador/condensador y el punto de rocío de los gases es alejado a una temperatura de aproximadamente 20°C en este tanque.

El enfriamiento es proporcionado al glycol por un serpentín de refrigeración que contiene freón, el glycol a su vez enfría el gas de proceso. La unidad está diseñada para que en caso de fuga de freón, éste no pase al flujo de los gases de proceso. La razón de alejar el punto de rocío es evitar saturar de humedad las camas de carbón activado, con el fin de que exista una mejor adsorción dinámica de los gases en el carbón.

2.- SEPARADOR DE HUMEDAD (9)

Una malla de acero inoxidable retiene el vapor contenido en el flujo del gas a la entrada, el agua producida es colectada en la parte inferior de la vasija y descargada a un drenaje.

El separador de humedad reduce en 99% o más, la humedad contenida en el flujo de gases.

3.- MAQUINA REFRIGERANTE (E)

La máquina está diseñada para enfriar la solución agua/glycol en el tanque enfriador/condensador con gas freón a una temperatura cerca de 0°C con un flujo máximo del gas de proceso.

SECADOR (10)

Cada grupo de secado consiste en dos vasijas de tamiz molecular y un calentador secador. Estas vasijas están diseñadas para reducir la concentración de humedad a menos de 1 ppm y -56°C punto de rocío, antes de que entre el gas a las camas de carbón activado.

PREENFRIADOR (F)

Cada preenfriador está diseñado para enfriar los gases a una temperatura de aproximadamente -15°C al máximo flujo de diseño antes de introducirlos a las camas de carbón activado.

CAMAS DE CARBÓN ACTIVADO (11, 12, 13 y 14)

Las camas de carbón activado proporcionan un retraso del gas y la adsorción de los isótopos radiactivos resultando una reducción en la actividad del gas al pasar a través de las camas que se encuentran dentro de una cúpula mantenida a temperaturas bajas, del orden de los -15°C , logradas por medio del sistema de refrigeración de glycol. Para alcanzar el objetivo de reducción de actividad, las camas de carbón retienen o retrasan a los radionúclidos con un tiempo de retención (T), el cual depende de parámetros del sistema de la siguiente forma^{4, 8}:

$$T = \alpha \frac{MK}{F}$$

donde M es la masa de carbón activado

K coeficiente de adsorción dinámica

F rapidez de flujo por infiltración de aire a través del condensador principal (vol/tiempo).

α es una constante de proporcionalidad.

Como se observa de la ecuación, este tiempo de retención es mayor entre mayor sea la cantidad de carbón activado, así también el tiempo aumenta si la rapidez de flujo disminuye.

El coeficiente de adsorción dinámica es dependiente de la temperatura y contenido de humedad del carbón. Los valores K representan una composición de datos de carbones en operación y reportes concernientes a sistemas de adsorción de carbón. Los valores típicos de K son tomados del NUREG-0016 1979⁹, y son:

$$K_{kr} = 105 \text{ cc/g}$$

$$K_{xe} = 2410 \text{ cc/g}$$

para 0°F de temperatura de operación y -20°F punto de rocío.

RECALENTADOR (G)

Consiste en una cinta metálica que se enrolla en la tubería entre las camas de carbón y los postfiltros, operando como una resistencia a la que se le suministra corriente eléctrica con la finalidad de calentar el gas de proceso que va dentro de la tubería y así evitar la condensación de éste.

POSTFILTRO (15)

Localizado a la salida ó después de las camas de carbón activado con el propósito de retener las partículas que aún pudieran llevar la mezcla de gases y las de carbón que pueden desprenderse de las camas de carbón. Los postfiltros son filtros de alta eficiencia para partículas en el aire (HEPA), al igual que el prefiltro.

4.2 MODELACION

Con la finalidad de calcular la actividad radiactiva en los componentes de un sistema de procesamiento de desechos gaseosos y en base a la descripción de sus componentes en la sección 4.1, se ha modelado este sistema de tal manera que solo se toman en cuenta los componentes importantes para el proceso radiactivo, es decir, se excluyen del análisis los componentes cuya función principal es de acondicionar el gas de proceso para que al entregarlo a otros componentes se cumpla en forma eficiente la función de reducción de la actividad radiactiva del desecho gaseoso.

4.2.1 ARREGLO DE CAJAS NEGRAS ASOCIADO AL SISTEMA

En la figura 4.1.1 se muestran todos los componentes de un sistema de procesamiento de desechos gaseosos típico, identificando con número los componentes que se tomarán en cuenta para el análisis. Se observan de esta figura dos trayectorias de alimentación del sistema, una formada por los gases no condensables que permanecen en el condensador principal, como resultado de la condensación del vapor principal y la otra que proviene en forma directa de una derivación del vapor principal que sale de la vasija del reactor. El flujo de esta última corriente proporciona la fuerza motriz para arrastrar los gases no condensables que provienen del condensador principal, el cual se encuentra a una presión negativa para permitir que los gases sean dirigidos al sistema de procesamiento de gases y evitar fugas hacia el exterior del mismo.

En la tabla 4.2.1.1 se muestra el nombre del componente del sistema y el número de la caja negra asociada. Los componentes mostrados corresponden a la primera ruta de alimentación del sistema y para la segunda ruta se tiene como componentes a partir de la caja 5 (condensador del sistema) en adelante.

De acuerdo a la figura 4.1.1 y al proceso de generación de radionúclidos en el refrigerante primario del reactor por los procesos explicados en el capítulo 2, se modelará al sistema de procesamiento de gases como un generador teniendo dos arreglos lineales, uno para cada una de las formas de alimentación mencionadas y el total será la suma de estos dos arreglos. En la figura 4.2.1.1 se muestra el arreglo de cajas negras que se le asocia al sistema de procesamiento de gases, identificando las dos trayectorias que alimentan al sistema. En los dos arreglos la rapidez de actividad (λ_v) es igual al producto de la concentración radiactiva por el flujo másico que llega a lo que se considera la primera caja para cada arreglo lineal^{11, 15}.

En el primer arreglo lineal, correspondiente a la ruta normal que seguirán los gases, se ha considerado como primera caja negra a la turbina de alta presión alimentada directamente de la vasija del reactor. La asignación de la primera caja negra se realiza de esta manera porque se conoce el inventario y concentración de los radionúclidos en el vapor principal que alimenta a la turbina. Así entonces, con el inventario de radionúclidos del vapor principal y conociendo el flujo que llega a la turbina de alta presión se determina la rapidez de actividad inicial (λ_{g1}) que llega a la primera caja negra. Contando el número de cajas negras para esta ruta se tienen 15 cajas que representan a los equipos que son considerados para el análisis.

Para el segundo arreglo lineal se observa que una derivación de vapor principal llega a los eyectores de aire para ayudar a que estos realicen su función. Siguiendo esta ruta, los gases posteriormente pasan al precalentador y luego al recombinador, como estos equipos tienen una función de acondicionamiento no se tomarán en cuenta para el análisis, teniéndose así como primera caja negra en esta ruta al condensador del sistema de procesamiento de gases. La alimentación de esta primera caja negra es entonces como

si proviniera directamente de la derivación del vapor principal, con una rapidez de actividad (A_{g_2}) dada por el producto de la concentración del vapor principal por el flujo de gases que llega al condensador del sistema. Comenzando con el condensador del sistema como primera caja negra se tiene un total de 11 cajas negras para modelar la segunda ruta de proceso.

4.2.2 FACTORES DE PARTICION

La modelación del sistema de procesamiento sería correcta siempre y cuando los radionúclidos se encontraran solo en un estado de la materia, sin embargo, por la forma de operar o funcionar los diferentes componentes del sistema de procesamiento de gases, una parte del gas de proceso sufre cambios de estado, de tal forma que se produce una separación de los radionúclidos por la afinidad que tienen estos para mantenerse en un estado preferente de la materia⁶. Para tomar en cuenta esta afinidad que tienen los radionúclidos y hacerla efectiva en la modelación del sistema, se ha definido el factor de partición (FP). Este factor nos cuantifica la fracción de la cantidad total de átomos del radionúclido que se ha quedado en el estado de interés¹¹. Por ejemplo si la eficiencia de un intercambiador de iones para remover iones es del 99%, entonces se dice que el factor de partición es de 0.01, lo que indica que el 1 % del total de iones se queda en el medio líquido que pasa por el intercambiador. En la modelación del sistema los factores de partición de los equipos o componentes del sistema se han escogido de acuerdo a los estudios realizados para dichos equipos típicos para plantas nucleares y se muestran en la tabla 4.2.2.1¹¹ donde se indica el PF para cada componente y grupo de radionúclidos.

Para tomar en cuenta los factores de partición en el sistema, se realiza una corrección en las ecuaciones correspondientes para calcular la actividad de los radionúclidos. Dicha corrección consiste en multiplicar la actividad por el factor de partición del componente en cuestión, lo que representa la cantidad de actividad del radionúclido que permanece en el estado de la materia en estudio.

4.2.3 CONTRIBUCION DE RADIONUCLIDOS PRECURSORES

Debido al hecho de que la actividad de los radionúclidos presentes en el gas de proceso, tiene una contribución por el decaimiento de los radionúclidos precursores, es necesario determinar dicha contribución.

Para determinar la contribución que tienen los radionúclidos precursores en la actividad radiactiva del radionúclido en cuestión, denominado radionúclido hijo, solo se considera la contribución de la dos generaciones inmediatas a dicho radionúclido, es decir, la actividad que generan los radionúclidos "padres" y "abuelos" del radionúclido hijo por estar sometidos al proceso de decaimiento y por la transferencia de una caja negra a otra. Con esta consideración cada caja negra que representa a un componente o equipo del arreglo lineal del sistema de procesamiento de gases es sustituida por tres cajas virtuales, como se describió en la sección 3.3, por lo cual se tendrá un total de $15 \times 3 = 45$ cajas negras para el primer arreglo lineal correspondiente a la primera ruta y $11 \times 3 = 33$ cajas negras para el segundo arreglo lineal correspondiente a la segunda ruta. En la figura 4.2.3.1 se muestra el arreglo de cajas negras para el primer arreglo lineal con sus respectivas conexiones, observando que solo existe transferencia de material radiactivo de un componente a otro o que existe la conexión por decaimiento de las cajas asignadas a los radionúclidos precursores. En la figura 4.2.3.2 se muestra el segundo arreglo lineal asociado a la segunda ruta.

Es importante reconocer en estos arreglos que la contribución por el radionúclido abuelo tiene tres componentes:

- 1) Cuando el radionúclido abuelo es transferido al siguiente componente del sistema de procesamiento de gases y una vez en este

componente se realiza el decaimiento al radionúclido padre y este decae al radionúclido hijo.

2) Antes de transferirse al otro componente del sistema de procesamiento de gases, el radionúclido abuelo decae al radionúclido padre, después se realiza la transferencia al siguiente componente y una vez realizada la transferencia del radionúclido padre, éste decae al radionúclido hijo.

3) El decaimiento del radionúclido abuelo decae hasta el radionúclido hijo, pasando por el decaimiento del padre, y posteriormente se transfiere el radionúclido hijo al siguiente componente del sistema.

Por su parte el radionúclido padre tiene dos componentes:

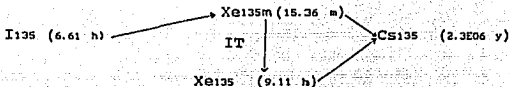
1). El radionúclido padre es transferido al siguiente componente y una vez transferido decae al radionúclido hijo.

2) El radionúclido padre decae al hijo y después es transferido al siguiente componente como radionúclido hijo.

Dentro de los radionúclidos considerados se han clasificado 6 grupos, a saber: Gases Nobles, Halógenos, Nitrógenos y Oxígenos, Cesios y Rubidios, productos de activación y otros. En la lista se han incluido radionúclidos que inicialmente no se encuentran en el refrigerante primario, pero que aparecen a lo largo de la transferencia del material radiactivo, debido al decaimiento de los radionúclidos precursores.

En la tabla 4.2.3.1, se presentan los valores de la rapidez de actividad inicial (A_0 , $\mu\text{Ci}/\text{día}$) de cada radionúclido para la primera ruta de alimentación, así como la correspondiente a cada

uno de los radionúclidos precursores en el caso que aplique, haciendo la observación de que se tomó como criterio que si existen en la cadena de decaimiento más de dos generaciones se omitirán los radionúclidos que decaen más rápidamente, como por ejemplo:



Para calcular la contribución de los radionúclidos precursores al Cs135, solo se tomará en cuenta la ruta I135--Xe135--Cs135, debido a que el Xe135m decae más rápidamente que los demás precursores y por esto no se toma en cuenta. También se muestran en la tabla 4.2.3.1 los valores de las constantes de decaimiento del radionúclido en cuestión y de sus precursores, así como las fracciones (W) en cada cadena de decaimiento^{21, 22, 23, 24}.

En la tabla 4.2.3.2 se presentan los valores de la rapidez de actividad (Ag) de cada radionúclido para la segunda ruta de alimentación, así como la correspondiente a cada uno de los radionúclidos precursores y los factores en el caso que aplique.

4.2.4 PROGRAMA DE COMPUTO

Con la metodología descrita en la sección 3.1 y la consideración de calcular la contribución de las dos generaciones precursoras inmediatas al radionúclido hijo, se procedió a elaborar un programa de cómputo con la finalidad de facilitar los cálculos. Este programa de cómputo se realizó en hojas de cálculo de LOTUS-123, consta de siete archivos como se muestra en la figura 4.2.4.1, cinco de ellos (ARRE-AUX.wk1, 17.prn, 18.prn, 19.prn y 20.prn) contienen todos los arreglos lineales de las cajas virtuales asociadas al arreglo lineal de cajas negras que representa al sistema de procesamiento de gases, con estos archivos se cuenta para realizar cálculos de un arreglo lineal hasta de 20 cajas negras con la contribución de las dos generaciones precursoras del radionúclido en cuestión.

Otro de los archivos con que consta el programa es el NEX.wk1 en el cual se colocan todos los datos de entrada del programa, como son : cadena de decaimiento del radionúclido hijo con sus dos generaciones precursoras inmediatas, rapidez de actividad radiactiva ($\mu\text{Ci}/\text{día}$) con que los radionúclidos involucrados llegan a lo que se designa como primera caja negra del arreglo lineal en el caso generador y en el caso inventario se requiere colocar la actividad (μCi) inicial en la primera caja. Se requieren también como datos de entrada los tiempos de retención y las constantes de decaimiento para los radionúclidos involucrados así como las fracciones con que dichos radionúclidos decaen a otros.

Por otra parte, en lo que se refiere a los parámetros de las cajas se requiere la rapidez de transferencia (L_i) y constantes de remoción total (K_i).

En el archivo NEX.wk1 se han instalado también todas las instrucciones que debe realizar el programa, lo que se conoce en LOTUS-123 como "MACROS" del programa.

El último archivo es denominado como CAJAS.wk1, en este se localizan todas las ecuaciones para realizar los cálculos y representa el archivo central del programa ya que aquí se ejecutan todas las instrucciones del programa mediante la activación de los MACROS. Con esta activación se ingresan todos los datos del NEX.wk1 así como los arreglos de las cajas virtuales asociadas al arreglo lineal de cajas negras, para que se realicen los cálculos de la contribución de actividad por cada uno de los dos radionúclidos precursores involucrados así como la correspondiente al radionúclido hijo y sumar las tres contribuciones. Una vez realizados todos los cálculos para el radionúclido en cuestión en una determinada caja negra se imprime el resultado total de la actividad, así como las parciales debido al radionúclido hijo, padre y abuelo, terminando esto se procede a obtener los datos para otro radionúclido y realizar nuevamente los cálculos.

Para realizar una verificación y validación del programa se ingresó al programa un radionúclido de calibración, el cual representa al problema planteado en la sección 3.3. Este ejemplo se realizó en forma manual y con el programa para realizar la comparación tanto de resultados parciales como totales y asegurar de este modo que dicho programa ejecuta en forma adecuada los cálculos. Por otra parte este ejercicio forma parte del criterio de aceptación de la metodología utilizada^{12, 25}.

4.3 IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE

Con la finalidad de conocer el impacto que tienen las liberaciones al medio ambiente, debido al procesamiento de gases, es necesario determinar las dosis producidas por dichas liberaciones. Por otra parte es también necesario asegurar que estas dosis sean tan bajas como razonablemente sea posible (As Low As is Reasonably Achievable, ALARA), para lograr esto se debe diseñar el sistema de procesamiento de gases de tal forma que se dé cumplimiento a las normas aplicables 6, 26, 27, 28. En el Código de Regulaciones Federales de los E.U.A en el título de Energía parte 50 apéndice I²⁷, se establecen las guías numéricas para objetivos de diseño y condiciones limitantes de operación para cumplir con el criterio ALARA de efluentes de material radiactivo en Reactores de Potencia Nuclear de agua hirviente.

Esta guía establece que los siguientes objetivos de diseño se deben de cumplir:

La dosis en aire para áreas no restringidas debido a gases nobles liberados en efluentes gaseosos, deberá limitarse a lo siguiente:

a) Durante cualquier año calendario, la dosis deberá ser ≤ 10 mrad para radiación gamma y ≤ 20 mrad para radiación beta.

b) La dosis para un individuo debido a radioyodos, material radiactivo en forma de partículas y radionúclidos distintos a los gases nobles con vida media mayor que 8 días en efluentes gaseosos liberados a áreas restringidas será limitado a lo siguiente:

Durante cualquier año calendario, la dosis deberá ser ≤ 15 mrem.

Para determinar o calcular la dosis debido a la liberación de efluentes gaseosos, se utilizan las siguientes relaciones:

a) Durante cualquier año, para radiación gamma

$$3.17 \times 10^{-8} \sum_i \left[M_i \left[\left(\frac{x}{Q} \right) \cdot \bar{Q}_{i\gamma} + \left(\frac{x}{q} \right) \cdot \bar{q}_{i\gamma} \right] + \left[B_i \bar{Q}_{i\beta} + b_i \bar{q}_{i\beta} \right] \right] \leq 10 \text{ mrad}$$

Durante cualquier año calendario, para radiación beta

$$3.17 \times 10^{-8} \sum_i N_i \left[\left(\frac{x}{Q} \right) \cdot \bar{Q}_{i\beta} + \left(\frac{x}{q} \right) \cdot \bar{q}_{i\beta} + \left(\frac{x}{Q} \right) \cdot \bar{Q}_{i\gamma} + \left(\frac{x}{q} \right) \cdot \bar{q}_{i\gamma} \right] \leq 20 \text{ mrad}$$

donde:

M_i Factor de dosis en aire debido a emisiones gamma para cada radionúclido de gas noble identificado, en mrad/año por $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$.

N_i Factor de dosis debido a emisiones beta para cada radionúclido de gas noble identificado, en mrad/año por $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$.

$\left(\frac{x}{Q} \right) \cdot \underline{\quad}$ seg/ m^3 . Liberación por venteo. Concentración relativa promedio anual más alta calculada para el área o más allá de la frontera del área no restringida para liberaciones a largo plazo (mayor de 500 hrs/año).

$\left(\frac{x}{q} \right) \cdot \underline{\quad}$ seg/ m^3 . Liberación por venteo. Concentración relativa para el área o más allá de la frontera del área no restringida para liberaciones a corto plazo (menores o igual que 500 hrs/año).

$\overline{(x/Q)}$ = ___ seg/m³. Liberación por chimenea libre. Concentración relativa promedio anual más alta calculada para el área o más allá de la frontera del área no restringida para liberaciones a largo plazo (mayor de 500 hrs/año).

$\overline{(x/q)}$ = ___ seg/m³. Liberación por chimenea libre. Concentración relativa para el área o más allá de la frontera del área no restringida para liberaciones a corto plazo (menores o igual que 500 hrs/año).

\bar{q}_i = Liberaciones promedio de gases nobles en efluentes gaseosos, i , para liberaciones de corto plazo (≤ 500 hrs/año) de la chimenea libre, en μCi . Las liberaciones deberán de ser acumuladas en un año.

\bar{q}_{iv} = Liberaciones promedio de gases nobles en efluentes gaseosos, i , para liberaciones de corto plazo (≤ 500 hrs/año) de todos los venteos, en μCi . Las liberaciones deberán de ser acumuladas en un año.

\bar{Q}_i = Liberaciones promedio de gases nobles en efluentes gaseosos, i , para liberaciones de largo plazo (> 500 hrs/año) de la chimenea libre, en μCi . Las liberaciones deberán de ser acumuladas en un año.

\bar{Q}_{iv} = Liberaciones promedio de gases nobles en efluentes gaseosos, i , para liberaciones de largo plazo (> 500 hrs/año) de todos los venteos, en μCi . Las liberaciones deberán de ser acumuladas en un año.

B_i = Constante para liberaciones a largo plazo para cada gas noble identificado de acuerdo a la radiación gamma de la pluma

finita elevada, derivada de acuerdo con la metodología de dosis de la guía reguladora 1.109, apéndice B, sección 1²⁸, en mrad/año por $\mu\text{Ci}/\text{seg}$.

- b) Constante para liberaciones a corto plazo para cada gas noble identificado de acuerdo a la radiación gamma de la pluma finita elevada, derivada de acuerdo con la metodología de dosis de la guía reguladora 1.109, apéndice B, sección 1, en mrad/año por $\mu\text{Ci}/\text{seg}$.

3.17×10^{-8} El inverso del número de segundos en un año.

- b) Durante cualquier año calendario para radionúclidos distintos a los gases nobles.

$$3.17 \times 10^{-8} \sum R_i \left[W_s \bar{Q}_{i,s} + W_a \bar{Q}_{i,a} + W_v \bar{Q}_{i,v} + W_w \bar{Q}_{i,w} \right] \leq 15 \text{ mrem}$$

donde:

\bar{Q}_i Liberaciones de material radiactivo en forma de partículas, y radionúclidos distintos a los gases nobles en efluentes gaseosos, i , para liberaciones a largo plazo, en μCi . Las liberaciones deberán ser acumuladas en un año.

\bar{q}_i Liberaciones de material radiactivo en forma de partículas y radionúclidos distintos a los gases nobles en efluentes gaseosos, i , para liberaciones a corto plazo, en μCi . Las liberaciones deberán ser acumuladas en un año.

W Parámetro de dispersión para la estimación de dosis a un individuo en una localización controlada para liberaciones a largo plazo:

$$W = (\overline{x/Q}) \text{ para ruta de inhalación, en seg/m}^3.$$

$$W = (\overline{D/Q}) \text{ para la ruta de ingestión y suelo, en m}^{-2}.$$

w Parámetro de dispersión para la estimación de dosis a un individuo en una localización controlada para liberaciones a corto plazo:

$$w = (\overline{x/Q}) \text{ para ruta de inhalación, en seg/m}^3.$$

$$w = (\overline{D/Q}) \text{ para la ruta de ingestión y suelo, en m}^{-2}.$$

R_i Factor de dosis para cada radionúclido identificado, i , en mrem/año por $\mu\text{Ci/m}^3$ para el caso de la ruta de inhalación y en $\text{m}^2(\text{mrem/año})$ por $\mu\text{Ci/seg}$ para el caso de las rutas por depósito en el suelo, pasto-vaca-leche, pasto-vaca-carne e ingestión de vegetales. Estos valores son tomados del NUREG-0133 ²⁶.

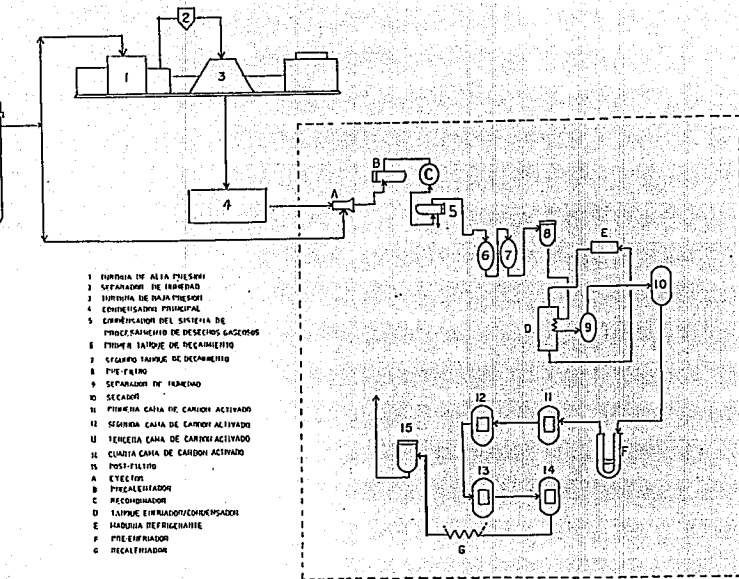


FIG. 4.11 SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS

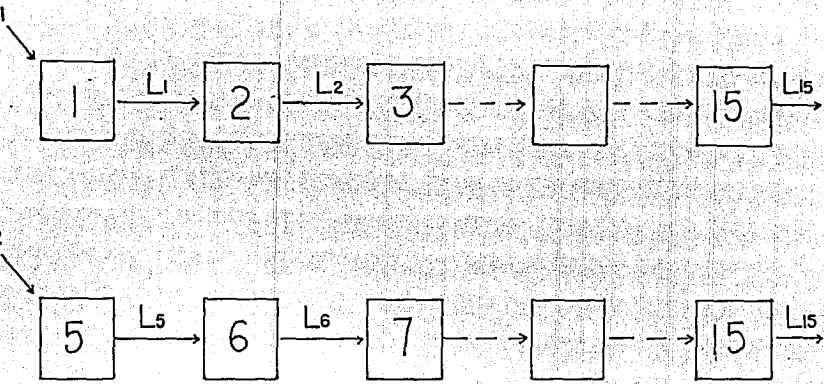


FIG. 4.2.1 ARREGLO LINEAL DE CAJAS NEGRAS ASOCIADO A LA 1a. Y 2a. RUTA DE ALIMENTACION DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS.

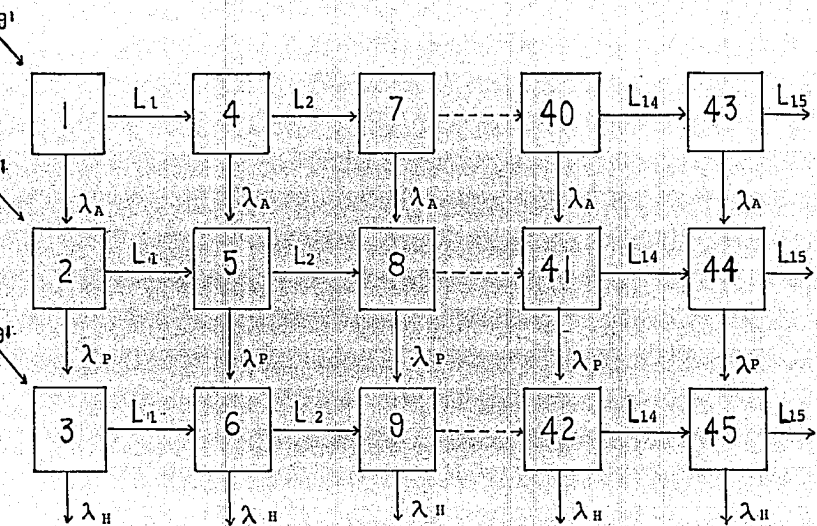


FIG. 4.2.3.1 ARREGLO DE CAJAS NEGRAS ASOCIADO A LA 1a. RUTA DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE GASES CONSIDERANDO LA CONTRIBUCION DE RADIONUCLIDOS ABUELO (λ_A), PADRE (λ_P), E HIJO (λ_H)

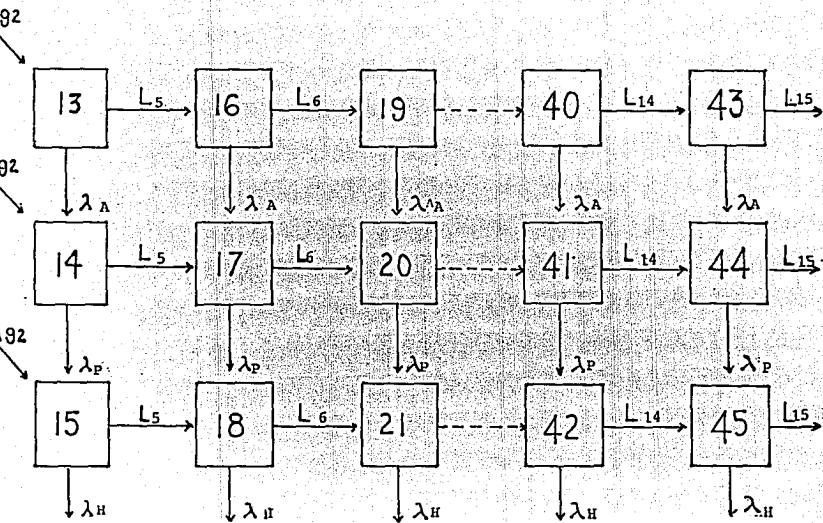


FIG. 4.2.3.2 ARREGLO DE CAJAS NEGRAS ASOCIADO A LA SEGUNDA RUTA DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE GASES CONSIDERANDO LA CONTRIBUCION DE LOS RADIONUCLIDO ABUELO (λ_A), PADRE (λ_P) E HIJO (λ_H).

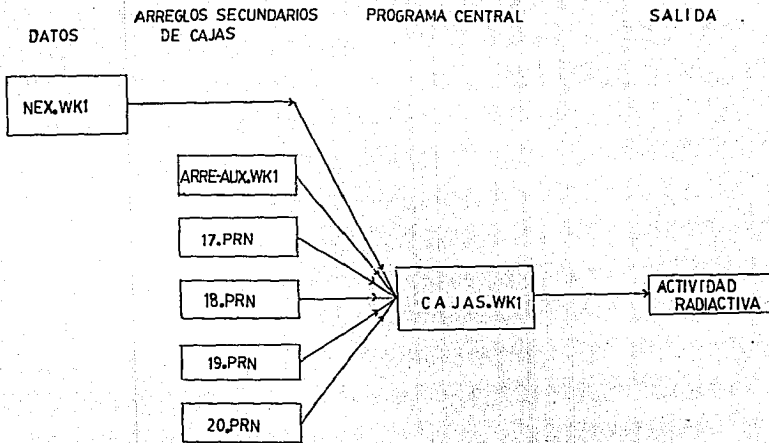


FIG. 4.2.4.1

DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROGRAMA PARA CALCULAR LA ACTIVIDAD RADIATIVA EN EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE GASES

Tabla 4.2.1.1 Número de caja negra asociada al componente del sistema

No. DE CAJA NEGRA	NOMBRE DEL COMPONENTE
1	TURBINA DE ALTA PRESION
2	SEPARADOR DE HUMEDAD
3	TURBINA DE BAJA PRESION
4	CONDENSADOR PRINCIPAL
5	CONDENSADOR DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS
6	PRIMER TANQUE DE DECAIMIENTO
7	SEGUNDO TANQUE DE DECAIMIENTO
8	PRE-FILTRO
9	SEPARADOR DE HUMEDAD
10	SECAIOR
11	PRIMERA CAMA DE CARBON ACTIVADO
12	SEGUNDA CAMA DE CARBON ACTIVADO
13	TERCERA CAMA DE CARBON ACTIVADO
14	CUARTA CAMA DE CARBON ACTIVADO
15	POST-FILTRO

Tabla 4.2.2.1 Factores de partici3n para los diferentes grupos de radionuclidos en los componentes del sistema procesamiento de gases.

No. DE CAJA NEGRA	KRIPTONES	XENONES	HALOGENOS	Cs,Rb	PRODUCTOS DE ACTIVACION	OTROS
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	0.2	0.2	0.1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	0.01	0.01	0.001	0.1
5	1	1	0.01	0.01	0.01	0.01
6	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	0.1	0.9	0.7	0.8
9	1	1	0.2	0.2	0.1	0.5
10	1	1	1	1	1	1
11	0.4	0.4	0.01	0.05	0.01	0.01
12	0.4	0.4	0.01	0.01	0.01	0.01
13	0.4	0.4	0.01	0.01	0.01	0.01
14	0.4	0.4	0.01	0.01	0.01	0.01
15	1	1	0.8	0.8	0.8	0.8

Tabla 4.2.3.1 Valores de entrada para realizar la modelación de la primera ruta de alimentación del sistema de procesamiento de desechos gaseosos.

RADIONUCLIDO	GENERADOR ($\mu\text{Ci}/\text{día}$)			LAMDA-HIJO W-HIJO (1/día)	LAM-PADRE W-PADRE (1/día)	LAM-ABUE (1/día)	W-ABUEO		
	HIJO	PADRE	ABUELO						
Br83→Kr83m	7.77E+07	5.60E+06	0.00E+00	9.09E+00	1.0	6.96E+00	1.000	0.00E+00	0.000
Br85→Kr85m	1.37E+08	2.65E+06	0.00E+00	3.71E+00	1.0	3.48E+02	0.998	0.00E+00	0.000
Br85→Kr85	0.00E+00	2.65E+06	0.00E+00	1.77E-04	1.0	3.48E+02	0.002	0.00E+00	0.000
Br85→Kr85m→Kr85	4.27E+05	1.37E+08	2.65E+06	1.77E-04	1.0	3.71E+00	0.211	3.48E+02	0.998
Kr87	4.70E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.31E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr88	4.70E+08	0.00E+00	0.00E+00	5.86E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr89	2.90E+09	0.00E+00	0.00E+00	3.16E+02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr90	6.40E+09	0.00E+00	0.00E+00	1.81E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr91	7.77E+09	0.00E+00	0.00E+00	5.99E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr92	7.77E+09	0.00E+00	0.00E+00	2.00E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr93	2.05E+09	0.00E+00	0.00E+00	2.99E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr94	5.04E+08	0.00E+00	0.00E+00	4.28E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr95	4.70E+07	0.00E+00	0.00E+00	7.49E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Te131m→I131→Xe131m	3.33E+05	4.35E+06	7.68E+03	5.85E-02	1.0	8.62E-02	0.011	5.54E-01	1.000
I133→Xe133m	6.40E+06	5.63E+07	0.00E+00	3.16E-01	1.0	8.00E-01	0.029	0.00E+00	0.000
I133→Xe133m→Xe133	1.79E+08	6.40E+06	5.63E+07	1.32E-01	1.0	3.16E-01	1.000	8.00E-01	0.029
I133→Xe133	0.00E+00	5.63E+07	0.00E+00	1.32E-01	1.0	8.00E-01	0.971	0.00E+00	0.000
I135→Xe135m	5.90E+08	5.36E+07	0.00E+00	6.50E+01	1.0	2.52E+00	0.165	0.00E+00	0.000
I135→Xe135m→Xe135	5.12E+08	5.98E+08	5.36E+07	1.83E+00	1.0	6.50E+01	1.000	2.52E+00	0.165
I135→Xe135	0.00E+00	5.36E+07	0.00E+00	1.83E+00	1.0	2.52E+00	0.835	0.00E+00	0.000
Xe137	3.33E+09	0.00E+00	0.00E+00	2.61E+02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe138	1.96E+09	0.00E+00	0.00E+00	7.06E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe139	6.40E+09	0.00E+00	0.00E+00	1.39E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe140	6.83E+09	0.00E+00	0.00E+00	3.74E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe141	5.55E+09	0.00E+00	0.00E+00	3.52E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe142	1.62E+09	0.00E+00	0.00E+00	3.99E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe143	2.73E+08	0.00E+00	0.00E+00	5.99E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe144	1.28E+07	0.00E+00	0.00E+00	5.99E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Br83	5.60E+06	0.00E+00	0.00E+00	6.96E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Br84	5.61E+06	0.00E+00	0.00E+00	3.14E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Br85	2.65E+06	0.00E+00	0.00E+00	3.48E+02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Te129m→Te129→I129	0.00E+00	0.00E+00	3.18E+03	1.21E-10	1.0	1.43E+01	1.000	2.06E-02	0.629
Te129m→I129	0.00E+00	3.18E+03	0.00E+00	1.21E-10	1.0	2.06E-02	0.371	0.00E+00	0.000
Te131m→Te131→I131	4.35E+06	0.00E+00	7.68E+03	8.62E-02	1.0	3.99E+01	1.000	5.54E-01	0.222
Te131m→I131	0.00E+00	7.68E+03	0.00E+00	8.62E-02	1.0	5.54E-01	0.778	0.00E+00	0.000
Te132→I132	5.58E+07	7.84E+02	0.00E+00	7.23E+00	1.0	2.13E-01	1.000	0.00E+00	0.000
I133	5.63E+07	0.00E+00	0.00E+00	8.00E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
I134	1.15E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.90E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
I135	5.36E+07	0.00E+00	0.00E+00	2.52E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Cs134	2.38E+03	0.00E+00	0.00E+00	9.21E-04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
I135→Xe135→Cs135	0.00E+00	5.12E+08	5.36E+07	8.28E-10	1.0	1.83E+00	1.000	2.52E+00	1.000
Cs136	1.58E+03	0.00E+00	0.00E+00	5.27E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe137→Cs137	6.36E+03	3.33E+09	0.00E+00	6.29E-05	1.0	2.61E+02	1.000	0.00E+00	0.000
Xe138→Cs138	5.49E+05	1.96E+09	0.00E+00	3.10E+01	1.0	7.06E+01	1.000	0.00E+00	0.000
Xe139→Cs139	0.00E+00	6.40E+09	0.00E+00	1.05E+02	1.0	1.39E+03	1.000	0.00E+00	0.000

Tabla 4.2.3.1 Valores de entrada para realizar la modelación de la primera ruta de alimentación del sistema de procesamiento de desechos gaseosos (cont.....).

RADIOMUCLIDO	GENERADOR ($\mu\text{Ci}/\text{día}$)			LAMBDA-HIJO (1/día)	M-HIJO	LAM-PADRE (1/día)	M-PADRE	LAM-ABUE (1/día)	M-ABUELO
	HIJO	PADRE	ABUELO						
Kr88--Rb88	0.00E+00	4.70E+08	0.00E+00	5.61E+01	1.0	5.82E+00	1.000	0.00E+00	0.000
Kr89--Rb89	2.69E+05	2.90E+09	0.00E+00	6.46E+01	1.0	1.81E+02	1.000	0.00E+00	0.000
Kr90--Rb90	0.00E+00	6.40E+09	0.00E+00	3.43E+02	1.0	1.81E+03	1.000	0.00E+00	0.000
H13	5.98E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
H16	4.27E+12	0.00E+00	0.00E+00	8.40E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
H17	1.71E+09	0.00E+00	0.00E+00	1.45E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
O19	1.71E+10	0.00E+00	0.00E+00	2.24E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
F18	3.42E+08	0.00E+00	0.00E+00	9.10E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Na24	8.54E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
P32	1.71E+04	0.00E+00	0.00E+00	4.65E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Cr51	5.12E+05	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Mn54	5.98E+03	0.00E+00	0.00E+00	2.22E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Mn56	4.27E+06	0.00E+00	0.00E+00	6.46E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Fe55	8.54E+04	0.00E+00	0.00E+00	7.03E-04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Fe59	2.56E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Co58	1.71E+04	0.00E+00	0.00E+00	9.79E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Co60	3.42E+04	0.00E+00	0.00E+00	3.60E-04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ni63	8.54E+01	0.00E+00	0.00E+00	1.90E-05	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ni65	2.56E+04	0.00E+00	0.00E+00	6.60E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Cu64	2.56E+06	0.00E+00	0.00E+00	1.31E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Zn65	1.71E+04	0.00E+00	0.00E+00	2.83E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Zn69	1.71E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.21E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ag110m	8.54E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.77E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
W187	2.56E+04	0.00E+00	0.00E+00	6.98E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr89-Rb89-Sr89	7.94E+03	2.69E+05	2.90E+09	1.37E-02	1.0	6.46E+01	1.000	3.16E+02	1.000
Kr90-Rb90m-Sr90	5.56E+02	0.00E+00	6.40E+09	6.64E-05	1.0	2.32E+02	1.000	1.85E+03	0.119
Kr90-Rb90-Sr90	0.00E+00	0.00E+00	6.40E+09	6.64E-05	1.0	3.81E+02	1.000	1.85E+03	0.821
Sr91	2.90E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.75E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr91--Sr91	0.00E+00	7.77E+09	0.00E+00	1.75E+00	1.0	5.99E+03	1.000	0.00E+00	0.000
Sr92	6.47E+05	0.00E+00	0.00E+00	6.14E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr92--Sr92	0.00E+00	7.77E+09	0.00E+00	6.14E+00	1.0	2.00E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Kr93--Sr93	0.00E+00	2.05E+09	0.00E+00	1.20E+02	1.0	2.99E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Kr94--Sr94	0.00E+00	5.04E+08	0.00E+00	7.13E+02	1.0	4.28E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Sr90--Y90	0.00E+00	5.56E+02	0.00E+00	2.60E-01	1.0	6.64E-05	1.000	0.00E+00	0.000
Kr91-Sr91-Y91m	0.00E+00	0.00E+00	7.77E+09	1.98E+01	1.0	1.72E+00	0.574	5.99E+03	1.000
Kr91-Sr91-Y91	0.00E+00	0.00E+00	7.77E+09	1.18E-02	1.0	1.75E+00	0.574	5.99E+03	1.000
Kr92-Sr92-Y92	0.00E+00	0.00E+00	7.77E+09	4.71E+00	1.0	6.14E+00	1.000	2.00E+04	1.000
Kr93-Sr93-Y93	0.00E+00	0.00E+00	2.05E+09	1.62E+00	1.0	1.20E+02	1.000	2.99E+04	1.000
Kr94-Sr94-Y94	0.00E+00	0.00E+00	5.04E+08	4.92E+01	1.0	7.30E+02	1.000	4.28E+04	1.000
Zr95-Hf95m-Hf95	6.35E+02	0.00E+00	6.14E+02	1.98E-02	1.0	1.92E-01	0.945	1.08E-02	0.068
Zr95--Hf95	0.00E+00	6.35E+02	0.00E+00	1.98E-02	1.0	1.08E-02	0.992	0.00E+00	0.000
Zr95	6.35E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr95--Zr95	0.00E+00	4.70E+07	0.00E+00	1.06E-02	1.0	7.49E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Kr95-Zr95-Hf95	0.00E+00	0.00E+00	4.70E+07	1.98E-02	1.0	1.06E-02	0.992	7.49E+04	1.000

Tabla 4.2.3.2 Valores de entrada para realizar la modelación de la segunda ruta de alimentación del sistema de procesamiento de desechos pesados.

RADIOISÓTOPO	GENERADOR (µCi/día)			LAMBDA-HIJO (1/día)	W-HIJO	LAM-PADRE (1/día)	W-PADRE	LAM-ABUE (1/día)	W-ABUELO
	HIJO	PADRE	ABUELO						
Br83-->Kr83m	1.39E+03	1.00E+02	0.00E+00	9.09E+00	1.0	6.98E+00	1.000	0.00E+00	0.000
Br85-->Kr85m	2.44E+03	4.74E+01	0.00E+00	3.71E+00	1.0	3.48E+02	0.993	0.00E+00	0.000
Br85-->Kr85	0.00E+00	4.74E+01	0.00E+00	1.77E-04	1.0	3.48E+02	0.002	0.00E+00	0.000
Br85-Kr85m-Kr85	7.63E+00	2.44E+03	4.74E+01	1.77E-04	1.0	3.71E+00	0.211	3.48E+02	0.993
Kr87	8.39E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.31E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr88	8.39E+03	0.00E+00	0.00E+00	5.86E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr89	5.19E+04	0.00E+00	0.00E+00	3.16E+02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr90	1.14E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.81E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr91	1.39E+05	0.00E+00	0.00E+00	5.99E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr92	1.39E+05	0.00E+00	0.00E+00	2.00E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr93	3.65E+04	0.00E+00	0.00E+00	2.99E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr94	9.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	4.28E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr95	8.39E+02	0.00E+00	0.00E+00	7.49E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Tel131m-I131-Xe131m	5.95E+00	7.01E+01	1.37E-01	5.85E-02	1.0	8.62E-02	0.011	5.54E-01	1.000
I131-->Xe135m	1.14E+02	1.07E+03	0.00E+00	3.16E-01	1.0	8.09E-01	0.029	0.00E+00	0.000
I133-Xe133m-Xe133	3.20E+03	1.14E+02	1.01E+03	1.32E-01	1.0	3.16E-01	1.000	8.09E-01	0.029
I133-->Xe133	0.00E+00	1.01E+03	0.00E+00	1.32E-01	1.0	8.09E-01	0.971	0.00E+00	0.000
I135-->Xe135m	1.07E+04	9.57E+02	0.00E+00	6.50E+01	1.0	2.52E+00	0.165	0.00E+00	0.000
I135-Xe135m-Xe135	9.15E+03	1.07E+04	9.57E+02	1.83E+00	1.0	6.50E+01	1.000	2.52E+00	0.165
I135-->Xe135	0.00E+00	9.57E+02	0.00E+00	1.83E+00	1.0	2.52E+00	0.835	0.00E+00	0.000
Xe137	5.95E+04	0.00E+00	0.00E+00	2.61E+02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe138	3.51E+04	0.00E+00	0.00E+00	7.06E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe139	1.14E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.39E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe140	1.22E+05	0.00E+00	0.00E+00	3.74E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe141	9.92E+04	0.00E+00	0.00E+00	3.52E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe142	2.90E+04	0.00E+00	0.00E+00	3.99E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe143	4.88E+03	0.00E+00	0.00E+00	5.99E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe144	2.29E+02	0.00E+00	0.00E+00	5.99E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Br83	1.00E+02	0.00E+00	0.00E+00	6.98E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Br84	1.00E+02	0.00E+00	0.00E+00	3.14E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Br85	4.74E+01	0.00E+00	0.00E+00	3.48E+02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Tel129m-Tel129-1129	0.00E+00	0.00E+00	5.67E-02	1.21E-10	1.0	1.43E+01	1.000	2.06E-02	0.629
Tel129m-->1129	0.00E+00	5.67E-02	0.00E+00	1.21E-10	1.0	2.06E-02	0.371	0.00E+00	0.000
Tel131m-Tel131-1131	7.78E+01	0.00E+00	1.37E-01	8.62E-02	1.0	3.99E+01	1.000	5.54E-01	0.222
Tel131m-->1131	0.00E+00	1.37E-01	0.00E+00	8.62E-02	1.0	5.54E-01	0.773	0.00E+00	0.000
Tel132-->1132	9.97E+02	1.40E-02	0.00E+00	7.23E+00	1.0	2.13E-01	1.000	0.00E+00	0.000
I133	1.01E+03	0.00E+00	0.00E+00	8.00E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
I134	2.06E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.90E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
I135	9.57E+02	0.00E+00	0.00E+00	2.52E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Cs134	4.26E-02	0.00E+00	0.00E+00	9.21E-04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
I135-Xe135-Cs135	0.00E+00	9.15E+03	9.57E+02	8.26E-10	1.0	1.83E+00	1.000	2.52E+00	1.000
Cs136	2.82E-02	0.00E+00	0.00E+00	5.27E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe137-->Cs137	1.14E-01	5.95E+04	0.00E+00	6.29E-05	1.0	2.61E+02	1.000	0.00E+00	0.000
Xe138-->Cs138	9.81E+00	3.51E+04	0.00E+00	3.10E+01	1.0	7.05E+01	1.000	0.00E+00	0.000
Xe139-->Cs139	0.00E+00	1.14E+05	0.00E+00	1.05E+02	1.0	1.39E+03	1.000	0.00E+00	0.000

Tabla 4.2.3.2 Valores de entrada para realizar la modelación de la segunda ruta de alimentación del sistema de procesamiento de desechos gaseosos (cont.....).

RADIONUCLIDO	GENERADOR (µCi/día)			LAMDA-HIJO W-HIJO (1/día)	LAM-PADRE W-PADRE (1/día)	LAM-ABUE W-ABUE (1/día)	W-ABUELO		
	HIJO	PADRE	ABUELO						
Kr88-->Rb88	0.00E+00	8.39E+03	0.00E+00	5.61E+01	1.0	5.88E+00	1.000	0.00E+00	0.000
Kr89-->Rb89	4.81E+00	5.19E+04	0.00E+00	6.46E+01	1.0	3.16E+02	1.000	0.00E+00	0.000
Kr90-->Rb90	0.00E+00	1.14E+05	0.00E+00	3.43E+02	1.0	1.81E+03	1.000	0.00E+00	0.000
N13	1.07E+04	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
N16	7.63E+07	0.00E+00	0.00E+00	8.40E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
N17	3.05E+04	0.00E+00	0.00E+00	1.45E+04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
O19	3.05E+05	0.00E+00	0.00E+00	2.24E+03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
F18	6.10E+03	0.00E+00	0.00E+00	9.10E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Na24	1.33E+01	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
P32	2.83E-01	0.00E+00	0.00E+00	4.85E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Cr51	8.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Mn54	9.94E-02	0.00E+00	0.00E+00	2.22E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Mn56	5.75E+01	0.00E+00	0.00E+00	6.46E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Fe55	1.42E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.03E-04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Fe59	4.26E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.55E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Co58	2.84E-01	0.00E+00	0.00E+00	9.79E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Co60	5.68E-01	0.00E+00	0.00E+00	3.60E-04	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ni63	1.42E-03	0.00E+00	0.00E+00	1.90E-05	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ni65	3.44E-01	0.00E+00	0.00E+00	6.60E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Cu64	3.98E+01	0.00E+00	0.00E+00	1.31E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Zn65	2.84E-01	0.00E+00	0.00E+00	2.83E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Zn69	2.65E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.21E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ag110m	1.42E-03	0.00E+00	0.00E+00	2.77E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
W187	4.08E-01	0.00E+00	0.00E+00	6.98E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr89-Rb89-Sr89	1.42E-01	4.81E+04	5.19E+04	1.37E-02	1.0	6.46E+01	1.000	3.16E+02	1.000
Kr90-Rb90m-Sr90	9.94E-03	0.00E+00	1.14E+05	6.64E-05	1.0	2.32E+02	1.000	1.85E+03	0.119
Kr90-Rb90-Sr90	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+05	6.64E-05	1.0	3.81E+02	1.000	1.85E+03	0.881
Sr91	5.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.75E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr91-->Sr91	0.00E+00	1.39E+05	0.00E+00	1.75E+00	1.0	5.99E+03	1.000	0.00E+00	0.000
Sr92	1.16E+01	0.00E+00	0.00E+00	6.14E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr92-->Sr92	0.00E+00	1.39E+05	0.00E+00	6.14E+00	1.0	2.00E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Kr93-->Sr93	0.00E+00	3.66E+04	0.00E+00	1.20E+02	1.0	2.97E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Kr94-->Sr94	0.00E+00	9.00E+03	0.00E+00	7.13E+02	1.0	4.28E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Sr90-->Y90	0.00E+00	9.94E-03	0.00E+00	2.60E-01	1.0	6.64E-05	1.000	0.00E+00	0.000
Kr91-Sr91-Y91m	0.00E+00	0.00E+00	1.39E+05	1.98E+01	1.0	1.72E+00	0.574	5.99E+03	1.000
Kr91-Sr91-Y91	0.00E+00	0.00E+00	1.39E+05	1.18E-02	1.0	1.75E+00	0.574	5.99E+03	1.000
Kr92-Sr92-Y92	0.00E+00	0.00E+00	1.39E+05	4.71E+00	1.0	6.14E+00	1.000	2.00E+04	1.000
Kr93-Sr93-Y93	0.00E+00	0.00E+00	3.66E+04	1.62E+00	1.0	1.20E+02	1.000	2.97E+04	1.000
Kr94-Sr94-Y94	0.00E+00	0.00E+00	9.00E+03	4.92E+01	1.0	7.39E+02	1.000	4.28E+04	1.000
Zr95-Hf95m-Hf95	1.13E-02	0.00E+00	1.14E-02	1.98E-02	1.0	1.92E-01	0.945	1.08E-02	0.008
Zr95-->Hf95	0.00E+00	1.14E-02	0.00E+00	1.98E-02	1.0	1.08E-02	0.992	0.00E+00	0.000
Zr95	1.14E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Kr95-->Zr95	0.00E+00	8.39E+02	0.00E+00	1.08E-02	1.0	7.49E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Kr95-Zr95-Hf95	0.00E+00	0.00E+00	8.39E+02	1.98E-02	1.0	1.08E-02	0.992	7.49E+04	1.000
Zr97	8.04E-03	0.00E+00	0.00E+00	9.84E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000

Tabla 4.2.3.2 Valores de entrada para realizar la modelación de la segunda ruta de alimentación del sistema de procesamiento de desechos gaseosos (cont.,.....).

RADIONUCLIDO	GENERADOR (Ci/día)			LAMBDA-HIJO (1/día)	M-HIJO	LAM-PADRE (1/día)	M-PADRE	LAM-ABUE (1/día)	M-ABUELO
	HIJO	PADRE	ABUELO						
Mo99	2.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.52E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Mo99-->Tc99m	2.50E+01	2.79E+00	0.00E+00	2.78E+00	1.0	2.52E-01	0.888	0.00E+00	0.000
Mo99	2.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.52E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Mo99-->Tc99m	2.50E+01	2.79E+00	0.00E+00	2.78E+00	1.0	2.52E-01	0.888	0.00E+00	0.000
Mo99-Tc99m-Tc99	0.00E+00	2.50E+01	2.79E+00	8.92E-09	1.0	2.78E+00	1.000	2.52E-01	0.888
Mo99-->Tc99	0.00E+00	2.79E+00	0.00E+00	8.92E-09	1.0	2.52E-01	0.114	0.00E+00	0.000
Ru103	2.84E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.78E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ru103-->Rh103	0.00E+00	2.84E-02	0.00E+00	1.78E+01	1.0	1.78E-02	0.997	0.00E+00	0.000
Ru105	2.43E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.75E+00	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ru105-->Rh105m	0.00E+00	2.43E+00	0.00E+00	1.33E+03	1.0	3.75E+00	0.245	0.00E+00	0.000
Ru105-Rh105m-Rh105	0.00E+00	0.00E+00	2.43E+00	4.70E-01	1.0	1.33E+03	1.000	3.75E+00	0.245
Ru105-->Rh105	0.00E+00	2.43E+00	0.00E+00	4.70E-01	1.0	3.75E+00	0.755	0.00E+00	0.000
Ru106	2.83E-03	0.00E+00	0.00E+00	1.88E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ru106-->Rh106	0.00E+00	2.83E-03	0.00E+00	2.00E+03	1.0	1.88E-03	1.000	0.00E+00	0.000
Aq110m-->Ag110	0.00E+00	1.42E-03	0.00E+00	2.44E+03	1.0	2.77E-03	0.013	0.00E+00	0.000
Te-129m	5.67E-02	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Te129m-->Te129	0.00E+00	5.67E-02	0.00E+00	1.43E+01	1.0	2.08E-02	0.829	0.00E+00	0.000
Te131m-->Te131	0.00E+00	1.37E-01	0.00E+00	3.99E+01	1.0	5.55E-01	0.222	0.00E+00	0.000
Te-131m	1.37E-01	0.00E+00	0.00E+00	5.55E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Te-132	1.40E-02	0.00E+00	0.00E+00	2.13E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe137-Cs137-Ba137m	0.00E+00	1.14E-01	5.95E+04	3.98E+02	1.0	6.29E-05	0.948	2.61E+02	1.000
Ba-137	1.08E+01	0.00E+00	0.00E+00	1.20E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe139-Cs139-Ba139	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+05	1.20E+01	1.0	1.05E+02	0.950	1.39E+03	1.000
Ba-140	5.66E-01	0.00E+00	0.00E+00	5.42E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe140-->Ba140	0.00E+00	1.22E+05	0.00E+00	5.42E-02	1.0	3.74E+03	1.000	0.00E+00	0.000
Ba-141	9.82E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.46E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Ba-142	5.80E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.33E+01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe142-->Ba142	0.00E+00	2.30E+04	0.00E+00	9.07E+01	1.0	3.99E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Ba141-La141-Ce141	4.25E-02	0.00E+00	9.82E+00	2.13E-02	1.0	4.22E+00	1.000	5.47E+01	1.000
Xe141-La141-Ce141	0.00E+00	0.00E+00	9.82E+04	2.13E-02	1.0	4.30E+00	1.000	3.52E+04	1.000
Ce143	4.13E-02	0.00E+00	0.00E+00	5.04E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe143-->Ce143	0.00E+00	4.88E+03	0.00E+00	5.04E-01	1.0	5.99E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Xe144-->Ce144	0.00E+00	2.29E+02	0.00E+00	2.44E-03	1.0	5.99E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Ce144	4.28E-03	0.00E+00	0.00E+00	2.44E-03	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Xe140-Ba140-La140	0.00E+00	0.00E+00	1.22E+05	4.16E-01	1.0	5.42E-02	1.000	3.74E+03	1.000
Ba141-->La141	0.00E+00	9.82E+00	0.00E+00	4.22E+00	1.0	5.46E+01	1.000	0.00E+00	0.000
Xe141-->La141	0.00E+00	9.82E+04	0.00E+00	4.22E+00	1.0	3.52E+04	1.000	0.00E+00	0.000
Xe142-Ba142-La142	0.00E+00	0.00E+00	2.90E+04	1.06E+01	1.0	9.07E+01	1.000	3.99E+04	1.000
Xe143-Ce143-Pr143	0.00E+00	0.00E+00	4.88E+03	5.10E-02	1.0	5.04E-01	1.000	5.99E+04	1.000
Xe144-Ce144-Pr144	0.00E+00	0.00E+00	2.29E+02	5.77E+01	1.0	2.44E-03	0.988	5.99E+04	1.000
Ce144-->Pr144m	0.00E+00	4.28E-03	0.00E+00	1.39E+02	1.0	2.44E-03	0.014	0.00E+00	0.000
Ce144-Pr144m-Pr144	0.00E+00	0.00E+00	4.28E-03	5.78E+01	1.0	1.39E+02	0.999	2.44E-03	0.014
Nd147	4.24E-03	0.00E+00	0.00E+00	6.31E-02	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000
Nd147-->Pm147	0.00E+00	4.24E-03	0.00E+00	7.24E-04	1.0	6.31E-02	1.000	0.00E+00	0.000
Nd147-Pm147-Sm147	0.00E+00	0.00E+00	4.24E-03	1.79E-14	1.0	7.24E-04	1.000	6.31E-02	1.000
W187-->Re187	0.00E+00	4.08E-01	0.00E+00	4.04E-14	1.0	6.29E-01	1.000	0.00E+00	0.000
Np239	1.11E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.94E-01	1.0	0.00E+00	0.000	0.00E+00	0.000

CAPITULO 5

ESCENARIOS DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS

Por el funcionamiento que tienen los componentes de un sistema de procesamiento de desechos gaseosos, se han seleccionado aquellos que son relevantes para que el sistema cumpla con la función de controlar y disminuir la actividad de los radionúclidos presentes en la corriente del gas de proceso, antes de que éstos puedan ser liberados al medio ambiente. Es importante también mencionar que un sistema de procesamiento de gases cumple su función de disminuir la actividad basado fundamentalmente en la retención y/o remoción de los radionúclidos, para que decaigan lo suficiente y/o se eliminen antes de ser liberados.

El tiempo de retardo que tienen los radionúclidos en el sistema de procesamiento de gases es afectado por parámetros como son la temperatura, flujo del gas de proceso, cantidad de tanques de decaimiento, cantidad de camas de carbón que presenta el sistema, entre otros.

Para este trabajo se ha establecido el uso de parámetros típicos de centrales nucleares EWR para conformar lo que será el caso BASICO y analizar la variación de la actividad a lo largo del sistema de procesamiento de gases, así como también el impacto que tiene su liberación al medio ambiente. Por otra parte, partiendo de este caso básico, se establecen variaciones en los parámetros que influyen en la actividad de los radionúclidos, como lo son el valor del flujo de proceso y el número de componentes que integran al sistema. De igual forma que para el caso básico, se analiza el impacto sobre el medio ambiente que tienen dichas variaciones. Así mismo se determinan los valores de dosis, cuando no existe sistema de procesamiento de desechos gaseosos y se realiza una comparación con los casos propuestos.

5.1 CASO BASICO

El sistema de procesamiento de gases se muestra en la figura 4.1.1, los componentes que integran este caso son los mencionados en la sección 4.1, entre los cuales destacan, el condensador principal, dos tanques de decaimiento de 10 minutos de retención cada uno, un prefiltro de alta eficiencia para partículas, un separador de humedad, cuatro camas de carbón activado y un postfiltro. Estos equipos son importantes para que el sistema efectúe en forma eficiente su función de disminución y remoción de actividad de los radionúclidos contenidos en el gas de proceso.

Como se mencionó en la sección 4.2.1, se establecen para este caso básico dos arreglos lineales uno para cada ruta de alimentación del sistema y se asigna una caja negra a cada uno de los componentes elegidos, teniéndose así los componentes mostrados en la tabla 5.1.1 para la primera ruta de alimentación del sistema y a partir de la caja 4 (condensador principal) para la segunda ruta. Así mismo se establecen las conexiones dentro de cada arreglo lineal y los valores de rapidez de transferencia (L), que se muestran en la tabla 5.1.2, caracterizando así a cada componente de este caso básico. Es conveniente mencionar que los valores de tiempo de retención y rapidez de transferencia se basan en un valor de 30 pies³/min para el flujo de alimentación del sistema a través del condensador principal.

Con el uso del programa de cómputo se realizan los cálculos para obtener la actividad para cada uno de los radionúclidos del inventario en los componentes del sistema por las dos rutas de alimentación.

El arreglo de cajas para las dos rutas, en este caso básico es mostrado a continuación:

RUTA	ARREGLO LINEAL
1	1-2-3-....-13-14-15
2	5-6-7-....-13-14-15

Se realizó el cálculo de actividad en cada una de las cajas en que se modeló el sistema de procesamiento de gases, utilizando la metodología de cajas negras descrita en la sección 3.1, tomando en cuenta para el cálculo las dos rutas de alimentación del sistema.

Para mostrar la efectividad de la función de los componentes del sistema de reducir la actividad, se calculó la rapidez de actividad ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) para cada una de las cajas, como el producto de la actividad radiactiva y la rapidez de transferencia (L). Este parámetro, así definido, resulta de utilidad debido a que es independiente de las dimensiones del componente del sistema, y además permite mostrar la variación de la actividad con respecto al tiempo a lo largo de las cajas del sistema.

Los valores obtenidos para cada una de las rutas de alimentación se muestran en las tablas 5.1.3 y 5.1.4. Los resultados mostrados en estas tablas se hacen para cada radionúclido en cada uno de los distintos componentes del sistema. En la tabla 5.1.4, correspondiente a la segunda ruta de alimentación se hace la aclaración de que solo existen resultados a partir de la caja 5 debido a que en la modelación de la segunda ruta se escogió como primera caja a la número 5.

En la tabla 5.1.5, se muestra el total de rapidez de actividad para cada radionúclido involucrado a lo largo de todos los

componentes, dado por la suma de los resultados por las dos rutas de alimentación.

En la tabla 5.1.6 se muestra la rapidez de actividad por grupo de radionúclidos para este caso básico, con un flujo del gas de proceso de 30 pies³/min, cuatro camas de carbón activado y dos tanques de decaimiento entre las características que diferencian los 4 casos en estudio.

Con el uso de los resultados para la última caja (15) del sistema, se determinó la cantidad de actividad (μ Ci) liberada en un año por la operación de la planta nuclear, considerando que el sistema de procesamiento libera a los gases con una rapidez de actividad constante. En la tabla 5.1.7 se muestra la actividad total liberada en un año para este caso básico.

Utilizando los valores de actividad total liberada al medio ambiente y los valores típicos para los factores de conversión de dosis para las rutas de inhalación e ingestión, factores de dilución de la concentración radiactiva en el medio ambiente, factores por depósito en el suelo, y todos los demás factores necesarios para el cálculo de dosis, tomados del NUREG-0133 ²⁶ y de la Guía Reguladora 1.109 ²⁸ se procedió a calcular la dosis como se establece en la metodología descrita en la sección 4.3. En la tabla 5.1.8 se muestran para cada radionúclido los resultados de dosis por gammas y betas debido a gases nobles y la dosis total producida por las rutas de inhalación, por exposición de radionúclidos depositados en el suelo, por ingestión de vegetales y por ingestión de otros alimentos de las rutas PASTO-VACA-LECHE y PASTO-VACA-CARNE.

En la tabla 5.1.9 se muestra la dosis total recibida por gammas y betas para los gases nobles y así como para los radionúclidos distintos a los gases nobles, para el caso básico. Los resultados en esta tabla se muestran para los grupos de radionúclidos, incluyéndose el total de la dosis recibida por cada una de las rutas de exposición.

5.2 VARIACION DEL FLUJO DEL GAS DE PROCESO

La variación del flujo del gas de proceso tiene como consecuencia un cambio en el tiempo de retención de los radionúclidos en cada componente del sistema, esto se debe a que entre mayor velocidad adquieren los radionúclidos en el proceso menor es el tiempo que permanecen en un componente, por lo que se espera que la actividad aumente con el aumento del valor del flujo. Por esta variación en el flujo, los factores de rapidez de transferencia (L) se ven afectados con respecto a los correspondientes al caso básico, sin embargo, los componentes para esta variación son los mismos que para el caso básico (tabla 5.2.1).

En este caso se ha establecido la variación en el flujo del gas de proceso que alimenta al sistema de procesamiento de gases, dichas variaciones se realizan con valores de 20, 30, 40 y 50 pies³/min modificando con esto la rapidez de transferencia (L) en las cajas negras así como también los tiempos de retención (T) en ellas y sus respectivos factores de remoción total (K_i), sin embargo los demás parámetros permanecen igual a los del caso básico, como son el número de tanques de decaimiento y de camas de carbón activado.

Debido a que la modificación se realiza en el valor de flujo del gas que alimenta al sistema de procesamiento de gases a través del condensador principal (caja 4) solo se realizan los cambios a partir de la caja negra asignada a este componente en adelante.

En la tabla 5.2.2 se muestra la rapidez de transferencia (L) de cada caja negra dependiendo del valor del flujo. Para esta variación en el flujo del sistema solo se mostrarán los cálculos de actividad en la salida del sistema (caja 15) para así determinar el impacto ambiental.

Al igual que para el caso básico se calcula la rapidez de actividad para el último componente (caja 15) con la variación de flujo, dichos valores son mostrados por radionúclido en las columnas 2, 3, 4 y 5 de la tabla 5.1.6 correspondiente a los valores de flujo de 20, 30, 40 y 50 pies³/min respectivamente. Con estos valores se calcula la actividad total liberada durante un año de operación de la planta nuclear y se muestra por grupos de radionúclidos en las columnas 2, 3, 4, y 5 de la tabla 5.1.7.

Con dichos valores de actividad integrada en un año, se procedió a calcular la dosis como se establece en la metodología descrita en la sección 4.3, para cada uno de los valores de flujo propuestos.

Los valores de dosis por grupos de radionúclidos debido a gammas y betas para gases nobles, así como por los radionúclidos distintos a los gases nobles, se muestra en las tablas 5.2.3, 5.2.4 y 5.2.5 para los flujos de 20, 40 y 50 pies³/min respectivamente. Los resultados de dosis para 30 pies³/min son los correspondientes para el caso básico (tabla 5.1.9). Estas tablas muestran la suma de la dosis por rutas de inhalación, por ingestión de vegetales, por exposición de suelo contaminado, por ingestión de carne y leche de las rutas PASTO-VACA-CARNE y PASTO-VACA-LECHE .

5.3 VARIACION DE CAMAS DE CARBON ACTIVADO

En el caso básico se utilizan 4 camas de carbón activado, con una masa de 6000 libras en cada una de ellas, como estas camas tienen la función principal de retener a los gases nobles y el tiempo de retención es proporcional a la masa de carbón, se propone realizar un cambio en el número de camas de carbón del caso básico, con la finalidad de determinar el impacto ambiental, calculando la actividad radiactiva en el último componente del sistema. Para esta parte se sugiere utilizar 2, 3, 4 y 5 camas de carbón modificando el arreglo de cajas negras, manteniendo el número de tanques de decaimiento y el valor de flujo de proceso iguales a los del caso básico. En la tabla 5.3.1 se indica el nombre del componente del sistema y la caja asociada en cada uno de los casos propuestos para considerar la variación del número de camas de carbón en el sistema, quedando los arreglos lineales de la siguiente manera:

1.- Sistema con 2 camas de carbón activado

RUTA	ARREGLO LINEAL DE CAJAS
1a.	1-2-3-.....-11-12-13
2a.	5-6-7-.....-11-12-13

2.- Sistema con 3 camas de carbón activado

RUTA	ARREGLO LINEAL DE CAJAS
1a.	1-2-3-.....-12-13-14
2a.	5-6-7-.....-12-13-14

3.- Sistema con 4 camas de carbón activado (caso básico)

RUTA	ARREGLO LINEAL DE CAJAS
1a.	1-2-3-.....-13-14-15
2a.	5-6-7-.....-13-14-15

4.- Sistema con 5 camas de carbón activado

RUTA	ARREGLO LINEAL DE CAJAS
1a.	1-2-3-.....-15-16
2a.	5-6-7-.....-15-16

Debido a que en esta variación solo se modifica el número de componentes (camas de carbón), la rapidez de transferencia (L) será la misma en cada componente del sistema a las correspondientes del caso básico, modificando solamente la correspondiente a la cama de carbón que se agregue o se elimine. Dichos valores de L se muestran en la tabla 5.3.2 dependiendo del número de camas de carbón que presente el sistema.

Con la variación del número de camas de carbón que presenta el sistema de procesamiento de gases, se ha calculado la rapidez de actividad ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) en la salida del sistema de procesamiento de desechos gaseosos y los valores se muestran en las columnas 6, 7, 8 y 9 de la tabla 5.1.6 correspondiendo al sistema con 2, 3, 4 y 5 camas de carbón activado. Con estos valores se calcula la actividad integrada durante un año de la operación de la planta nuclear y los valores se muestran por grupos de radionúclidos en las columnas 6, 7, 8 y 9 de la tabla 5.1.7. Para estos casos se ha mantenido el

flujo del gas de proceso en un valor de 30 pies³/min. Con los valores de actividad integrada para cada uno de los casos y siguiendo la metodología de la sección 4.3, se calculó la dosis anual como lo establecen las guías numéricas. La dosis anual para los gases nobles debido a gammas y betas, así como para otros radionúclidos distintos a los gases nobles para las diferentes rutas de exposición. En las tablas 5.3.3, 5.3.4 y 5.3.5 se muestran los valores correspondientes a la dosis cuando el sistema tiene 2, 3 ó 5 camas de carbón respectivamente. La dosis por radionúclidos distintos a los gases nobles es la suma debida a todas las rutas por inhalación, por depósito en el suelo y por ingestión de leche, carne y vegetales. Cuando el sistema presenta 4 camas de carbón los resultados obtenidos en el caso básico se muestran en la tabla 5.1.9.

5.4 VARIACION DE TANQUES DE DECAIMIENTO

El aumento del número de tanques de decaimiento permite reducir o eliminar la actividad de los radionúclidos de vida media muy corta, del orden de segundos o pocos minutos como O^{19} , N^{13} , N^{16} y N^{17} entre otros. La función de estos tanques es solo dar un tiempo de retención para lograr el decaimiento de los radionúclidos teniendo para cada tanque de decaimiento 10 minutos de retención. En la variación del número de tanques se han considerado 1, 2 (caso básico) y 4 tanques de decaimiento, manteniendo el número de camas de carbón activado y el valor del flujo de proceso iguales a los del caso básico. Para incluir esta variación en la modelación del sistema se modifica el número de cajas asociadas a los componentes (tabla 5.4.1). En el caso de tener 4 tanques de decaimiento se ha considerado que estos se encuentran en serie, lo que permite modelar al sistema con las mismas componentes del caso básico y solamente modificar el tiempo de retención en las cajas asociadas a los tanques de decaimiento, teniendo entonces 20 minutos de retención en cada una de las cajas 6 y 7, porque cada una de ellas en realidad representa a dos tanques de decaimiento.

Debido a que solo cambia el número de tanques de decaimiento en el sistema, los demás parámetros se mantienen igual a los del caso básico, por lo que la rapidez de transferencia (L) para los componentes será la misma que en el caso básico, modificando solo los correspondientes al componente que se agregue o se elimine (tabla 5.4.2)

Al igual que en el caso anterior solo es calculada la rapidez de actividad para cada grupo de radionúclidos en la última caja del sistema, la cual es mostrada en las columnas 10, 11 y 12 de la tabla 5.1.6 para cuando el sistema tiene 1, 2 ó 4 tanques de decaimiento respectivamente.

Con el uso de la rapidez de actividad se calcula para cada

uno de los casos propuestos, la actividad liberada por el sistema, integrada a lo largo de un año por la operación de la Planta Nuclear. En las columnas 10, 11 y 12 de la tabla 5.1.7 se muestra la actividad integrada en un año por grupo de radionúclidos y para cada número de tanques de decaimiento en el sistema.

Con el uso de la actividad integrada en un año se calcula la dosis anual para los gases nobles debido a gammas y betas así como la dosis total correspondiente a las diferentes rutas de contaminación por inhalación, por ingestión de vegetales, carne (ruta PASTO-VACA-CARNE) y leche (ruta PASTO-VACA-LECHE) y por depósito en el suelo como lo establecen las guías reguladoras (ver sección 4.3).

En las tablas 5.4.3 y 5.4.4 se muestran los resultados de dosis anual por grupo de radionúclidos cuando el sistema presenta 1 y 4 tanques de decaimiento respectivamente. La dosis producida por la liberación del sistema cuando presenta 2 tanques de decaimiento corresponde al caso básico y se muestra en la tabla 5.1.9.

5.5 RADIONUCLIDOS PRECURSORES

Solamente para el caso básico se presentan los resultados de la contribución a la rapidez de actividad por los radionúclidos precursores. Dichos resultados se presentan a lo largo de todos los componentes del sistema.

En la tabla 5.5.1 se muestra la contribución a la rapidez de actividad por los radionúclidos padres y en la tabla 5.5.2 se muestra la correspondiente a la contribución de los radionúclidos abuelos en cada uno de los componentes del sistema de procesamiento de desechos gaseosos. El radionúclido mostrado en estas tablas corresponde al radionúclido hijo, el cual tiene por incremento en su rapidez de actividad al mostrado en dichas tablas.

En la tabla 5.5.3 se muestra el porcentaje de contribución por grupos de radionúclidos padres, calculado como la razón de la rapidez de actividad generada por ellos a la rapidez de actividad total del mismo grupo incluyendo la contribución de los radionúclidos hijos. Dichos valores son calculados a lo largo de todo el sistema.

Así mismo, es calculada la contribución de la rapidez de actividad de cada radionúclido padre a la rapidez de actividad total de todos los radionúclidos, a lo largo de todo el sistema de procesamiento de desechos gaseosos y dichos valores se muestran en la tabla 5.5.4.

En la tabla 5.5.5 se muestran los valores correspondientes al porcentaje de contribución del grupo de los radionúclidos abuelos, calculada como la razón de la rapidez de actividad generada por ellos a la rapidez de actividad total del mismo grupo incluyendo la contribución de los radionúclidos hijos y en la tabla 5.5.6 se muestra la contribución de la rapidez de actividad de cada radionúclido abuelo a la rapidez de actividad total de todos los radionúclidos.

Con los valores mostrados de rapidez de actividad de los radionúclidos precursores se calculó la actividad integrada durante un año de operación de la Planta Nuclear y con esto la dosis por todas las rutas como se especifica en la sección 4.3. Dichos valores de dosis se muestran en las tablas 5.5.7 y 5.5.8 correspondientes a las contribuciones por los radionúclidos padres y abuelos respectivamente.

5.6 ELIMINACION DEL SISTEMA

Para determinar la efectividad que tiene el sistema de procesamiento de desechos gaseosos sobre la liberación se calculará el impacto que se tiene cuando no existe dicho sistema. En esta parte se modela al arreglo de componentes considerando solamente aquellos necesarios para realizar las funciones de generación de energía eléctrica. De los componentes utilizados en los casos anteriores se toman en cuenta desde la turbina de alta presión (caja 1) hasta el condensador principal (caja 4) y de aquí se postulará la liberación de material radiactivo.

La modelación de los componentes tiene el siguiente arreglo lineal:

RUTA	ARREGLO LINEAL DE CAJAS
1	1-2-3-4

Con este arreglo se calcula la dosis anual como los establecen las guías numéricas. La dosis anual por los gases nobles debido a gammas y betas así como para otros radionúclidos distintos a los gases nobles para las diferentes rutas de exposición es mostrada en la tabla 5.6.1.

6.1 RAPIDEZ DE ACTIVIDAD DE LOS RADIONUCLIDOS EN EL PROCESO DE DESECHOS GASEOSOS.

6.1.1 CASO BASICO

De los resultados obtenidos de rapidez de actividad para la primera ruta (tabla 5.1.3) y segunda ruta (tabla 5.1.4) de alimentación del sistema de procesamiento de desechos gaseosos para el caso básico, se observa que la contribución por la segunda ruta de alimentación al sistema no es significativa respecto a los resultados por la primera ruta; esto se debe principalmente a que los valores de rapidez de actividad inicial difieren considerablemente para cada una de las rutas de alimentación del sistema (ver tablas 4.2.3.1 y 4.2.3.2).

No obstante lo anterior, los resultados de rapidez de actividad por cada ruta de alimentación se suman para obtener la rapidez de actividad total. En la tabla 6.1.1 se muestra esta rapidez de actividad total por grupos de radionúclidos a lo largo del sistema, es decir, en cada uno de los componentes. Se observa que los grupos de Kriptones y Xenones son los que más contribuyen a la rapidez de actividad total en todos los componentes del sistema, a excepción del grupo de Nitrógenos y Oxígenos, los cuales presentan 2 órdenes de magnitud mayor que los Kriptones y Xenones, éste sucede solamente durante los 3 primeros componentes del sistema.

La rapidez de actividad de los Kriptones comparada con la de los Xenones en la mayoría de los componentes es similar, por lo que se denominará de aquí en adelante a estos dos como el grupo de gases nobles y específicamente a cada uno de ellos cuando sea pertinente.

Tabla 5.1.1 Número de caja negra asociada al componente del sistema para el caso básico.

No. DE CAJA NEGRA	NOMBRE DEL COMPONENTE
1	TURBINA DE ALTA PRESION
2	SEPARADOR DE HUMEDAD
3	TURBINA DE BAJA PRESION
4	CONDENSADOR PRINCIPAL
5	CONDENSADOR DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS
6	PRIMER TANQUE DE DECAIMIENTO
7	SEGUNDO TANQUE DE DECAIMIENTO
8	PRE-FILTRO
9	SEPARADOR DE HUMEDAD
10	SECADOR
11	PRIMERA CAMA DE CARBON ACTIVADO
12	SEGUNDA CAMA DE CARBON ACTIVADO
13	TERCERA CAMA DE CARBON ACTIVADO
14	CUARTA CAMA DE CARBON ACTIVADO
15	POST-FILTRO

Tabla 5.1.2 Rapidez de transferencia (L) para cada componente del sistema el caso básico.

Número de caja	L (1/seg)
1	4.24E+00
2	5.27E-02
3	3.95E+00
4	3.94E-04
5	3.94E-02
6	3.00E-03
7	3.00E-03
8	1.25E+00
9	2.78E+00
10	8.78E-02
11	1.06E-02
12	1.06E-02
13	1.06E-02
14	1.06E-02
15	6.79E-01

Tabla 5.1.3 Rapidez de actividad (pCi/seg) para la ruta del caso básico en los diferentes componentes del sistema de procesamiento de gases.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
985	8.13E+02	7.11E+02	5.61E+02	4.45E+02	4.43E+02	4.16E+02	3.91E+02	3.89E+02	3.88E+02	3.88E+02	4.58E+01	2.16E+00	1.03E-01	4.87E-03	1.94E-03
985	1.43E+03	1.25E+03	9.88E+02	8.93E+02	8.91E+02	8.80E+02	8.46E+02	8.45E+02	8.43E+02	8.44E+02	3.53E+02	5.89E+01	9.85E+00	1.65E+00	6.58E-01
985	4.44E+00	3.92E+00	3.09E+00	3.09E+00	3.10E+00	3.08E+00	3.09E+00	3.10E+00	3.11E+00	3.10E+00	3.10E+00	1.24E+00	4.95E-01	1.98E-01	7.95E-02
987	4.91E+03	4.30E+03	3.39E+03	2.45E+03	2.44E+03	2.23E+03	2.03E+03	2.03E+03	2.02E+03	2.02E+03	9.30E+01	1.72E+00	3.17E-02	5.85E-04	2.34E-04
988	4.91E+03	4.31E+03	3.40E+03	2.90E+03	2.89E+03	2.78E+03	2.67E+03	2.66E+03	2.66E+03	2.65E+03	6.70E+02	6.75E+01	6.81E+00	6.88E-01	2.75E-01
989	3.03E+04	2.51E+04	1.98E+04	1.92E+03	1.73E+03	2.84E+02	4.58E+01	4.21E+01	4.00E+01	3.80E+01	2.19E-31	5.06E-64	1.17E-96	0.00E+00	0.00E+00
989	6.65E+04	4.34E+04	3.41E+04	6.26E+02	3.75E+02	1.40E-01	5.13E-05	3.15E-05	2.60E-05	1.76E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
990	8.00E+04	3.26E+04	2.54E+04	1.43E+02	3.88E+01	7.63E-09	1.46E-18	2.93E-19	1.54E-19	4.86E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
992	7.75E+04	1.40E+04	1.06E+04	1.80E+01	9.78E-01	2.26E-30	5.10E-60	2.40E-62	2.83E-63	1.16E-64	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
993	1.99E+04	2.59E+03	1.91E+03	2.16E+00	5.03E-02	1.60E-45	2.12E-89	6.91E-93	2.80E-94	3.27E-96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
994	4.78E+03	4.52E+02	3.25E+02	2.58E-01	2.29E-03	4.80E-65	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
995	4.14E+02	2.38E+01	1.58E+01	7.20E-03	7.60E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9131	3.48E+00	3.08E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	1.76E+00	5.14E-01	1.50E-01	4.39E-02	1.76E-02
9133	6.69E+01	5.90E+01	4.62E+01	4.61E+01	4.59E+01	4.58E+01	4.58E+01	4.58E+01	4.58E+01	4.58E+01	6.39E+00	6.16E-01	4.53E-02	3.32E-03	1.32E-03
9133	1.88E+03	1.64E+03	1.30E+03	1.25E+03	1.29E+03	1.29E+03	1.29E+03	1.29E+03	1.29E+03	1.29E+03	6.36E+02	1.25E+02	2.47E+01	4.87E+00	1.94E+00
9135	6.28E+03	5.43E+03	4.27E+03	1.40E+03	1.45E+03	9.40E+02	6.07E+02	5.98E+02	5.94E+02	5.85E+02	4.20E+00	1.43E+00	4.91E-01	1.68E-01	6.70E-02
9135	5.38E+03	4.70E+03	3.71E+03	3.60E+03	3.60E+03	3.53E+03	3.50E+03	3.49E+03	3.49E+03	3.49E+03	8.22E-01	2.06E-01	8.26E-02	5.34E-02	1.34E-02
9137	3.48E+04	2.91E+04	2.30E+04	2.65E+03	2.43E+03	5.27E+02	1.12E+02	1.02E+02	1.02E+02	9.97E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9138	2.05E+04	1.70E+04	1.40E+04	4.57E+03	4.43E+03	2.79E+03	1.74E+03	1.70E+03	1.69E+03	1.67E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9139	6.69E+04	4.62E+04	3.64E+04	8.66E+02	5.74E+02	1.04E+00	1.85E-03	1.20E-03	1.10E-03	8.13E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9140	7.07E+04	3.61E+04	2.83E+04	2.54E+02	1.01E+02	4.10E-05	1.62E-11	5.93E-12	3.97E-12	1.86E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9141	5.33E+04	6.01E+04	4.39E+04	4.25E+00	6.53E-02	5.24E-53	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9142	1.54E+04	1.56E+03	1.13E+03	9.60E-01	1.05E-02	2.20E-60	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9143	2.49E+03	1.74E+02	1.21E+02	6.85E-02	1.90E-04	4.85E-99	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9144	1.17E+02	8.17E+00	5.65E+00	3.21E-03	8.91E-06	2.26E-91	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
983	5.84E+01	5.13E+01	8.10E+00	6.73E+00	6.69E-02	6.38E-04	6.10E-04	6.08E-04	6.07E-05	1.21E-05	1.20E-06	1.20E-09	1.19E-12	1.19E-15	1.19E-17
984	5.84E+01	5.11E+01	8.06E+00	4.21E+00	4.16E-02	3.35E-04	2.69E-04	2.68E-04	1.66E-06	5.29E-06	5.13E-07	4.97E-10	4.81E-13	4.67E-16	4.65E-18
985	2.77E+01	2.20E+01	3.60E+00	3.20E-01	2.86E-03	3.98E-06	5.51E-07	5.01E-07	4.83E-08	8.96E-09	6.48E-10	4.71E-13	3.43E-16	2.50E-19	2.37E-21
31	4.53E+01	3.99E+01	6.28E+00	6.30E+00	6.30E-02	6.29E-04	6.27E-04	6.26E-04	6.27E-05	1.26E-05	1.25E-06	1.30E-09	1.37E-12	1.01E-14	1.01E-16
32	5.84E+02	5.12E+02	8.06E+01	6.65E+01	6.65E-01	6.32E-03	6.01E-03	5.99E-03	5.99E-04	1.19E-04	1.19E-05	1.23E-08	1.80E-11	9.13E-14	9.17E-16
33	5.88E+02	5.17E+02	8.18E+01	7.99E+01	7.96E-01	7.93E-03	7.88E-03	7.89E-03	7.88E-04	1.58E-04	1.58E-05	1.58E-08	1.59E-11	1.59E-14	1.59E-16
34	1.21E+03	1.05E+03	1.67E+02	1.07E+02	1.06E+00	9.31E-03	8.17E-03	8.11E-03	8.10E-04	1.62E-04	1.58E-05	1.56E-08	1.52E-11	1.50E-14	1.49E-16
35	5.59E+02	4.92E+02	7.75E+01	7.24E+01	7.21E-01	7.10E-03	6.97E-03	6.96E-03	6.96E-04	1.40E-04	1.39E-05	1.39E-08	1.39E-11	1.39E-14	1.39E-16
9137	6.65E-02	5.85E-02	9.29E-03	1.42E-02	1.88E-04	1.29E-04	8.46E-05	7.93E-05	6.96E-05	1.44E-05	1.66E-07	8.29E-09	8.29E-11	8.30E-13	8.29E-15
9138	7.32E+00	1.12E+02	1.87E+01	2.18E+03	1.81E+01	2.99E+02	4.02E+02	3.96E+02	3.95E+02	7.48E+01	4.56E-06	2.21E-07	2.13E-09	2.07E-11	2.06E-13
9139	1.73E+01	9.33E+02	1.56E+02	6.93E+02	2.34E+01	3.02E-01	3.03E-03	2.11E-03	1.64E-03	2.95E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

5.1.3 Rapidez de actividad ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) para la 1a. ruta del caso básico en los diferentes componentes del sistema de procesamiento de gases (cont.....).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6.81E-01	4.66E+01	7.02E+00	1.81E+03	6.45E+01	4.94E+02	8.84E+02	8.83E+02	7.93E+02	1.77E+02	8.12E+01	4.07E+00	4.04E-01	4.02E-02	6.64E-04	
7.66E+00	3.16E+02	5.30E+01	1.28E+03	4.43E+01	5.69E+01	2.59E+01	2.37E+01	2.08E+01	4.32E+00	8.84E-07	4.12E-08	3.85E-10	3.60E-12	3.57E-14	
5.63E+01	2.73E+03	4.50E+02	6.10E+02	3.92E+01	8.05E-02	1.32E-04	8.23E-05	6.13E-05	1.06E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
6.26E+03	5.38E+03	4.23E+02	1.08E+02	1.04E-01	5.45E-04	2.83E-04	2.76E-04	1.91E-04	1.87E-05	1.87E-06	1.88E-09	1.88E-12	1.90E-15	1.87E-17	
4.36E+07	1.46E+07	1.13E+06	4.57E+03	8.75E-01	5.54E-16	3.41E-29	3.56E-30	1.02E-30	2.16E-32	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
1.72E+04	3.99E+03	3.05E+02	7.12E-01	6.65E-05	8.32E-29	1.01E-50	2.06E-32	3.08E-53	2.64E-55	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
1.77E+05	1.09E+05	8.54E+03	1.28E+02	6.93E-02	5.54E-08	4.32E-12	2.38E-12	1.31E-12	8.14E-12	1.08E-35	1.46E-59	1.98E-83	0.60E+00	0.00E+00	
3.57E+03	3.13E+03	2.47E+02	1.95E+02	1.94E-01	1.82E-03	1.71E-03	1.70E-03	1.19E-03	1.19E-04	9.65E-05	7.82E-07	6.35E-09	5.16E-11	5.11E-13	
8.93E+00	7.85E+00	6.20E-01	5.98E-01	5.98E-04	5.93E-06	5.89E-06	5.89E-06	4.13E-06	4.13E-07	4.02E-07	3.92E-09	3.82E-11	3.72E-13	3.72E-15	
1.79E-01	1.57E+01	1.24E-02	1.24E-02	1.24E-05	1.24E-07	1.23E-07	1.24E-07	8.65E-08	8.65E-09	8.64E-09	8.63E-11	8.61E-13	8.61E-15	8.63E-17	
5.38E+00	4.70E+00	3.71E-01	3.71E-01	3.71E-04	3.71E-06	3.70E-06	3.71E-06	2.60E-06	2.60E-07	2.59E-07	2.60E-09	2.59E-11	2.59E-13	2.59E-15	
6.26E-02	5.48E-02	4.35E-03	4.35E-03	4.32E-06	4.34E-08	4.35E-08	4.33E-08	3.02E-08	3.03E-09	3.03E-09	3.03E-11	3.03E-13	3.03E-15	3.03E-17	
4.44E+01	3.92E+01	3.09E+00	2.60E+00	2.59E-03	2.48E-05	2.37E-05	2.34E-05	1.65E-05	1.65E-06	1.42E-06	1.23E-08	9.87E-11	9.10E-13	9.10E-15	
8.93E-01	7.85E-01	6.20E-02	6.18E-02	6.18E-05	6.20E-07	6.18E-07	6.19E-07	4.33E-07	4.33E-08	4.33E-08	4.34E-10	4.33E-12	4.33E-14	4.33E-16	
2.68E-02	2.35E-02	1.86E-03	1.85E-03	1.86E-06	1.86E-08	1.86E-08	1.85E-08	1.30E-08	1.30E-09	1.30E-09	1.29E-11	1.30E-13	1.30E-15	1.30E-17	
1.79E-01	1.57E-01	1.24E-02	1.24E-02	1.24E-05	1.24E-07	1.24E-07	1.24E-07	8.65E-08	8.66E-09	8.66E-09	8.66E-11	8.66E-13	8.65E-15	8.63E-17	
3.57E-01	3.14E-01	2.47E-02	2.48E-02	2.47E-05	2.48E-07	2.48E-07	2.48E-07	1.73E-07	1.73E-08	1.74E-08	1.73E-10	1.74E-12	1.74E-14	1.73E-16	
8.93E-04	7.85E-04	6.20E-05	6.18E-05	6.18E-08	6.20E-10	6.18E-10	6.19E-10	4.33E-10	4.33E-11	4.33E-11	4.34E-13	4.33E-15	4.33E-17	4.33E-19	
2.68E-01	2.35E-01	1.85E-02	1.55E-02	1.55E-05	1.48E-07	1.41E-07	1.41E-07	9.85E-08	9.83E-09	9.45E-09	7.26E-11	6.24E-13	5.36E-15	5.35E-17	
2.68E+01	2.35E+01	1.86E+00	1.79E+00	1.79E-03	1.77E-05	1.75E-05	1.75E-05	1.23E-05	1.23E-06	1.19E-06	1.16E-08	1.12E-10	1.08E-12	1.09E-14	
1.79E-01	1.57E-01	1.24E-02	1.24E-02	1.24E-05	1.24E-07	1.24E-07	1.24E-07	8.65E-08	8.67E-09	8.66E-09	8.66E-11	8.66E-13	8.66E-15	8.67E-17	
1.79E+00	1.57E+00	1.24E-01	1.20E-01	1.20E-04	1.19E-06	1.18E-06	1.17E-06	8.21E-07	8.21E-08	7.98E-08	7.77E-10	7.55E-12	7.34E-14	7.34E-16	
8.93E-04	7.85E-04	6.20E-05	6.18E-05	6.18E-08	6.20E-10	6.18E-10	6.19E-10	4.33E-10	4.33E-11	4.33E-11	4.34E-13	4.33E-15	4.33E-17	4.33E-19	
2.68E-01	2.35E-01	1.86E-02	1.82E-02	1.82E-05	1.81E-07	1.80E-07	1.80E-07	1.26E-07	1.26E-08	1.24E-08	1.22E-10	1.20E-12	1.18E-14	1.18E-16	
8.30E-02	7.38E-02	5.81E-02	5.75E-01	5.74E-02	9.01E-03	1.98E-02	1.99E-02	1.59E-02	8.01E-03	8.80E-03	1.98E-04	2.47E-05	6.84E-06	7.06E-08	
5.89E-03	5.11E-03	4.03E-03	5.24E-03	5.23E-04	1.25E-05	1.65E-05	1.64E-05	1.32E-05	6.63E-06	6.80E-06	7.80E-08	1.30E-09	8.90E-11	9.10E-13	
3.38E+00	1.40E+01	1.11E+00	1.76E+01	1.38E+00	1.97E-03	1.95E-03	1.95E-03	1.56E-03	7.79E-04	7.77E-04	7.76E-06	7.74E-08	7.73E-10	7.74E-12	
7.95E+00	2.36E+01	1.87E+01	1.84E+01	9.42E-01	3.80E-03	3.62E-03	3.63E-03	2.88E-03	1.45E-03	1.43E-03	1.43E-05	1.42E-07	1.40E-09	1.41E-11	
5.93E+00	6.38E+01	5.10E+01	1.29E+01	2.84E-01	5.03E-45	8.28E-87	3.44E-90	1.26E-91	3.56E-93	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
8.93E+00	6.11E+01	4.86E+01	2.46E+00	2.48E-02	2.71E-64	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
3.97E-06	2.43E-02	1.94E-02	3.26E+00	3.29E-01	4.28E-03	5.22E-03	5.23E-03	4.19E-03	2.11E-03	2.21E-03	2.31E-05	2.41E-07	2.53E-09	2.53E-11	
1.63E+00	1.43E+00	1.13E+00	1.13E+00	1.12E-01	1.12E-03	1.12E-03	1.12E-03	8.96E-04	4.49E-04	4.49E-05	4.48E-06	4.48E-08	4.48E-10	4.48E-12	
1.46E+01	1.28E+01	1.01E+01	9.45E+00	9.42E-01	9.25E-03	9.09E-03	9.09E-03	7.27E-03	3.62E-03	3.62E-03	3.62E-05	3.62E-07	3.59E-09	3.59E-11	
6.35E+00	5.53E+00	6.01E+00	7.66E+02	1.77E+01	1.35E+00	2.33E+00	2.34E+00	1.87E+00	9.39E-01	9.85E-01	1.31E-02	1.35E-04	2.90E-05	2.97E-07	
3.40E-01	6.75E-01	5.37E-01	9.41E-01	8.32E-02	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04	1.83E-04	9.13E-05	9.16E-05	9.16E-07	9.16E-09	9.16E-11	9.17E-11	
5.76E+00	4.99E+00	3.94E+00	1.51E+00	1.48E-01	1.03E-03	7.89E-04	7.89E-04	5.58E-04	2.75E-04	2.59E-04	2.45E-06	2.31E-08	2.18E-10	2.17E-12	
6.81E+00	3.27E+01	2.60E+01	7.79E+00	1.56E-01	3.26E-04	1.76E-04	1.73E-04	1.36E-04	6.67E-05	6.86E-05	5.49E-07	4.98E-09	4.53E-11	4.47E-13	
4.44E+07	1.51E+07	1.36E+06	3.63E+04	2.30E+04	1.66E+04	1.46E+04	1.45E+04	1.44E+04	1.34E+04	1.90E+03	2.64E+02	4.32E+01	7.70E+00	3.66E+00	

Tabla 5.1.4 Rapidez de actividad ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) para la 2a rata caso basico en los diferentes componentes del sistema de procesamiento de gases.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kr83m					1.60E-02	1.51E-02	1.41E-02	1.40E-02	1.41E-02	1.40E-02	1.65E-03	7.80E-05	3.67E-06	1.73E-07	8.28E-09
Kr85m					2.82E-02	2.75E-02	2.68E-02	2.68E-02	2.68E-02	2.67E-02	1.11E-02	1.87E-03	3.11E-04	5.21E-05	8.76E-06
Kr85					8.83E-05	8.85E-05	8.85E-05	8.83E-05	8.84E-05	8.87E-05	8.80E-05	3.53E-05	1.41E-05	5.64E-06	2.26E-06
Kr87					9.66E-02	8.85E-02	8.04E-02	8.01E-02	8.03E-02	7.99E-02	3.68E-03	6.79E-05	1.25E-06	2.31E-08	4.34E-10
Kr88					9.70E-02	9.33E-02	8.94E-02	8.90E-02	8.92E-02	8.87E-02	2.24E-02	2.26E-03	2.27E-04	2.30E-05	2.34E-06
Kr89					5.43E-01	8.80E-02	1.43E-02	1.31E-02	1.27E-02	1.19E-02	6.80E-25	1.58E-67	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr90					7.92E-01	2.97E-04	1.07E-07	6.66E-08	5.59E-08	3.72E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr91					4.36E-01	8.55E-11	1.64E-20	3.28E-21	1.73E-21	5.44E-22	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr92					8.75E-02	2.02E-31	4.56E-61	2.14E-63	2.53E-64	1.04E-65	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr93					9.82E-03	2.05E-46	4.15E-90	1.35E-93	5.59E-95	6.39E-97	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr94					9.23E-04	1.98E-65	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr95					1.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe131m					6.89E-05	6.90E-05	6.87E-05	6.88E-05	6.89E-05	6.88E-05	5.01E-05	1.47E-05	4.27E-06	1.25E-06	3.67E-07
Xe133m					1.32E-03	1.32E-03	1.32E-03	1.31E-03	1.32E-03	1.32E-03	2.42E-04	1.77E-05	1.29E-06	9.54E-08	6.99E-09
Xe133					3.71E-02	3.72E-02	3.71E-02	3.70E-02	3.70E-02	3.70E-02	1.82E-02	3.59E-03	7.04E-04	1.39E-04	2.74E-05
Xe135m					1.21E-01	7.86E-02	5.08E-02	4.99E-02	4.95E-02	4.87E-02	2.34E-05	8.01E-06	2.72E-06	9.35E-07	3.42E-07
Xe135					1.06E-01	1.05E-01	1.04E-01	1.04E-01	1.04E-01	1.04E-01	3.10E-06	4.75E-09	7.78E-11	1.33E-12	2.28E-14
Xe137					6.34E-01	1.37E-01	2.92E-02	2.73E-02	2.65E-02	2.49E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe138					3.96E-01	2.49E-01	1.55E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.40E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe139					8.79E-01	1.60E-03	2.84E-06	1.95E-06	1.68E-06	1.24E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe140					5.58E-01	2.28E-07	9.02E-14	3.29E-14	2.21E-14	1.04E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe141					1.77E-02	1.43E-53	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe142					3.66E-03	7.71E-61	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe143					1.56E-04	3.99E-90	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe144					7.33E-06	1.87E-91	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Br83					1.16E-03	1.10E-05	1.05E-05	1.05E-05	1.05E-05	2.08E-07	2.07E-08	2.07E-11	2.05E-14	2.04E-17	2.05E-20
Br84					1.15E-03	9.27E-06	7.45E-06	7.38E-06	7.37E-07	1.46E-07	1.41E-08	1.37E-11	1.33E-14	1.28E-17	1.29E-20
Br85					4.91E-04	6.87E-07	9.46E-08	8.59E-08	8.28E-09	1.53E-09	1.10E-10	8.07E-14	5.84E-17	4.27E-20	4.26E-23
I131					8.99E-04	9.00E-06	8.99E-06	8.98E-06	8.98E-07	1.79E-07	1.80E-08	1.80E-11	1.81E-14	2.03E-17	4.08E-20
I132					1.15E-02	1.10E-04	1.04E-04	1.04E-04	1.04E-05	2.07E-06	2.05E-07	2.05E-10	2.05E-13	2.25E-16	4.27E-19
I133					1.16E-02	1.16E-04	1.15E-04	1.15E-04	1.15E-05	2.30E-06	2.30E-07	2.31E-10	2.30E-13	2.31E-16	2.32E-19
I134					2.37E-02	2.08E-04	1.82E-04	1.81E-04	1.81E-05	3.60E-06	3.52E-07	3.47E-10	3.39E-13	3.34E-16	3.35E-19
I135					1.11E-02	1.09E-04	1.07E-04	1.07E-04	1.07E-05	2.13E-06	2.12E-07	2.13E-10	2.12E-13	2.13E-16	2.14E-19
Cs137					1.33E-04	4.65E-08	3.50E-08	3.35E-08	2.97E-08	6.05E-09	2.36E-09	1.19E-10	1.18E-12	1.18E-14	1.18E-16
Cs138					3.67E-03	2.67E-02	3.59E-02	3.53E-02	3.17E-02	6.84E-03	1.25E-07	6.05E-09	5.83E-11	5.66E-13	5.66E-15
Cs139					2.62E-02	4.63E-04	4.64E-06	3.21E-06	2.52E-06	4.50E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Tabla 5.1.5 Rapidez de actividad total ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) por el caso básico en los diferentes componentes del sistema de procesamiento de gases

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kr83m	8.13E+02	7.11E+02	5.61E+02	4.45E+02	4.44E+02	4.16E+02	3.91E+02	3.87E+02	3.88E+02	3.88E+02	4.58E+01	2.16E+00	1.03E-01	4.87E-03	1.94E-03
Kr85m	1.43E+03	1.25E+03	9.88E+02	6.93E+02	8.91E+02	8.68E+02	8.46E+02	8.43E+02	8.43E+02	8.44E+02	3.53E+02	5.89E+01	9.85E+00	1.65E+00	6.58E-01
Kr85	4.44E+00	3.92E+00	3.09E+00	3.09E+00	3.10E+00	3.06E+00	3.09E+00	3.10E+00	3.11E+00	3.10E+00	3.10E+00	1.24E+00	4.95E-01	1.98E-01	7.95E-02
Kr87	4.91E+03	4.30E+03	3.39E+03	2.45E+03	2.44E+03	2.23E+03	2.03E+03	2.03E+03	2.02E+03	2.02E+03	9.30E+01	1.72E+00	3.17E-02	5.85E-04	2.34E-04
Kr88	4.91E+03	4.31E+03	3.40E+03	2.90E+03	2.89E+03	2.78E+03	2.67E+03	2.66E+03	2.66E+03	2.65E+03	6.70E+02	6.75E+01	6.82E+00	6.88E-01	2.75E-01
Kr89	3.03E+04	2.51E+04	1.98E+04	1.92E+03	1.73E+03	2.85E+02	4.58E+01	4.21E+01	4.08E+01	3.80E+01	2.19E-31	5.06E-64	1.17E-96	0.00E+00	0.00E+00
Kr90	6.65E+04	4.34E+04	3.41E+04	6.26E+02	3.75E+02	1.41E-01	5.14E-05	3.16E-05	2.60E-05	1.77E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr91	8.00E+04	3.26E+04	2.54E+04	1.43E+02	3.92E+01	7.72E-09	1.48E-18	2.94E-19	1.56E-19	4.92E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr92	7.75E+04	1.40E+04	1.06E+04	1.80E+01	1.07E+00	2.46E-30	5.56E-60	2.61E-62	3.08E-63	1.26E-64	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr93	1.99E+04	2.59E+03	1.91E+03	2.16E+00	6.01E-02	1.25E-45	2.54E-89	8.23E-93	3.35E-94	3.91E-96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr94	4.78E+03	4.52E+02	3.25E+02	2.58E-01	3.21E-03	6.86E-65	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr95	4.14E+02	2.36E+01	1.58E+01	7.20E-03	1.81E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe131m	3.48E+00	3.06E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	2.41E+00	1.78E+00	5.14E-01	1.50E-01	4.39E-02	1.76E-02
Xe133m	6.69E+01	5.90E+01	4.62E+01	4.41E+01	4.59E+01	4.58E+01	4.58E+01	4.58E+01	4.58E+01	4.58E+01	8.46E+00	6.16E-01	4.53E-02	3.32E-03	1.32E-03
Xe133	1.68E+03	1.64E+03	1.30E+03	1.25E+03	1.29E+03	1.29E+03	1.29E+03	1.29E+03	1.29E+03	1.29E+03	6.38E+02	1.25E+02	2.47E+01	4.87E+00	1.94E+00
Xe135m	6.28E+03	5.43E+03	4.27E+03	1.48E+03	1.45E+03	9.40E+02	6.07E+02	5.98E+02	5.94E+02	5.85E+02	4.20E+01	1.43E+00	4.91E-01	1.68E-01	6.70E-02
Xe135	5.38E+03	4.70E+03	3.71E+03	3.60E+03	3.60E+03	3.53E+03	3.50E+03	3.49E+03	3.50E+03	3.49E+03	8.22E-01	2.06E-01	8.26E-02	3.34E-02	1.34E-02
Xe137	3.48E+04	2.91E+04	2.30E+04	2.65E+03	2.43E+03	5.27E+02	1.12E+02	1.05E+02	1.02E+02	9.57E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe138	2.05E+04	1.78E+04	1.40E+04	4.57E+03	4.44E+03	2.79E+03	1.74E+03	1.70E+03	1.69E+03	1.67E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe139	6.69E+04	4.62E+04	3.64E+04	8.64E+02	5.75E+02	1.05E+00	1.86E-03	1.20E-03	1.10E-03	8.14E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe140	7.07E+04	3.61E+04	2.83E+04	2.54E+02	1.02E+02	4.12E-05	1.63E-11	5.94E-12	3.99E-12	1.87E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe141	5.33E+04	6.01E+03	4.39E+03	4.25E+00	8.30E-02	6.66E-53	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe142	1.54E+04	1.56E+03	1.13E+03	7.60E-01	1.41E-02	2.97E-60	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe143	2.49E+03	1.74E+02	1.21E+02	6.85E-02	3.46E-04	8.84E-90	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe144	1.17E+02	8.17E+00	5.65E+00	3.21E-03	1.62E-05	4.13E-91	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Bz83	5.84E+01	5.13E+01	8.10E+00	6.73E+00	6.81E-02	6.49E-04	6.20E-04	6.18E-04	6.18E-05	1.23E-05	1.22E-06	1.22E-09	1.21E-12	1.21E-15	1.19E-17
Bz84	5.84E+01	5.11E+01	8.06E+00	4.21E+00	4.27E-02	3.45E-04	2.77E-04	2.75E-04	2.40E-06	5.43E-06	5.27E-07	5.11E-10	4.95E-13	4.60E-16	4.67E-18
Bz85	2.77E+01	2.28E+01	3.60E+00	3.20E-01	3.35E-03	4.67E-06	6.46E-07	5.87E-07	5.65E-08	1.05E-09	7.56E-10	5.51E-13	4.01E-16	2.92E-19	2.41E-21
I131	4.52E+01	3.99E+01	6.28E+00	6.30E+00	6.39E-02	6.38E-04	6.36E-04	6.37E-04	6.36E-05	1.27E-05	1.27E-06	1.32E-07	1.39E-12	1.01E-14	1.01E-16
I132	5.84E+02	5.12E+02	6.06E+01	6.45E+01	6.77E-01	6.43E-03	6.11E-03	6.09E-03	6.10E-04	1.21E-04	1.21E-05	1.25E-08	1.82E-11	9.15E-14	9.17E-16
I133	5.88E+02	5.17E+02	8.18E+01	7.99E+01	8.08E-01	8.05E-03	7.99E-03	8.00E-03	7.99E-04	1.60E-04	1.60E-05	1.60E-08	1.61E-11	1.61E-14	1.59E-16
I134	1.21E+03	1.05E+03	1.67E+02	1.07E+02	1.08E+00	9.52E-03	8.35E-03	8.30E-03	8.28E-04	1.65E-04	1.62E-05	1.59E-08	1.56E-11	1.53E-14	1.50E-16
I135	5.59E+02	4.92E+02	7.75E+01	7.24E+01	7.32E-01	7.20E-03	7.08E-03	7.07E-03	7.07E-04	1.42E-04	1.41E-05	1.41E-08	1.42E-11	1.41E-14	1.39E-16
Cs137	6.65E-02	5.85E-02	9.29E-03	1.42E-02	1.87E-04	1.29E-04	8.46E-05	7.93E-05	6.97E-05	1.44E-05	1.69E-07	8.41E-09	8.41E-11	8.41E-13	8.40E-15
Cs138	7.32E+00	1.12E+02	1.87E+01	2.18E+03	6.18E+01	2.99E+02	4.03E+02	3.96E+02	3.55E+02	7.68E+01	4.69E-06	2.27E-07	2.19E-09	2.13E-11	2.11E-13
Cs139	1.73E+01	9.33E+02	1.56E+02	6.93E+02	2.34E+01	3.03E-01	3.04E-03	2.12E-03	1.65E-03	2.95E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Tabla 5.1.5 Rapidez de actividad total (pCi/seg) por el caso básico en los diferentes componentes del sistema de procesamiento de gases (cont....)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rb80	6.81E-01	4.66E101	7.82E100	1.81E103	6.45E101	4.94E102	8.04E102	8.83E102	7.93E102	1.77E102	8.12E101	4.87E100	4.04E-01	4.02E-02	6.64E-04
Rb89	7.66E100	3.16E102	5.30E101	1.20E103	4.44E101	5.67E101	2.59E101	2.39E101	2.08E101	4.32E100	9.21E-07	4.30E-08	4.92E-10	3.75E-12	3.72E-14
Rb90	5.63E101	2.73E103	4.58E102	6.10E102	3.93E101	8.07E-02	1.32E-04	8.24E-05	6.14E-05	1.06E-05	0.09E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100
N13	6.22E103	5.39E103	4.23E102	1.00E102	2.24E-01	1.17E-03	6.07E-04	5.93E-04	4.11E-04	4.01E-05	4.02E-06	4.03E-07	4.04E-12	4.07E-15	2.11E-17
N16	4.36E107	1.46E107	1.13E106	4.57E103	1.69E102	1.07E-13	6.63E-27	6.91E-28	1.97E-28	4.19E-30	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100
N17	1.72E104	3.99E103	3.05E102	7.12E-01	3.29E-02	4.15E-26	5.03E-48	2.06E-32	1.52E-50	1.31E-52	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100
O19	1.77E105	1.09E105	8.54E103	1.20E102	1.98E100	1.59E-06	1.24E-10	6.78E-11	3.74E-11	1.04E-11	3.10E-34	4.18E-58	5.63E-82	0.00E100	0.00E100
F18	3.57E103	3.13E101	2.47E102	1.92E102	2.65E-01	2.49E-03	2.33E-03	2.32E-03	1.63E-03	1.63E-04	1.31E-04	1.07E-05	8.64E-09	7.02E-11	6.67E-13
No24	8.93E100	7.05E100	6.20E-01	5.97E-01	7.52E-04	7.46E-06	7.41E-06	7.40E-06	5.26E-06	5.19E-07	5.06E-07	4.93E-09	4.80E-11	4.65E-13	4.62E-15
P32	1.79E-01	1.57E101	1.24E-02	1.24E-02	1.56E-05	1.56E-07	1.56E-07	1.56E-07	1.16E-07	1.09E-09	1.09E-09	1.09E-10	1.07E-12	1.07E-14	1.09E-16
Cr51	5.38E100	4.70E100	3.71E-01	3.71E-01	4.70E-04	4.70E-06	4.69E-06	4.70E-06	3.29E-06	3.29E-07	3.28E-07	3.29E-09	3.27E-11	3.24E-13	3.27E-15
Mn54	6.26E-02	5.48E-02	4.35E-03	4.33E-03	5.47E-06	5.49E-08	5.50E-08	5.48E-08	3.83E-08	3.83E-07	3.84E-09	3.84E-11	3.84E-13	3.84E-15	3.84E-17
Mn56	4.44E101	3.92E101	3.07E100	2.60E100	3.26E-03	3.11E-05	2.97E-05	2.97E-05	2.07E-06	1.79E-06	1.54E-08	1.26E-10	1.14E-12	1.11E-14	1.11E-16
Fe55	8.93E-01	7.85E-01	6.20E-02	6.18E-02	7.02E-05	7.84E-07	7.83E-07	7.83E-07	5.48E-07	5.48E-08	5.47E-08	5.49E-10	5.48E-12	5.47E-14	5.49E-16
Fe59	2.68E-02	2.35E-02	1.86E-03	1.85E-03	2.35E-06	2.35E-08	2.35E-08	2.34E-08	1.65E-08	1.64E-09	1.64E-09	1.64E-11	1.64E-13	1.64E-15	1.64E-17
Co58	1.79E-01	1.57E-01	1.24E-02	1.24E-02	1.56E-05	1.57E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.10E-07	1.10E-08	1.09E-08	1.10E-10	1.09E-12	1.09E-14	1.09E-16
Co60	3.57E-01	3.14E-01	2.47E-02	2.48E-02	3.13E-05	3.14E-07	3.13E-07	3.13E-07	2.20E-07	2.19E-08	2.20E-08	2.19E-10	2.19E-12	2.20E-14	2.19E-16
Ni63	8.93E-04	7.85E-04	6.20E-05	6.18E-05	7.02E-08	7.84E-10	7.83E-10	7.83E-10	5.48E-10	5.48E-11	5.47E-11	5.47E-13	5.48E-15	5.47E-17	5.48E-19
Ni65	2.68E-01	2.35E-01	1.86E-02	1.85E-02	1.94E-05	1.86E-07	1.77E-07	1.77E-07	1.24E-07	1.24E-08	1.06E-09	9.13E-11	7.83E-13	6.73E-15	6.54E-17
Co64	2.68E101	2.35E101	1.86E100	1.79E100	2.25E-03	2.23E-05	2.20E-05	2.20E-05	1.54E-05	1.54E-06	1.49E-06	1.43E-08	1.40E-10	1.34E-12	1.36E-14
Zn65	1.79E-01	1.57E-01	1.24E-02	1.24E-02	1.57E-05	1.57E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.10E-07	1.10E-08	1.09E-08	1.10E-10	1.09E-12	1.10E-14	1.10E-16
Zn69	1.79E100	1.57E100	1.24E-01	1.20E-01	1.50E-04	1.49E-06	1.48E-06	1.48E-06	1.03E-06	1.03E-07	1.02E-07	9.76E-10	9.49E-12	9.22E-14	9.10E-16
Ag110m	8.93E-04	7.85E-04	6.20E-05	6.18E-05	7.02E-08	7.84E-10	7.83E-10	7.83E-10	5.48E-10	5.48E-11	5.47E-11	5.48E-13	5.48E-15	5.47E-17	5.48E-19
W187	2.68E-01	2.35E-01	1.86E-02	1.82E-02	2.29E-05	2.28E-07	2.27E-07	2.27E-07	1.59E-07	1.59E-08	1.56E-08	1.54E-10	1.51E-12	1.48E-14	1.48E-16
Sr89	8.30E-02	7.38E-02	5.81E-02	5.75E-01	5.74E-02	9.01E-03	1.98E-02	1.99E-02	1.59E-02	0.81E-03	8.80E-03	1.98E-04	2.47E-06	6.84E-06	7.09E-03
Sr90	5.80E-03	5.11E-03	4.03E-03	5.24E-03	5.23E-04	1.25E-05	1.65E-05	1.64E-05	1.32E-05	6.63E-06	6.80E-06	7.80E-08	1.30E-09	8.90E-11	9.10E-13
Sr91	3.38E100	1.40E101	1.11E100	1.76E101	1.38E100	1.97E-03	1.93E-03	1.92E-03	1.56E-03	7.79E-04	7.78E-04	7.76E-06	7.74E-08	7.73E-10	7.74E-12
Sr92	7.94E100	2.36E101	1.87E101	1.86E101	9.43E-01	3.80E-03	3.62E-03	3.63E-03	2.89E-03	1.45E-03	1.43E-03	1.42E-05	1.42E-07	1.40E-09	1.41E-11
Sr93	5.93E100	5.38E101	5.10E101	1.29E102	2.84E-01	5.10E-05	8.40E-07	3.49E-09	1.28E-09	3.62E-03	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100
Sr94	8.38E100	6.11E101	4.86E101	2.46E100	2.50E-02	2.87E-04	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100	0.00E100
Y91m	9.57E-06	2.43E-02	1.94E-02	3.26E100	3.29E-01	4.28E-03	5.22E-03	5.23E-03	4.49E-03	2.11E-03	2.21E-03	2.31E-05	2.41E-07	2.33E-09	2.33E-11
Mo99	1.63E100	1.43E100	1.13E100	1.13E100	1.12E-01	1.12E-03	1.12E-03	1.12E-03	3.59E100	4.49E-04	4.50E-05	4.49E-06	4.48E-08	4.48E-10	4.40E-12
Tc99m	1.46E101	1.28E101	1.01E101	9.45E100	9.43E-01	9.25E-03	9.10E-03	9.09E-03	7.27E-03	3.64E-03	3.62E-03	3.62E-05	3.60E-07	3.59E-09	3.59E-11
Ba139	6.35E100	6.38E101	6.10E100	6.10E100	1.77E101	1.35E100	2.33E100	2.34E100	1.87E100	9.95E-01	9.95E-01	1.31E-02	3.33E-04	2.92E-05	2.97E-07
Ba140	3.40E-01	6.75E-01	5.37E-01	9.41E-01	8.32E-02	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04	1.83E-04	9.13E-05	9.12E-05	9.16E-07	9.16E-09	9.17E-11	9.17E-13
Ba141	5.76E100	4.99E100	3.94E100	1.51E100	1.47E-01	1.03E-03	7.09E-04	7.01E-04	5.56E-04	2.73E-04	2.59E-04	2.45E-06	2.31E-08	2.18E-10	2.17E-12
Ba142	6.81E100	3.27E101	2.60E101	7.79E100	1.57E-01	3.27E-04	1.77E-04	1.73E-04	1.36E-04	6.68E-05	6.86E-05	5.50E-07	4.99E-09	4.54E-11	4.47E-13
TOTAL	4.44E107	1.51E107	1.36E106	3.63E104	2.32E104	1.66E104	1.46E104	1.45E104	1.44E104	1.34E104	1.90E103	2.64E102	4.32E101	7.70E100	3.09E100

Tabla 5.1.6 Rapidez de actividad ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) en la salida del sistema de procesamiento de desechos gaseosos para los casos propuestos

	VARIACION DEL FLUJO (pies^3/min)				VARIACION DEL No. DE CAMAS DE CARBON				VARIACION DEL No. DE TANQUES DE DECAIMIENTO		
	20	30	40	50	2	3	4	5	1	2	4
KRIPTONES	2.12E-01	1.02E+00	2.77E+00	5.35E+00	5.27E+01	6.93E+00	1.02E+00	1.70E-01	2.61E+00	1.02E+00	9.89E-01
XENONES	5.47E-01	2.04E+00	4.07E+00	6.19E+00	5.13E+01	1.02E+01	2.04E+00	4.17E-01	5.16E+00	2.04E+00	2.04E+00
HALOGENOS	1.90E-15	1.40E-15	1.20E-15	1.61E-15	6.14E-10	6.67E-13	1.40E-15	1.24E-17	1.40E-13	1.40E-15	1.46E-15
CESIOS Y RUBIDIOS	6.27E-05	6.64E-04	2.00E-03	3.67E-03	7.41E-02	6.65E-03	6.64E-04	3.30E-05	1.74E-03	6.64E-04	6.39E-04
NITROGENOS Y OXIGENOS	1.90E-18	2.11E-17	1.99E-16	2.46E-16	3.98E-11	2.10E-14	2.11E-17	1.74E-18	7.71E-15	2.11E-17	2.00E-17
PRODUCTOS DE ACTIVACION	5.14E-13	7.02E-13	8.33E-13	9.37E-13	1.10E-08	8.66E-11	7.02E-13	1.30E-13	7.82E-11	7.02E-13	6.93E-13
OTROS	2.24E-07	3.67E-07	5.14E-07	6.51E-07	1.36E-04	3.46E-06	3.67E-07	5.19E-08	6.58E-06	3.67E-07	3.67E-07
TOTAL	7.59E-01	3.06E+00	6.04E+00	1.15E+01	1.04E+02	1.71E+01	3.06E+00	5.86E-01	7.77E+00	3.06E+00	3.03E+00

8 caso básico

Tabla 5.1.7 Actividad total (pCi) por grupos de radionúclidos, liberado en un año por el sistema de procesamiento de gases en los diferentes casos analizados.

	VARIACION DEL FLUJO (pies ³ /min)				VARIACION DEL No. DE CAMAS DE CARBON				VARIACION DEL No. DE TANQUES DE DECAIMIENTO		
	20	30*	40	50	2	3	4*	5	1	2*	4
Kriptones	6.68E+06	3.20E+07	8.74E+07	1.69E+08	1.66E+09	2.18E+08	3.20E+07	5.35E+06	8.23E+07	3.20E+07	3.12E+07
Xenones	1.73E+07	6.44E+07	1.29E+08	1.95E+08	1.62E+09	3.21E+08	6.44E+07	1.31E+07	1.63E+08	6.44E+07	6.44E+07
Halógenos	5.98E-08	4.68E-08	4.02E-08	5.09E-08	1.94E-02	2.10E-05	4.68E-08	3.92E-10	4.67E-06	4.68E-08	4.61E-08
Cesios y Rubidios	1.98E+03	2.10E+04	6.30E+04	1.17E+05	2.34E+06	2.09E+05	2.10E+04	1.04E+03	5.49E+04	2.10E+04	2.02E+04
Nitrógenos y Oxígenos	5.99E-11	6.65E-10	6.28E-09	7.76E-09	1.26E-03	6.62E-07	6.65E-10	5.49E-11	2.43E-07	6.65E-10	6.31E-10
Productos de Activación	1.62E-05	2.21E-05	2.63E-05	2.96E-05	3.47E-01	2.73E-03	2.21E-05	4.11E-06	2.47E-03	2.21E-05	2.19E-05
Otros	7.09E+00	1.16E+01	1.98E+00	2.05E+01	4.27E+03	1.09E+02	1.16E+01	1.64E+00	2.07E+02	1.16E+01	1.16E+01
TOTAL	2.39E+07	9.65E+07	2.16E+08	3.64E+08	3.28E+09	5.40E+08	9.65E+07	1.85E+07	2.45E+08	9.65E+07	9.57E+07

* caso básico

Tabla 5.1.8 Dosis anual debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases para el caso básico (30 pies³/min, 2 tanques de decaimiento, 4 cosas de carbón).

	GASES NOBLES		RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES					
	GAMMA	BETA	SUELO	PASTO-	INGESTION	PASTO-	TOTAL POR TOMAS LAS RUTAS	
	rad	rad	INHALACION CONTAMINADO	VACA-LECHE	VEGETALES	VACA-CARNE		
	ntcm	ntcm	ntcm	ntcm	ntcm	ntcm	ntcm	
Kr83m	3.83E-07	5.71E-06						
Kr85m	8.10E-03	1.30E-02						
Kr85	1.37E-05	1.55E-03						
Kr87	2.00E-05	3.34E-05						
Kr88	4.19E-02	8.07E-03						
Kr89	1.25E-37	7.63E-38						
Kr90	0.00E+00	0.00E+00						
Kr91	0.00E+00	0.00E+00						
Kr92	0.00E+00	0.00E+00						
Kr93	0.00E+00	0.00E+00						
Kr94	0.00E+00	0.00E+00						
Kr95	0.00E+00	0.00E+00						
Xe131m	2.74E-05	1.95E-04						
Xe133m	4.35E-06	1.97E-05						
Xe133	6.86E-03	2.04E-02						
Xe135m	2.25E-03	4.95E-04						
Xe135	2.57E-04	3.29E-04						
Xe137	0.00E+00	0.00E+00						
Xe138	0.00E+00	0.00E+00						
Xe139	0.00E+00	0.00E+00						
Xe140	0.00E+00	0.00E+00						
Xe141	0.00E+00	0.00E+00						
Xe142	0.00E+00	0.00E+00						
Xe143	0.00E+00	0.00E+00						
Xe144	0.00E+00	0.00E+00						
Br83			7.39E-19	3.04E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-18
Br84			5.73E-19	6.25E-18	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.83E-18
Br85			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I131			4.11E-14	1.17E-15	1.23E-11	1.78E-13	5.95E-12	1.85E-11
I132			4.42E-15	8.57E-16	1.50E-20	2.68E-19	7.27E-21	5.28E-15
I133			7.18E-14	1.47E-15	8.24E-13	2.26E-14	3.98E-13	1.32E-12
I134			1.37E-15	3.68E-16	1.10E-31	2.67E-25	5.31E-32	1.74E-15
I135			1.40E-14	1.33E-15	1.70E-15	2.63E-16	8.22E-16	1.81E-14
Cs137			7.12E-14	2.02E-11	2.99E-11	2.26E-12	9.97E-12	6.24E-11
Cs138			1.81E-15	1.73E-14	1.33E-42	2.93E-31	4.44E-43	1.92E-14
Cs139			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Rb88			3.63E-06	5.03E-06	5.17E-55	4.22E-33	5.34E-55	8.66E-06

Tabla 5.1.8 Dosis anual debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases para el caso básico (30 pies³/min, 2 tanques de decaimiento, 4 camas de carbón, cont...).

	GASES NOBLES		RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES				TOTAL POR TOMAS LAS RUTAS	
	GAMMA mrad	BETA mrad	SUELO		PASTO- VACA-LECHE	INGESTION VEGETALES		PASTO- VACA-CARNE
			mrem	mrem	mrem	mrem		mrem
Rb87			1.31E-16	1.10E-15	5.71E-73	2.60E-47	5.90E-73	1.23E-15
Rb90			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ni3			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ni6			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ni7			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
O19			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F18			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Mo24			6.54E-16	1.32E-14	2.13E-14	1.20E-16	1.60E-14	5.12E-14
P32			2.06E-15	0.00E+00	6.88E-13	3.52E-15	1.27E-12	1.96E-12
Cr51			6.86E-16	3.61E-15	5.49E-15	6.81E-16	5.99E-15	1.65E-14
Mo54			7.61E-16	1.25E-14	2.21E-16	7.15E-16	7.06E-16	1.47E-14
Mo56			7.27E-15	2.70E-15	1.22E-21	2.38E-19	3.87E-21	9.98E-15
Fe55			6.79E-16	0.00E+00	8.67E-16	5.90E-16	2.69E-14	2.90E-14
Fe59			2.51E-16	1.05E-15	9.30E-16	3.24E-16	3.13E-14	3.38E-14
Co58			1.47E-15	9.69E-15	2.39E-15	1.31E-15	3.11E-14	4.59E-14
Co60			1.91E-14	1.11E-12	1.59E-14	1.42E-14	2.06E-13	1.37E-12
Ni63			3.18E-18	0.00E+00	1.30E-15	1.76E-16	1.02E-14	1.17E-14
Ni65			2.74E-17	5.16E-18	7.03E-23	5.93E-22	5.56E-22	3.26E-17
Cu64			8.54E-15	1.91E-15	9.14E-15	1.80E-16	3.46E-14	5.44E-14
Zn65			1.36E-15	1.09E-14	1.61E-13	3.24E-15	1.24E-13	3.08E-13
Zn69			1.49E-17	0.00E+00	1.31E-17	8.37E-20	1.01E-17	3.82E-17
Ag110m			3.70E-17	4.39E-16	2.86E-15	4.41E-17	9.53E-16	4.33E-15
W187			2.66E-16	8.21E-17	7.90E-17	2.34E-17	2.05E-16	6.55E-16
Sr89			1.73E-06	3.60E-10	3.84E-05	2.17E-05	2.88E-05	9.07E-05
Sr90			9.85E-10	0.00E+00	1.21E-08	1.37E-08	9.04E-09	3.58E-08
Sr91			2.01E-11	3.89E-12	3.73E-13	2.00E-13	2.80E-13	2.46E-11
Sr92			1.68E-11	2.43E-12	6.40E-17	2.84E-15	4.80E-17	1.92E-11
Sr93			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Sr94			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y91m			8.13E-13	5.97E-13	4.26E-35	1.49E-25	1.96E-32	1.41E-12
Mo99			1.20E-11	4.14E-12	9.16E-11	1.16E-12	9.77E-11	2.07E-10
Tc99m			2.20E-12	1.52E-12	7.58E-14	3.60E-15	1.21E-12	5.01E-12
Ba139			1.92E-08	7.08E-09	4.33E-20	1.42E-15	3.47E-19	2.63E-08
Ba140			1.86E-09	4.30E-10	1.37E-09	3.90E-10	1.10E-08	1.50E-08
Ba141			7.13E-14	2.01E-14	3.26E-64	4.67E-41	2.61E-63	9.14E-14
Ba142			8.55E-15	4.57E-15	4.31E-99	4.92E-59	3.44E-98	1.31E-14
TOTAL	5.94E-02	4.41E-02	5.39E-06	5.06E-06	3.84E-05	2.19E-05	3.06E-05	1.02E-04

Tabla 5.1.9 Dosis por grupos de radionúclidos debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases para el caso básico (30 pies³/min, 2 tanques de decaimiento, 4 casos de carbón).

	GASES NOBLE		RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLE (mrem)
	GAMMA (mrad)	BETA (mrad)	
Kriptones	5.00E-02	2.27E-02	0.00E+00
Xenones	9.40E-03	2.14E-02	0.00E+00
Halógenos	0.00E+00	0.00E+00	1.98E-11
Cesios y Rubidios	0.00E+00	0.00E+00	8.66E-06
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	3.91E-12
Otros	0.00E+00	0.00E+00	9.30E-05
TOTAL	5.94E-02	4.41E-02	1.02E-04

Tabla 5.2.1 Número de caja negra asociada al componente del sistema cuando se presenta variación en el flujo de proceso.

No. DE CAJA NEGRA	NOMBRE DEL COMPONENTE
1	TURBINA DE ALTA PRESION
2	SEPARADOR DE HUMEDAD
3	TURBINA DE BAJA PRESION
4	CONDENSADOR PRINCIPAL
5	CONDENSADOR DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS
6	PRIMER TANQUE DE DECAIMIENTO
7	SEGUNDO TANQUE DE DECAIMIENTO
8	PRE-FILTRO
9	SEPARADOR DE HUMEDAD
10	SECADOR
11	PRIMERA CAMA DE CARBON ACTIVADO
12	SEGUNDA CAMA DE CARBON ACTIVADO
13	TERCERA CAMA DE CARBON ACTIVADO
14	CUARTA CAMA DE CARBON ACTIVADO
15	POST-FILTRO

Tabla 5.2.2 Rapidez de transferencia (1/seg) para cada una de las cajas que representan al sistema de procesamiento de gases cuando presenta variaciones en el flujo de proceso.

Número de caja	20	30* (pies ³ /min)	40	50
1	4.24E+00	4.24E+00	4.24E+00	4.24E+00
2	5.27E-02	5.27E-02	5.27E-02	5.27E-02
3	3.95E+00	3.95E+00	3.95E+00	3.95E+00
4	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04
5	3.31E-02	3.96E-02	4.61E-02	5.25E-02
6	2.45E-03	3.00E-03	3.48E-03	3.97E-03
7	2.45E-03	3.00E-03	3.48E-03	3.97E-03
8	1.04E+00	1.25E+00	1.46E+00	1.67E+00
9	2.27E+00	2.78E+00	3.28E+00	3.78E+00
10	5.64E-02	8.78E-02	1.19E-01	1.50E-01
11	6.80E-03	1.06E-02	1.44E-02	1.82E-02
12	6.80E-03	1.06E-02	1.44E-02	1.82E-02
13	6.80E-03	1.06E-02	1.44E-02	1.82E-02
14	6.80E-03	1.06E-02	1.44E-02	1.82E-02
15	4.71E-01	6.79E-01	8.88E-01	1.10E+00

* CASO BASICO

Tabla 5.2.3 Dosis por grupos de radionúclidos debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases cuando el valor del flujo de proceso es de 20 pies³/min y se tiene 4 cajas de carbón activado y 2 tanques de decaimiento.

	GASES NOBLES		RADIONÚCLIDOS DISTINTOS
	GAMMA (mrad)	BETA (mrad)	A LOS GASES NOBLES (mrem)
Kriptones	4.07E-03	4.32E-03	0.00E+00
Xenones	3.73E-03	5.79E-03	0.00E+00
Radón	0.00E+00	0.00E+00	2.27E-11
Cesio y Rubidio	0.00E+00	0.00E+00	8.15E-07
Nitrógeno y Oxígeno	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	3.87E-12
Otros	0.00E+00	0.00E+00	9.74E-05
TOTAL	7.83E-03	1.01E-02	9.82E-05

Tabla 5.2.4 Base por grupos de radionúclidos debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases cuando el valor del flujo de proceso es de 40 pies³/min y se tiene 4 canos de carbón activado y 2 tanques de decaimiento.

	GAMMA (mrad)	BASES NOBLES BETA (mrad)	RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES (area)
Kriptones	1.86E-01	6.52E-02	0.00E+00
Xenones	1.68E-02	4.20E-02	0.00E+00
Hojógenos	0.00E+00	0.00E+00	1.84E-11
Cesios y Rubidios	0.00E+00	0.00E+00	2.60E-05
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	3.91E-12
Otros	0.00E+00	0.00E+00	8.03E-05
TOTAL	2.03E-01	1.08E-01	1.06E-04

Tabla 5.2.5 Dosis por grupos de radionuclidos debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases cuando el valor del flujo de proceso es de 50 pies³/min y se tiene 4 canas de carbón activado y 2 tanques de decaimiento.

	GASES NOBLES		RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES (are)
	GAMA (mrad)	BETA (mrad)	
Kriptones	4.16E-01	1.31E-01	0.00E+00
Xenones	2.54E-02	6.05E-02	0.00E+00
Halógenos	0.00E+00	0.00E+00	1.75E-11
Cesios y Rubidios	0.00E+00	0.00E+00	2.79E-05
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	3.92E-12
Otros	0.00E+00	0.00E+00	7.07E-05
TOTAL	4.41E-01	1.96E-01	1.19E-04

Tabla 5.3.1 Número de caja negra asociado al componente del sistema cuando existe variación en el número de camas de carbón activado.

No. DE CAJA NEGRA	NOMBRE DEL COMPONENTE			
	2 CAMAS	3 CAMAS	4 CAMAS (CASO BASICO)	5 CAMAS
1	TURBINA DE ALTA PRESION	TURBINA DE ALTA PRESION	TURBINA DE ALTA PRESION	TURBINA DE ALTA PRESION
2	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD
3	TURBINA DE BAJA PRESION	TURBINA DE BAJA PRESION	TURBINA DE BAJA PRESION	TURBINA DE BAJA PRESION
4	CONDENSADOR PRINCIPAL	CONDENSADOR PRINCIPAL	CONDENSADOR PRINCIPAL	CONDENSADOR PRINCIPAL
5	CONDENSADOR DEL SIST. DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS	CONDENSADOR DEL SIST. DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS	CONDENSADOR DEL SIST. DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS	CONDENSADOR DEL SIST. DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS
6	1er. TANQUE DE DECAIMIENTO	1er. TANQUE DE DECAIMIENTO	1er. TANQUE DE DECAIMIENTO	1er. TANQUE DE DECAIMIENTO
7	2do. TANQUE DE DECAIMIENTO	2do. TANQUE DE DECAIMIENTO	2do. TANQUE DE DECAIMIENTO	2do. TANQUE DE DECAIMIENTO
8	PRE-FILTRO	PRE-FILTRO	PRE-FILTRO	PRE-FILTRO
9	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD
10	SECADOR	SECADOR	SECADOR	SECADOR
11	1a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	1a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	1a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	1a. CAMA DE CARBON ACTIVADO
12	2a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	2a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	2a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	2a. CAMA DE CARBON ACTIVADO
13	POST-FILTRO	3a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	3a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	3a. CAMA DE CARBON ACTIVADO
14		POST-FILTRO	4a. CAMA DE CARBON ACTIVADO	4a. CAMA DE CARBON ACTIVADO
15			POST-FILTRO	5a. CAMA DE CARBON ACTIVADO
16				POST-FILTRO

Tabla 5.3.2 Rapidez de transferencia (1/seg) para cada una de las cajas que representan al sistema de procesamiento de gases cuando presenta variaciones en el número camas de carbón activado.

Número de caja	2 camas	3 camas	4 camas *	5 camas
1	4.24E+00	4.24E+00	4.24E+00	4.24E+00
2	5.27E-02	5.27E-02	5.27E-02	5.27E-02
3	3.95E+00	3.95E+00	3.95E+00	3.95E+00
4	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04
5	3.96E-02	3.96E-02	3.96E-02	3.96E-02
6	3.00E-03	3.00E-03	3.00E-03	3.00E-03
7	3.00E-03	3.00E-03	3.00E-03	3.00E-03
8	1.25E+00	1.25E+00	1.25E+00	1.25E+00
9	2.78E+00	2.78E+00	2.78E+00	2.78E+00
10	8.78E-02	8.78E-02	8.78E-02	8.78E-02
11	1.06E-02	1.06E-02	1.06E-02	1.06E-02
12	1.06E-02	1.06E-02	1.06E-02	1.06E-02
13	6.79E-01	1.06E-02	1.06E-02	1.06E-02
14		6.79E-01	1.07E-02	1.07E-02
15			6.79E-01	1.08E-02
16				6.79E-01

* CASO BASICO

Tabla 5.3.3 Dosis por grupos de radionúclidos debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases cuando este sistema tiene 2 camas de carbón activado, un valor de flujo de 30 pies³/min y 2 tanques de decaimiento.

	GAMMA (mrad)	GASES NOBLES BETA (mrad)	RADIONÚCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES (mrem)
Kriptones	4.44E+00	1.34E+00	0.00E+00
Xeones	2.01E-01	5.40E-01	0.00E+00
Halógenos	0.00E+00	0.00E+00	2.25E-06
Cesios y Rubidios	0.00E+00	0.00E+00	9.68E-04
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	3.92E-08
Otros	0.00E+00	0.00E+00	2.13E-02
TOTAL	4.44E+00	1.88E+00	2.72E-02

Tabla 5.3.4 Dosis por grupo de radionúclidos debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases cuando este sistema tiene 3 camas de carbón activado, un valor de flujo de 30 pies³/min y 2 tanques de decaimiento.

	GASES NOBLES		RADIONUCLIDOS DISTINTOS
	GAMMA (rad)	BETA (rad)	A LOS GASES NOBLES (mrem)
Kriptones	4.65E-01	1.63E-01	0.00E+00
Xenones	4.31E-02	1.07E-01	0.00E+00
Halógenos	0.00E+00	0.00E+00	1.44E-08
Cesios y Rubidios	0.00E+00	0.00E+00	8.73E-05
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	3.92E-10
Otros	0.00E+00	0.00E+00	5.15E-04
TOTAL	5.07E-01	2.71E-01	6.03E-04

Tabla 5.3.5 Basis por grupos de radionúclidos, debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases cuando este sistema tiene 5 canas de carbón activado, un valor de flujo de 30 pies³/min y 2 tanques de decaimiento.

	GASES NUBLES		RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NUBLES (nres)
	GAMMA (mrad)	BETA (mrad)	
Kriptones	5.58E-03	3.60E-03	0.00E+00
Xenones	2.23E-03	4.38E-03	0.00E+00
Halógenos	0.00E+00	0.00E+00	6.74E-14
Cesios y Rubidios	0.00E+00	0.00E+00	4.27E-07
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	2.02E-11
Otros	0.00E+00	0.00E+00	2.07E-05
TOTAL	7.81E-03	7.98E-03	2.11E-05

Tabla 5.4.1 Número de caja negra asociada al componente del sistema cuando existe variación en el número de tanques de decaimiento.

No. DE CAJA NEGRA	NOMBRE DEL COMPONENTE		
	1 TANQUE	2 TANQUES (CASO BASICO)	4 TANQUES
1	TURBINA DE ALTA PRESION	TURBINA DE ALTA PRESION	TURBINA DE ALTA PRESION
2	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD
3	TURBINA DE BAJA PRESION	TURBINA DE BAJA PRESION	TURBINA DE BAJA PRESION
4	CONDENSADOR PRINCIPAL	CONDENSADOR PRINCIPAL	CONDENSADOR PRINCIPAL
5	CONDENSADOR DEL SIST. DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS	CONDENSADOR DEL SIST. DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS	CONDENSADOR DEL SIST. DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS
6	1er. TANQUE DE DECAIMIENTO	1er. TANQUE DE DECAIMIENTO	1er. Y 2do. TANQUE DE DECAIMIENTO
7	PRE-FILTRO	2do. TANQUE DE DECAIMIENTO	3er. Y 4to. TANQUE DE DECAIMIENTO
8	SEPARADOR DE HUMEDAD	PRE-FILTRO	PRE-FILTRO
9	SECADOR	SEPARADOR DE HUMEDAD	SEPARADOR DE HUMEDAD
10	1o. CAMA DE CARBON ACTIVADO	SECADOR	SECADOR
11	2o. CAMA DE CARBON ACTIVADO	1o. CAMA DE CARBON ACTIVADO	1o. CAMA DE CARBON ACTIVADO
12	3o. CAMA DE CARBON ACTIVADO	2o. CAMA DE CARBON ACTIVADO	2o. CAMA DE CARBON ACTIVADO
13	4to. CAMA DE CARBON ACTIVADO	3o. CAMA DE CARBON ACTIVADO	3o. CAMA DE CARBON ACTIVADO
14	POST-FILTRO	4to. CAMA DE CARBON ACTIVADO	4to. CAMA DE CARBON ACTIVADO
15		POST-FILTRO	POST-FILTRO

Tabla 5.4.2 Rapidez de transferencia (1/seg) para cada una de las cajas que representan al sistema de procesamiento de gases cuando presenta variaciones en el número de tanques de decaimiento.

Número de caja	1 tanque	2 tanques *	4 tanques
1	4.24E+00	4.24E+00	4.24E+00
2	5.27E-02	5.27E-02	5.27E-02
3	3.95E+00	3.95E+00	3.95E+00
4	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04
5	3.96E-02	3.96E-02	3.96E-02
6	3.00E-03	3.00E-03	3.00E-03
7	1.25E+00	3.00E-03	3.00E-03
8	2.78E+00	1.25E+00	1.25E+00
9	8.78E-02	2.78E+00	2.78E+00
10	1.05E-02	8.78E-02	8.78E-02
11	1.06E-02	1.05E-02	1.05E-02
12	1.06E-02	1.06E-02	1.06E-02
13	1.07E-02	1.06E-02	1.06E-02
14	6.79E-01	1.07E-02	1.07E-02
15		6.79E-01	6.79E-01

* CASO BASICO

Tabla 5.4.3 Dosis por grupos de radionúclidos debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases cuando se cuenta con 1 tanque de decaimiento, un flujo de 30 pies³/min y 4 conos de carbón activado.

	GAMMA (mrad)	GASES NOBLES BETA (mrad)	RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES (mrem)
Kriptones	1.30E-01	5.82E-02	0.00E+00
Xenones	2.50E-02	5.40E-02	0.00E+00
Halógenos	0.00E+00	0.00E+00	1.95E-09
Cesios y Rubidios	0.00E+00	0.00E+00	2.27E-05
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	3.91E-10
Otros	0.00E+00	0.00E+00	6.96E-04
TOTAL	1.54E-01	1.12E-01	7.19E-04

Tabla 5.4.4 Dosis por grupos de radionúclido debido a la liberación del sistema de procesamiento de gases cuando se cuenta con 4 tanques de decaimiento, un valor de flujo de 30 pies³/min y 4 camas de carbón activado.

	GASES NOBLES		RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES (areu)
	GAMMA (mrad)	BETA (mrad)	
Kriptones	4.81E-02	2.19E-02	0.00E100
Xenones	9.36E-03	2.14E-02	0.00E100
Halógenos	0.00E100	0.00E100	1.78E-11
Cesio y Rubidio	0.00E100	0.00E100	8.31E-06
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E100	0.00E100	0.00E100
Productos de Activación	0.00E100	0.00E100	3.91E-12
Otros	0.00E100	0.00E100	9.20E-05
TOTAL	5.75E-02	4.34E-02	1.01E-04

la 5.5.1 Rapidez de actividad (pCi/seg) debido a la contribución de los radionúclidos "padres", en los diferentes componentes del sistema de procesamiento de desechos gaseosos (cont.....).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	5,54E-08	6,53E-06	5,17E-06	5,87E-05	5,88E-06	4,80E-08	3,95E-08	3,88E-08	3,09E-08	1,53E-08	1,52E-08	1,54E-10	1,54E-12	1,54E-14	1,54E-15
8	3,47E-01	1,13E+01	9,05E+00	1,56E+01	1,18E+00	1,66E-04	1,71E-04	1,71E-04	1,02E-04	1,33E-20	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
7	1,17E+00	1,76E+01	1,40E+01	1,47E+01	5,47E-01	7,41E-05	7,30E-05	7,30E-05	2,17E-05	7,60E-63	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
6	5,94E+00	6,38E+01	5,10E+01	1,29E+01	2,85E-01	1,28E-04	0,79E-05	0,74E-05	1,59E-05	3,56E-43	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
5	8,40E+00	6,11E+01	4,86E+01	2,47E+00	2,62E-02	3,75E-03	1,00E-05	9,88E-06	9,54E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
4	3,74E-09	2,59E-07	2,07E-07	3,08E-05	3,10E-06	3,51E-08	3,91E-08	3,91E-08	3,14E-08	1,57E-08	1,62E-08	1,66E-10	1,70E-12	1,75E-14	1,75E-16
3	3,23E-10	2,23E-08	1,79E-08	2,68E-06	2,70E-07	3,04E-09	3,42E-09	3,41E-09	2,73E-09	1,57E-09	1,41E-09	1,44E-11	1,48E-13	1,52E-15	1,52E-17
2	1,07E-05	5,74E-05	4,58E-05	4,81E-05	1,19E-07	7,60E-11	7,33E-11	7,31E-11	1,43E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1	9,92E-06	6,85E-04	5,49E-04	7,56E-02	7,60E-03	8,61E-05	9,50E-05	9,56E-05	7,67E-05	3,84E-05	5,94E-05	4,05E-07	4,14E-09	4,26E-11	4,26E-13
0	3,26E-13	2,26E-11	1,79E-11	2,51E-09	2,53E-10	2,83E-12	3,12E-12	3,13E-12	2,51E-12	1,26E-12	1,26E-12	1,30E-14	1,36E-16	1,50E-18	1,57E-20
9	1,14E-03	6,32E-02	5,06E-02	2,13E-01	2,14E-02	2,12E-04	2,07E-04	2,08E-04	1,65E-04	8,24E-05	8,18E-05	8,16E-07	8,10E-09	8,09E-11	8,08E-13
8	1,25E-06	8,64E-05	6,91E-05	9,22E-03	9,31E-04	1,04E-05	1,14E-05	1,14E-05	9,12E-06	4,57E-06	4,67E-06	4,81E-08	4,92E-10	5,06E-12	5,19E-14
7	0,14E-06	4,10E-04	3,27E-04	1,13E-03	1,14E-04	1,15E-06	1,15E-06	1,15E-06	9,20E-07	4,59E-07	4,58E-07	4,59E-09	4,57E-11	4,58E-13	4,59E-15
6	7,12E-08	3,37E-06	2,48E-06	8,51E-07	5,00E-08	4,95E-11	1,48E-11	1,47E-11	1,17E-11	4,62E-12	1,78E-12	1,02E-14	8,66E-17	7,50E-19	7,56E-21
5	7,42E-07	5,12E-05	4,11E-05	4,33E-03	4,36E-04	4,89E-06	5,40E-06	5,41E-06	4,34E-06	2,17E-06	2,22E-06	2,28E-08	2,32E-10	2,37E-12	2,40E-14
4	1,76E-06	1,21E-04	9,60E-05	6,62E-03	6,69E-04	7,41E-06	8,03E-06	8,01E-06	6,42E-06	3,21E-06	3,28E-06	3,35E-08	4,92E-14	3,46E-12	3,46E-14
3	6,15E-05	3,94E-03	3,14E-03	8,27E-03	7,53E-04	3,52E-06	1,91E-06	1,90E-06	1,52E-06	7,29E-07	5,55E-07	6,29E-09	6,74E-11	7,13E-13	7,12E-15
2	9,50E-03	3,85E-01	3,07E-01	7,13E-01	6,06E-02	9,25E-06	9,84E-06	9,83E-06	6,53E-06	2,96E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1	3,46E+00	2,98E+01	2,37E+01	7,17E+00	9,73E-02	4,95E-05	3,65E-05	3,65E-05	4,03E-06	6,51E-62	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0	3,10E-03	1,97E-02	1,56E-02	1,64E-02	8,48E-05	3,69E-08	3,01E-08	3,01E-08	1,24E-09	3,64E-93	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
9	7,04E-07	4,46E-05	3,55E-06	3,79E-06	1,95E-08	6,84E-12	6,86E-12	6,85E-12	2,81E-13	8,30E-97	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
8	1,56E-01	5,38E+00	4,31E+00	4,46E+00	9,21E-02	1,71E-04	1,55E-04	1,53E-04	1,14E-04	5,56E-95	5,63E-05	5,74E-07	5,77E-09	5,86E-11	5,83E-13
7	1,22E-08	8,27E-07	6,60E-07	2,00E-05	2,02E-06	2,18E-08	2,28E-08	2,28E-08	1,83E-08	9,13E-09	9,21E-09	9,32E-11	9,33E-13	9,44E-15	9,44E-17
6	4,45E-12	3,08E-10	2,46E-10	3,68E-08	3,72E-09	4,20E-11	4,70E-11	4,69E-11	3,75E-11	1,68E-11	1,93E-11	1,99E-13	2,04E-15	2,10E-17	2,10E-19
5	2,68E-20	1,68E-18	1,48E-18	2,10E-16	2,20E-17	2,48E-19	2,76E-19	2,76E-19	2,21E-19	1,11E-19	1,13E-19	1,17E-21	1,20E-23	1,23E-25	1,24E-27
4	1,01E+02	4,33E+03	8,46E+02	6,73E+03	3,25E+02	9,32E+02	1,36E+03	1,37E+03	1,24E+03	3,26E+02	8,56E+01	6,32E+00	8,93E-01	2,09E-01	6,77E-02

Tabla 5.5.1 Rapidez de actividad ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) debido a la contribución de los radionúclidos 'padres', en los diferentes componentes del sistema de procesamiento de desechos gaseosos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kr83m	1.31E-03	9.12E-02	7.19E-02	1.48E+00	1.47E+00	1.39E+00	1.31E+00	1.31E+00	1.31E+00	1.31E+00	3.22E-01	1.52E-02	1.03E-03	7.02E-05	2.81E-05
Kr85m	2.54E-04	1.65E-02	1.30E-02	4.33E-02	4.24E-02	1.38E-02	4.44E-03	4.05E-03	3.92E-03	3.78E-03	6.06E+00	0.06E+00	0.06E+00	0.06E+00	0.06E+00
Kr85	1.32E-07	9.12E-06	7.31E-06	9.89E-04	9.98E-04	1.11E-03	1.22E-03	1.22E-03	1.22E-03	1.23E-03	5.27E-04	9.11E-05	1.56E-05	2.79E-06	1.05E-06
Xe131m	7.25E-08	5.01E-06	3.95E-06	1.23E-04	1.23E-04	1.23E-04	1.23E-04	1.23E-04	1.23E-04	1.23E-04	4.12E-06	5.50E-08	7.84E-10	2.38E-11	4.25E-12
Xe133m	1.33E-05	9.17E-04	7.27E-04	2.19E-02	2.19E-02	2.18E-02	2.17E-02	2.18E-02	2.18E-02	2.17E-02	6.41E-05	9.16E-08	6.29E-09	2.43E-09	2.97E-10
Xe133	2.07E-04	1.45E-02	1.14E-02	4.87E-01	4.91E-01	5.13E-01	5.37E-01	5.35E-01	3.30E-01	3.68E-01	4.27E-02	3.26E-03	2.44E-04	1.66E-05	7.87E-06
Xe135m	1.48E-02	1.02E+00	8.06E-01	8.12E+00	7.96E+00	6.33E+00	4.97E+00	4.96E+00	4.98E+00	4.93E+00	4.19E+00	1.43E+00	4.89E-01	1.58E-01	6.76E-02
Xe135	3.03E-02	2.08E+00	1.66E+00	7.96E+01	8.00E+01	7.19E+01	6.27E+01	6.17E+01	6.15E+01	6.10E+01	1.30E-01	2.58E-03	2.10E-04	7.45E-05	2.56E-07
I127	3.68E-18	2.56E-16	4.27E-17	3.04E-14	3.34E-16	7.35E-18	1.14E-17	1.14E-17	1.15E-18	2.84E-19	7.35E-19	1.17E-20	4.47E-06	2.08E-24	2.07E-25
I131	1.33E-08	9.22E-07	1.54E-07	1.08E-04	1.19E-06	2.60E-08	4.03E-08	4.04E-08	4.06E-09	1.00E-09	2.59E-09	4.19E-11	5.75E-13	7.33E-15	7.36E-17
I132	1.47E-07	1.02E-05	1.70E-06	9.93E-04	1.11E-05	2.62E-07	4.12E-07	4.11E-07	4.14E-08	1.04E-08	2.79E-08	4.55E-10	6.23E-12	7.95E-14	8.01E-15
Cs135	1.09E-11	7.59E-10	1.27E-10	8.59E-08	1.71E-09	1.11E-08	2.23E-08	2.23E-08	2.01E-08	4.39E-09	6.41E-13	4.82E-14	1.52E-14	5.97E-15	5.38E-21
Cs137	5.43E-06	3.58E-04	5.96E-05	4.96E-03	9.39E-05	1.29E-04	8.39E-05	7.85E-05	6.90E-05	1.42E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs138	1.57E+00	1.07E+02	1.79E+01	2.19E+03	6.14E+01	3.60E+02	4.03E+02	3.96E+02	3.56E+02	7.68E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs139	1.73E+01	9.33E+02	1.56E+02	6.95E+02	2.34E+01	3.46E-01	3.98E-02	3.90E-02	3.25E-02	3.68E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Rb88	6.83E-01	4.66E+01	7.82E+00	1.81E+03	6.45E+01	4.92E+02	8.85E+02	8.83E+02	7.93E+02	1.77E+02	8.10E+01	4.87E+00	4.03E-01	4.04E-02	6.64E-04
Rb87	4.83E+00	3.13E+02	5.25E+01	1.28E+03	4.44E+01	5.70E+01	2.60E+01	2.39E+01	2.09E+01	4.32E+00	4.56E-32	4.99E-05	7.98E-08	0.00E+00	0.00E+00
Rb90	5.64E+01	2.74E+03	4.58E+02	6.11E+02	3.93E+01	1.43E-01	3.40E-02	3.38E-02	2.78E-02	2.78E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Tabla 5.5.2 Rapidez de actividad ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) debido a la contribución de los radionúclidos 'abuelos', en los diferentes componentes del sistema de procesamiento de desechos gaseosos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kr85	2.34E-14	1.19E-10	9.48E-11	4.77E-08	4.79E-08	5.43E-08	6.04E-08	6.04E-08	6.06E-08	6.07E-08	6.22E-08	2.57E-08	1.05E-08	4.30E-09	1.72E-09
Xe131m	2.72E-17	1.47E-13	1.17E-13	2.62E-09	2.62E-09	2.63E-09	2.62E-09	2.61E-09	2.62E-09	2.62E-09	2.61E-09	1.05E-09	8.11E-08	1.67E-10	6.70E-11
Xe133	4.32E-12	2.34E-08	1.87E-08	8.47E-05	8.55E-05	9.66E-05	1.06E-04	1.09E-04	1.08E-04	1.08E-04	1.11E-04	4.56E-05	1.88E-05	7.71E-06	3.16E-06
Xe135	6.70E-08	3.58E-04	2.86E-04	4.14E-01	4.16E-01	4.59E-01	4.93E-01	4.93E-01	4.92E-01	4.93E-01	5.00E-01	2.04E-01	8.23E-02	3.34E-02	1.34E-02
I129	2.21E-22	1.20E-18	2.00E-19	1.54E-14	1.67E-16	3.99E-18	6.57E-18	6.58E-18	6.62E-19	1.67E-19	4.61E-19	7.64E-21	1.06E-22	1.38E-24	1.39E-26
I131	3.75E-13	2.01E-09	3.37E-10	1.67E-05	1.84E-07	4.32E-09	7.07E-09	7.06E-09	7.09E-10	1.76E-10	4.87E-10	8.07E-12	1.12E-13	1.44E-15	1.45E-17
Cs135	5.17E-18	2.79E-14	4.66E-15	9.26E-11	1.85E-12	1.21E-11	2.44E-11	2.45E-11	2.21E-11	4.81E-12	8.19E-12	1.76E-12	5.51E-13	2.18E-13	3.52E-15
Sr89	1.64E-07	8.27E-04	6.56E-04	5.16E-01	5.19E-02	8.97E-03	1.98E-02	1.98E-02	1.59E-02	7.98E-03	8.75E-03	1.97E-04	2.46E-05	6.83E-06	7.00E-08
Sr90	9.82E-09	3.39E-05	2.91E-05	1.36E-04	1.21E-04	8.54E-06	1.25E-05	1.25E-05	1.06E-05	5.02E-06	5.19E-06	6.23E-08	1.72E-09	8.74E-11	8.91E-13
Y91m	9.58E-06	2.43E-02	1.94E-02	3.28E+00	3.29E-01	4.30E-03	5.24E-03	5.24E-03	4.21E-03	2.11E-03	2.21E-03	2.32E-05	2.40E-07	2.53E-09	2.54E-11
Y91	5.81E-09	1.49E-05	1.19E-05	3.14E-03	3.16E-04	3.96E-06	4.80E-06	4.80E-06	3.84E-06	1.94E-06	2.02E-06	2.11E-08	2.20E-10	2.31E-12	2.31E-14
Y92	1.37E-05	1.60E-02	1.28E-02	1.80E+00	1.81E-01	2.06E-03	2.29E-03	2.29E-03	1.83E-03	9.14E-04	9.41E-04	9.68E-06	9.88E-08	1.02E-09	1.02E-11
Y93	2.37E-05	1.99E-02	1.58E-02	5.99E-01	6.08E-02	6.61E-04	6.96E-04	6.95E-04	5.57E-04	2.79E-04	2.81E-04	2.85E-06	2.86E-08	2.87E-10	2.89E-12
Y94	1.06E-03	5.96E-01	4.74E-01	1.65E+00	1.65E-01	1.50E-03	1.28E-03	1.28E-03	1.02E-03	5.00E-04	4.81E-04	4.59E-06	4.35E-08	4.14E-10	4.15E-12
Nb95	5.26E-13	5.96E-15	1.75E-10	2.81E-08	2.84E-09	3.18E-11	3.58E-11	3.58E-11	2.88E-11	1.44E-11	1.47E-11	1.52E-13	1.55E-15	1.61E-17	1.66E-19
Tc99	2.18E-19	1.18E-15	9.44E-16	1.90E-11	2.00E-12	2.30E-14	2.63E-14	2.64E-14	2.11E-14	1.05E-14	1.09E-14	1.13E-16	1.17E-18	1.22E-20	1.22E-22
Rh105	1.33E-09	5.74E-06	4.58E-06	2.92E-03	2.94E-04	3.33E-06	3.71E-06	3.71E-06	2.97E-06	1.49E-06	1.53E-06	1.58E-08	1.61E-10	1.66E-12	1.66E-14
Ba137m	5.00E-09	2.40E-05	1.90E-05	4.33E-03	3.96E-04	1.73E-04	3.27E-04	3.28E-04	2.63E-04	1.29E-04	1.23E-04	5.29E-06	9.31E-07	2.78E-07	2.87E-09
Ba139	4.88E-04	2.05E+00	1.62E+00	1.73E+02	1.73E+01	1.35E+00	2.34E+00	2.34E+00	1.88E+00	9.41E-01	9.82E-01	1.32E-02	2.86E-04	2.90E-05	2.97E-07
Ce141	2.99E-08	2.26E-05	1.80E-05	1.05E-04	2.80E-04	1.24E-07	1.42E-07	1.42E-07	1.14E-07	1.46E-06	1.49E-06	1.55E-08	1.58E-10	1.62E-12	1.62E-14
La140	9.75E-09	3.07E-05	2.47E-05	8.63E-03	8.71E-04	1.26E-05	1.42E-04	1.67E-05	1.33E-05	6.70E-06	7.13E-06	7.62E-08	8.15E-10	9.53E-12	9.60E-14
La142	9.24E-05	8.17E-02	4.94E-02	1.77E+00	1.78E-01	1.93E-03	2.01E-03	2.02E-03	1.61E-03	8.04E-04	8.09E-04	8.17E-06	8.17E-08	8.23E-10	8.23E-12
Pr143	3.91E-10	1.93E-07	1.54E-07	2.48E-05	2.50E-05	2.83E-08	3.15E-08	3.15E-08	2.53E-08	1.28E-08	1.30E-08	1.34E-10	1.37E-12	1.41E-14	1.41E-16
Pr144	1.01E-10	5.75E-08	4.40E-08	1.49E-05	1.51E-06	1.70E-08	1.88E-08	1.88E-08	1.51E-08	7.53E-09	7.70E-09	7.90E-11	8.04E-13	1.21E-15	8.29E-17
Sm147	1.68E-31	1.06E-27	8.49E-28	1.94E-23	1.96E-24	2.25E-26	2.59E-26	2.59E-26	2.07E-26	1.04E-26	1.07E-26	1.11E-28	1.14E-30	1.20E-32	1.20E-34
TOTAL	1.68E-03	2.77E+00	2.20E+00	1.83E+02	1.87E+01	1.83E+00	2.86E+00	2.87E+00	2.39E+00	1.45E+00	1.50E+00	2.17E-01	8.26E-02	3.34E-02	1.34E-02

Tabla 5.5.3 Porcentaje de contribución de los radioisótopos "padres" a la rapidez de actividad de cada grupo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TRIPTONES	1.00E+00	2.00E+00	3.00E+00	4.02E+00	5.02E+00	6.02E+00	7.02E+00	8.02E+00	9.02E+00	1.00E+01	1.10E+01	1.20E+01	1.30E+01	1.40E+01	1.50E+01
EMONES	1.63E-05	2.09E-03	2.12E-03	5.96E-01	6.37E-01	8.62E-01	9.34E-01	9.30E-01	9.26E-01	9.23E-01	6.70E-01	1.12E+00	1.92E+00	3.27E+00	3.29E+00
ALOGENOS	5.11E-09	4.05E-07	4.28E-07	3.21E-04	3.53E-04	8.74E-04	1.45E-03	1.46E-03	1.48E-03	1.84E-03	4.31E-02	3.01E-01	6.19E-01	8.35E-01	7.48E+00
ESIOS Y IBIDIOS	9.05E+01	9.99E+01	9.98E+01	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	9.97E+01	9.99E+01	9.92E+01	9.83E+01	9.97E+01
ROS	3.25E+01	8.57E+01	9.04E+01	2.31E+01	1.05E+01	6.97E-02	3.67E-02	3.66E-02	2.70E-02	1.96E-02	1.87E-02	1.42E-02	5.52E-05	5.41E-04	6.54E-04

Tabla 5.5.4 Contribución (%) de los radionúclidos precursores padres, a la rapidez de actividad total en cada componente del sistema de procesamiento de gases, en el caso básico.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
KRIPTONES	3.53E-09	7.13E-07	6.25E-06	4.19E-03	6.51E-03	8.48E-03	9.04E-03	9.09E-03	9.15E-03	9.80E-03	1.17E-02	5.75E-03	2.40E-03	9.43E-04	9.52E-04
XENONES	1.02E-07	2.06E-05	1.82E-04	2.43E-01	3.80E-01	4.74E-01	4.67E-01	4.64E-01	4.64E-01	4.95E-01	2.30E-01	5.42E-01	1.13E+00	2.17E+00	2.19E+00
HALOGENOS	3.60E-13	7.35E-11	1.36E-10	3.03E-06	5.27E-08	1.73E-09	3.10E-09	3.12E-09	3.16E-10	8.48E-11	1.61E-09	1.87E-10	1.57E-11	1.12E-12	2.86E-14
CESIOS Y RUBIDIOS	1.82E-04	2.74E-02	5.09E-02	1.81E+01	1.00E+00	5.13E+00	9.00E+00	8.99E+00	8.14E+00	1.93E+00	4.28E+00	1.84E+00	9.31E-01	5.27E-01	2.17E-02
OTROS	4.48E-05	1.25E-03	1.11E-02	1.61E-01	9.96E-03	5.79E-06	5.99E-06	6.01E-06	3.67E-06	1.40E-06	9.93E-06	7.21E-07	4.36E-08	2.51E-09	6.35E-11
TOTAL	2.27E-04	2.87E-02	6.22E-02	1.85E+01	1.40E+00	5.62E+00	9.48E+00	9.46E+00	8.61E+00	2.43E+00	4.50E+00	2.39E+00	2.06E+00	2.70E+00	2.21E+00

Tabla 5.5.5 Porcentaje de la contribución de los radionucleidos 'abuelos' a la rapidez de actividad de cada grupo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
KRIPTONES	8.06E-10	9.23E-14	9.48E-14	5.07E-10	5.44E-10	8.25E-10	1.01E-09	1.01E-09	1.02E-09	1.02E-09	5.31E-09	1.94E-08	6.05E-08	1.65E-07	1.69E-07
XENONES	2.41E-11	2.40E-07	2.44E-07	2.80E-03	2.99E-03	5.03E-03	6.76E-03	6.81E-03	6.83E-03	6.87E-03	7.68E-02	1.59E-01	3.23E-01	6.56E-01	6.56E-01
HALOGENOS	1.20E-14	7.35E-11	7.78E-11	4.80E-06	5.28E-06	1.31E-05	2.27E-05	2.28E-05	2.31E-05	2.88E-05	6.90E-04	4.89E-03	1.02E-02	1.39E-02	1.24E-02
CESIOS	5.79E-18	6.73E-16	6.72E-16	1.41E-12	7.92E-13	1.43E-12	1.87E-12	1.88E-12	1.89E-12	1.86E-12	1.01E-11	3.61E-11	1.36E-10	5.33E-10	5.29E-10
OTROS	2.75E-03	1.25E+00	1.31E+00	7.26E+01	8.25E+01	9.96E+01	9.96E+01	9.97E+01	1.00E+02	9.95E+01	9.96E+01	9.94E+01	9.11E+01	1.06E+02	1.06E+02

Tabla 5.5.6 Contribución (%) de los radionúclidos precursores abuelos, a la rapidez de actividad total en cada componente del sistema de procesamiento de gases, en el caso básico.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
KRIPTONES	5.28E-20	7.89E-16	6.97E-15	1.31E-10	2.06E-10	3.27E-10	4.14E-10	4.16E-10	4.21E-10	4.53E-10	3.27E-09	9.68E-09	2.42E-08	5.58E-08	5.64E-08
XENONES	1.51E-13	2.37E-09	2.10E-08	1.14E-03	1.78E-03	2.77E-03	3.38E-03	3.49E-03	3.42E-03	3.68E-03	2.63E-02	7.68E-02	1.90E-01	4.32E-01	4.37E-01
HALOGENOS	8.44E-19	1.33E-14	2.48E-14	4.61E-08	7.89E-10	2.60E-11	4.84E-11	4.87E-11	4.92E-12	1.33E-12	2.58E-11	3.04E-12	2.60E-13	1.87E-14	4.75E-14
CESIOS Y RUBIDIOS	1.17E-23	1.85E-19	3.43E-19	2.55E-13	7.92E-15	7.30E-14	1.67E-13	1.69E-13	1.53E-13	3.59E-14	4.31E-13	6.64E-13	1.27E-12	2.82E-12	1.15E-12
OTROS	3.79E-09	1.83E-05	1.61E-04	5.04E-01	7.86E-02	8.28E-03	1.62E-02	1.64E-02	1.32E-02	7.12E-03	5.24E-02	5.06E-03	7.20E-04	4.68E-04	1.21E-04
TOTAL	3.79E-09	1.83E-05	1.61E-04	5.05E-01	8.04E-02	1.10E-02	1.76E-02	1.98E-02	1.66E-02	1.08E-02	7.87E-02	8.19E-02	1.91E-01	4.32E-01	4.37E-01

Tabla 5.5.7 Contribución de dosis por radionúclidos padres para el caso básico.

	GAMMA (mrad)	GASES NOBLES BETA (mrad)	RADIONÚCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES (mrem)
Kriptones	5.60E-09	1.02E-07	0.00E+00
Xenones	2.25E-03	4.95E-04	0.00E+00
Halógenos	0.00E+00	0.00E+00	4.83E-12
Cesio y Rubidio	0.00E+00	0.00E+00	8.64E-06
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Otros	0.00E+00	0.00E+00	2.53E-13
TOTAL	2.25E-03	4.95E-04	8.64E-06

Tabla 5.5.8 Contribución de dosis por radionúclidos abuelos para el caso básico.

	GAMMA (mrad)	GASES NOBLES BETA (mrad)	RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES (mrem)
Kriptones	2.97E-13	3.36E-11	0.00E+00
Xenones	2.57E-04	3.29E-04	0.00E+00
Halógenos	0.00E+00	0.00E+00	9.57E-13
Cesios y Rubidios	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Productos de Activación	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Otros	0.00E+00	0.00E+00	8.84E-05
TOTAL	2.57E-04	3.29E-04	8.84E-05

Tabla 5.6.1 Dosis por grupos de radionúclidos debido a la liberación cuando no existe el sistema de procesamiento de gases.

	GASES NOBLES		RADIONÚCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES
	GAUVA (arad)	BETA (arad)	(arem)
Kriptones	1.04E103	6.26E102	0.00E100
Xenones	6.41E102	7.71E102	0.00E100
Halógenos	0.00E100	0.00E100	4.59E105
Cesios y Rubidios	0.00E100	0.00E100	3.68E102
Nitrógenos y Oxígenos	0.00E100	0.00E100	0.00E100
Productos de Activación	0.00E100	0.00E100	4.46E102
Otros	0.00E100	0.00E100	1.24E103
TOTAL	1.60E103	1.40E103	4.61E105

CAPITULO 6

ANALISIS Y RESULTADOS

Los resultados de la tabla 6.1.1 se grafican y se muestran en la figura 6.1.1, observándose que los gases nobles disminuyen su rapidez de actividad en el condensador principal (caja No. 4) un orden de magnitud debido al tiempo de retención provocado por la gran dimensión de dicho componente y porque la rapidez de transferencia de salida es mucho menor a la de entrada (tabla 5.1.2).

Del condensador principal hasta el secador del sistema (caja No.10) no se presenta algun cambio apreciable en la rapidez de actividad del grupo de gases nobles, sin embargo, los radionúclidos de vida media más corta de este grupo presentan decaimiento apreciable a lo largo de esos componentes (ver tablas 5.1.3 y 5.1.4).

Por la difícil remoción que tienen los gases nobles en el proceso, la disminución de su rapidez de actividad se basa principalmente en la acción que tienen las camas de carbón activado, como se puede apreciar en la tabla 6.1.1. En estos componentes la rapidez de actividad disminuye aproximadamente un orden de magnitud por cada cama de carbón. Con esto se obtiene en forma global que el sistema de procesamiento de desechos gaseosos, desde el componente 4 al 15, disminuye la rapidez de actividad de los gases nobles aproximadamente 4 órdenes de magnitud.

Los Halógenos por su parte tienen siempre una disminución en la rapidez de actividad a lo largo del sistema, teniendo por ejemplo una disminución apreciable en la rapidez de actividad de 4 órdenes de magnitud entre el condensador principal (caja No. 4) y el primer tanque de decaimiento (caja No. 6) y posteriormente en las camas de carbón activado donde se tiene una disminución aproximada de 3 órdenes de magnitud por cada cama de carbón. En forma global el sistema proporciona una reducción de 17 órdenes de magnitud en la rapidez de actividad total de los Halógenos.

Para el grupo de los Cesios y Rubidios, se tiene un comportamiento regido por la contribución de los radionúclidos precursores (Xenones y Kriptones respectivamente). Debido a esta contribución y al proceso de decaimiento la rapidez de actividad de dicho grupo, aumenta y disminuye durante la transferencia a los componentes del sistema. Este comportamiento se mantiene hasta que se llega al secador del sistema (caja No. 10). A partir de la primera cama de carbón (caja No. 11), se observa la disminución de rapidez de actividad debido al efecto importante de retención que tiene dicha cama de carbón sobre los radionúclidos precursores. Para las siguientes camas de carbón se presenta una disminución de rapidez de actividad a razón de un orden de magnitud por cada cama carbón. Finalmente para el último componente (postfiltro) del sistema, se presenta una disminución de aproximadamente dos órdenes de magnitud en la rapidez de actividad. En forma global el sistema proporciona una reducción de aproximadamente 7 órdenes de magnitud en la rapidez de actividad de los Cesios y Rubidios.

El grupo de Nitrógenos y Oxigenos presenta inicialmente la rapidez de actividad más grande que todos los demás grupos, esto se observa en los tres primeros componentes, sin embargo, en el condensador principal disminuye su rapidez de actividad aproximadamente 3 órdenes de magnitud debido al tiempo de retención que tienen estos radionúclidos de vida media corta (del orden de minutos), en este componente por su gran dimensión y debido a que la rapidez de transferencia de salida es más pequeña que la de entrada.

La mayor contribución a la rapidez de actividad es debida al N₁₆ (tabla 5.1.5), esto se presenta hasta el condensador del sistema de procesamiento de desechos gaseosos (caja No. 5) y a partir del primer tanque de decaimiento (caja No. 6) todos los radionúclidos de este grupo sufren decaimiento disminuyendo la rapidez de actividad hasta 6 órdenes de magnitud con respecto al valor en el condensador principal. Del primer tanque de decaimiento en adelante la mayor

contribución se deberá al N₂ el cual tiene la vida media mayor de todo el grupo.

A partir del primer tanque de decaimiento en adelante, la rapidez de actividad de este grupo tiene disminución, pero es más apreciable en las camas de carbón activado y en el posfiltro teniéndose hasta una disminución de aproximadamente 3 órdenes de magnitud por cada cama y dos órdenes de magnitud en el posfiltro, logrando en forma global, una reducción de 20 órdenes de magnitud de la rapidez de actividad para este grupo de Nitrógenos y Oxígenos.

La disminución de la rapidez de actividad de los Productos de Activación empieza a ser apreciable con 4 órdenes de magnitud, a partir del condensador del sistema (caja No. 5) y una disminución de 2 órdenes más en el primer tanque de decaimiento (caja No.6) Posteriormente hasta las camas de carbón se obtiene una disminución de aproximadamente 2 órdenes de magnitud en la rapidez de actividad por cada cama de carbón y también por el efecto del posfiltro (caja No. 15). Los productos de activación tienen entonces en forma global una disminución de aproximadamente 15 órdenes de magnitud en su rapidez de actividad por el efecto del sistema.

Finalmente el grupo denominado como "otros", constituido por Estroncios (Sr), Barios (Ba), Tecnecios (Te) e Itrios (Y), tiene aumento y disminución en la rapidez de actividad desde la turbina de alta presión (caja No. 1) hasta el condensador principal (caja No.4). Dicho comportamiento es debido al efecto que produce la contribución de los radionúclidos precursores del Sr y Ba, los cuales tienen como radionúclidos precursores a los Kriptones (Kr) y Xenones (Xe). Por estos radionúclidos precursores, la rapidez de actividad disminuye en forma considerable en las camas de carbón con aproximadamente 2 órdenes de magnitud por cada cama de carbón y por el efecto del posfiltro (caja No. 15), este grupo de "otros" tiene una disminución de 9 órdenes de magnitud en su rapidez de actividad por la acción del sistema de procesamiento de desechos gaseosos.

Analizando los valores de la rapidez de actividad total por todos los grupos (tabla 6.1.1), se observa que durante los tres primeros componentes (turbina de alta presión, separador de humedad y turbina de baja presión), la mayor contribución es debida al grupo de los Nitrógenos y Oxígenos, sin embargo, por la vida media tan pequeña (del orden de minutos o segundos) que presentan, disminuyen rápidamente su rapidez de actividad en el condensador principal y en los tanques de decaimiento. Esto ocasiona que a partir del condensador principal, los gases nobles sean los más contribuyentes y que además estos impongan el comportamiento de la rapidez de actividad total de todos los grupos a lo largo de todo el sistema de procesamiento de desechos gaseosos. Por otra parte, en la figura 6.1.1, se observa la importancia que tienen las camas de carbón en el proceso de los desechos gaseosos para disminuir la rapidez de actividad total de todos los radionúclidos en el proceso.

6.1.2 RADIONUCLIDOS PRECURSORES

Con los valores de rapidez de actividad debido a la contribución de radionúclidos precursores (tablas 5.5.1 y 5.5.2) se calculó el porcentaje con que contribuyen estos radionúclidos al total de rapidez de actividad de cada grupo y por todos los grupos de radionuclidos.

6.1.2.1 CONTRIBUCION DE PADRES

En la tabla 5.5.3 se muestra el porcentaje correspondiente a la contribución de radionúclidos padres donde se observa que los grupos de Xenones y Halógenos presentan un porcentaje menor al 1% a lo largo de todos los componentes del sistema.

Para el grupo de Kriptones se presenta una contribución a la rapidez de actividad en forma creciente a lo largo de todo el sistema y esto se debe al decaimiento que tienen los Bromos, padres de los Kriptones.

Para el grupo de Cesios y Rubidios se presenta un porcentaje de contribución a la rapidez de actividad total del grupo, de un 90% a 100% a lo largo de todos los componentes del sistema. Esto se debe a que los radionúclidos padres de los Cesios y Rubidios, los gases nobles, son los más contribuyentes y los más difíciles de remover, ya que todos los componentes tienen mayor eficiencia para disminuir la rapidez de actividad de los radionúclidos distintos a los gases nobles.

El grupo de "Otros" tiene un porcentaje de contribución de un 90% aproximadamente en el Separador de Humedad y en la Turbina de Baja Presión (cajas No.2 y 3 respectivamente) y de este componente en adelante el porcentaje disminuye considerablemente hasta menos de 1% a partir del primer tanque de decaimiento (caja No. 6). Este

porcentaje es debido principalmente a la contribución del Sr⁹¹, Sr⁹², Sr⁹³, Sr⁹⁴ y Ba¹⁴², los cuales tienen como radionúclidos padres al Kr⁹¹, Kr⁹², Kr⁹³, Kr⁹⁴ y Xe¹⁴² respectivamente. Estos radionúclidos padres tienen vida media muy corta, del orden de segundos, por esto en los primeros componentes aumenta su contribución a los radionúclidos hijos aumentando hasta un 86% de un total de 90% en la Turbina de Baja Presión y después de este componente la contribución se hace despreciable debido a que los radionúclidos padres han decaído lo suficiente (tabla 5.1.5) como para que su contribución se haga despreciable con respecto al total de rapidez de actividad de los radionúclidos hijos.

En la tabla 5.5.4 se muestra el porcentaje de la contribución, que tiene el grupo de radionúclidos padres al total de rapidez de actividad en cada componente del sistema. Se observa de esta tabla que en los componentes del sistema, se tiene la mayor contribución de los radionúclidos padres sobre el grupo de Xenones y el grupo de Cesios y Rubidios. Las contribuciones para estos radionúclidos se presentan en la figura 6.1.2.1. Se observa de esta, que la mayor contribución es debida a los radionúclidos padre del grupo de Cesios y Rubidios que son los Xenones y los Kriptones respectivamente, teniéndose un valor máximo de 18% en el Condensador Principal y de este componente en adelante disminuye hasta menos de 1% en el Postfiltro (caja No.15) que es el último componente del sistema. En la primera cama de carbón (caja No. 11) se nota un incremento debido al decaimiento que tienen los gases nobles en dicho componente, sin embargo, en los componentes posteriores a pesar del decaimiento de los radionúclidos padres, no se tiene un aumento en la rapidez de actividad de los radionúclidos hijos sino que al contrario disminuye porque los radionúclidos padres tienen un valor de rapidez de actividad cada vez menor a medida que pasan por las camas de carbón.

Por otro lado el grupo de Xenones presenta un porcentaje menor al grupo de Cesios y Rubidios, y a partir de la primera cama de carbón empieza aumentar de menos de 1% hasta más de 2%. Aunque el incremento es despreciable, resulta de interes saber por qué al final del sistema empieza a subir dicho porcentaje. Este aumento se debe a que los radionúclidos padres (Iodos) de los Xenones tienen mayor decaimiento en las camas de carbón (tabla 6.1.1), produciendo un aumento mayor en la contribución de los radionúclidos padres sobre los Xenones. Además de que los gases nobles disminuyen su rapidez de actividad en dichas camas de carbón y por lo tanto la rapidez de actividad total, porque los gases nobles son los que más contribuyen al total (tabla 6.1.1), esto hace que el porcentaje de la contribución de los radionúclidos padres de los Xenones a la rapidez de actividad total aumente.

6.1.2.2 CONTRIBUCION DE ABUELOS

En la tabla 5.5.5 se presenta el porcentaje correspondiente a la contribución de radionúclidos abuelos a la rapidez de actividad total de cada grupo de radionúclidos. Se observa de esta tabla que para todos los grupos de radionúclidos con excepción del grupo de "Otros", se tiene un porcentaje de contribución menor al 1% a lo largo de todos los componentes del sistema.

Para el grupo de "Otros" existe un porcentaje de 70% a 100% desde el Condensador Principal (caja No.4) hasta el último componente (Postfiltro). Esto es debido principalmente al radionúclido Ba¹³⁹ (tabla 5.5.2) que tiene como radionúclido abuelo al Xe¹³⁹ con vida media del orden de segundos. A partir de la segunda Cama de carbón (caja No.12) comienza a notarse el porcentaje de la contribución del radionúclido abuelo Kr⁸⁹ sobre el radionúclido hijo Sr⁸⁹ y el porcentaje de contribución del Xe¹³⁹, radionúclido abuelo del Ba¹³⁹, comienza a disminuir. A partir de la segunda cama de carbón (caja No. 12) la contribución total de los

radionúclidos abuelos sobre los hijos es de un 19%, obtenido por la contribución del radionúclido abuelo Kr^{89} sobre el radionúclido hijo Sr^{89} y un 81% del Xe^{139} sobre el Ba^{139} (tabla 5.1.5 y 5.5.2). Esto último se debe a que el Xe^{139} decae más rápidamente que el Kr^{89} , por la vida media que tienen, y cuando llegan a la segunda cama de carbón activado, el Xe^{139} ha decaído lo suficiente que su contribución al Ba^{139} disminuye con respecto a los componentes anteriores y empieza a notarse la contribución del Kr^{89} sobre el Sr^{89} .

Por otra parte, la explicación de porqué se tiene un porcentaje de contribución de hasta un 100% del radionúclido abuelo con respecto a la rapidez de actividad total del grupo de "Otros" es la siguiente:

Aún cuando el radionúclido precursor (Xe^{139}) tiene una vida media muy corta, dicho radionúclido presenta gran decaimiento a lo largo de todos los componentes del sistema (ver tabla 5.1.5), teniendo por ejemplo una disminución de hasta 6 órdenes de magnitud en su rapidez de actividad cuando sale del segundo tanque de decaimiento (caja No.7) con respecto a la rapidez de actividad inicial (caja No. 1). Sin embargo, después de este componente el porcentaje de contribución sigue siendo considerable. Lo que sucede es que la pequeña contribución que tiene el Xe^{139} sobre el Ba^{139} es mucho más grande que la del resto de radionúclidos, como se puede ver en la tabla 5.5.2. Por ejemplo en el Prefiltro del sistema (caja No.8) se tiene contribución del abuelo al hijo de $2.34 \mu\text{Ci}/\text{seg}$ (tabla 5.5.2) y la rapidez de actividad total del grupo es de $2.38 \mu\text{Ci}/\text{seg}$ (tabla 6.1.1) lo que representa un 98% del total, sin embargo, los $2.34 \mu\text{Ci}/\text{seg}$ con respecto a la rapidez de actividad total de $1.45 \times 10^4 \mu\text{Ci}/\text{seg}$ (tabla 6.1.1) son depreciables.

En la tabla 5.5.6 se muestra el porcentaje de la contribución que tiene el grupo de radionúclidos abuelos a la rapidez de actividad total por componente del sistema. Se observa de esta tabla que para los componentes del sistema y para todos los grupos de radionúclidos, el porcentaje no rebasa el 1%.

6.1.3 VARIACION DE FLUJO EN EL SISTEMA

En la tabla 5.1.6 se muestran los valores de la rapidez de actividad liberada por el sistema de procesamiento de desechos gaseosos, cuando se realizan los cambios en el valor del flujo que proviene de la salida del condensador principal (caja No. 4) y que alimenta al sistema.

En la gráfica 6.1.3 se muestra la rapidez de actividad liberada por el sistema en función de la variación del flujo, estos valores se muestran por grupos de radionúclidos. Se observa que la rapidez de actividad aumenta al incrementarse el valor del flujo, esto se debe principalmente al hecho de que al aumentar el flujo los gases viajan más rápido y tienen menos tiempo de tránsito y por lo tanto menos decaimiento en los componentes del sistema.

Para cada uno de los grupos de radionúclidos se tiene una variación en la rapidez de actividad para cada valor del flujo. Para el caso de los gases nobles se tiene un aumento de aproximadamente un orden de magnitud al variar el flujo de 20 a 50 pies³/min, lo mismo sucede con los grupos de Nitrógenos y Oxígenos, y Productos de activación, sin embargo para el grupo de Cesios y Rubidios se tiene una variación de aproximadamente de 2 órdenes de magnitud y en cambio para el grupo de los Halógenos la rapidez de actividad prácticamente se mantiene constante con la variación de flujo. El comportamiento para el grupo de "otros" es semejante al de Halógenos, su variación es pequeña y no existe cambio de orden de magnitud.

Como se puede observar en la figura 6.1.3 los gases nobles son los que presentan mayor rapidez de actividad durante el cambio del valor de flujo y por su parte el grupo de Halógenos junto con el grupo de Nitrógenos y Oxígenos son los que presentan menor rapidez de actividad a la salida del sistema de procesamiento de desechos gaseosos al variar el valor de flujo.

La actividad radiactiva integrada en un año es proporcional a la rapidez de actividad liberada por el sistema porque se ha considerado que la liberación se realiza con una rapidez constante durante todo el año. Dicha proporcionalidad tiene como consecuencia que la actividad integrada tenga un comportamiento semejante a la rapidez de actividad durante la variación del flujo así que lo mismo que se indica para la rapidez de actividad es aplicable a la actividad radiactiva integrada.

6.1.4 VARIACION DEL No. DE CAMAS DE CARBON

En la tabla 5.1.6 se muestran los valores de rapidez de actividad liberada por el sistema de procesamiento de desechos gaseosos cuando dicho sistema cuenta con 2, 3, 4 ó 5 camas de carbón activado. Estos valores son graficados en la figura 6.1.4, se observa de dicha figura que la rapidez de actividad de todos los grupos disminuye al aumentar el número de camas de carbón.

La rapidez de disminución de la rapidez de actividad con respecto al número de camas de carbón depende del grupo de radionúclidos en cuestión. Por ejemplo, para los Kriptones se tiene una disminución de 2 órdenes de magnitud cuando el sistema cambia de 2 a 5 camas de carbón, en cambio los Xenones presenta menos de los 2 órdenes, esto es debido a que las camas de carbón son más eficientes para retrasar y por lo tanto dan mayor decaimiento a los Kriptones que a los Xenones por el valor que tienen los coeficientes de adsorción dinámica (sección 4.1) de dichos radionúclidos.

Para el resto de los grupos se tiene una disminución apreciable con más de 2 órdenes de magnitud, teniendo por ejemplo al grupo de Halógenos y al grupo de Nitrógenos y Oxígenos con una disminución de hasta 8 órdenes de magnitud en la rapidez de actividad al variar de 2 a 5 camas de carbón activado. Esto indica que para estos radionúclidos, las camas de carbón son muy eficientes para lograr la disminución de su rapidez de actividad.

Los gases nobles para esta parte, así como en el caso de la variación de flujo, son los más contribuyentes cuando el número de camas de carbón del sistema varía. Como ya se ha mencionado, las camas de carbón son los componentes del sistema que tienen mayor efectividad sobre los gases nobles para lograr la disminución de su rapidez de actividad y sin embargo, esta sigue siendo mayor que la del resto de radionúclidos. Esto último es porque las camas de carbón tienen mayor efectividad sobre el resto de los radionúclidos,

para disminuir su rapidez de actividad que para los gases nobles. Por este hecho la rapidez de actividad total presenta un comportamiento regido por los gases nobles.

La actividad radiactiva integrada en un año por operación de la central nuclear (tabla 5.1.7), es decreciente al aumentar el número de camas de carbón y este comportamiento se hace más pronunciado para todos los radionúclidos a excepción de los gases nobles.

Aunque las camas de carbón son eficientes para los gases nobles, éstos son los que disminuyen más lentamente en su actividad liberada, con respecto al resto de radionúclidos y nuevamente los que imponen el comportamiento de la actividad total liberada.

6.1.5 VARIACION DEL No. DE TANQUES DE DECAIMIENTO.

La rapidez de actividad liberada por el sistema de procesamiento de desechos gaseosos en función del número de tanques de decaimiento en el sistema se muestra en la tabla 5.1.6 y es representada en la figura 6.1.5. De dicha figura se observa que el comportamiento de la rapidez de actividad en general es decreciente conforme aumenta el número de tanques.

Por el efecto que tienen los tanques de decaimiento sobre los radionúclidos de vida media corta, el grupo de Nitrógenos y Oxígenos, es el que se afecta más con la variación del número de tanques, teniéndose así una disminución de aproximadamente 2 órdenes de magnitud por la variación de 1 a 4 tanques de decaimiento.

De los valores de la tabla 5.1.6 se observa que al tener 2 ó 4 tanques de decaimiento en el sistema, se obtiene un resultado similar de rapidez de actividad, es decir, para los diferentes grupos de radionúclidos la rapidez de actividad es prácticamente la misma. Esto es debido a que los radionúclidos con vida media mas corta tienen decaimiento cuando el sistema tiene 1 ó 2 tanques, quedando con rapidez de actividad despreciable comparada con la del resto de los radionúclidos, disminuyendo así la rapidez de actividad total del grupo.

Sin embargo cuando el sistema aumenta de 2 a 4 tanques, el decaimiento se realiza en forma más lenta porque los radionúclidos presentes son los de vida media más grande y por lo tanto no se tiene una variación importante en la rapidez de actividad total por la adición de otros dos tanques de decaimiento.

Cuando se tiene 1 ó 2 tanques en el sistema se tiene una variación de uno ó dos órdenes de magnitud de diferencia, dependiendo del grupo de radionúclido de que se trate. Para el grupo de Halógenos, Nitrógenos y Oxígenos y el grupo de Productos de

Activación se tiene una disminución aproximada de 2 órdenes de magnitud al variar de 1 a 2 tanques en el sistema, en cambio para el grupo de Cesios y Rubidios se tiene un cambio menor a un orden de magnitud y lo mismo sucede con el grupo de "otros". Por su parte los gases nobles como grupo no tienen variación ni de un orden de magnitud y esto es debido a que no es suficiente el retardo de los tanques para producir un efecto apreciable en la disminución de su rapidez de actividad. Sin embargo, los gases nobles de vida media muy corta (del orden de segundos) como del Kr⁸⁰ al Kr⁸⁵ y del Xe¹³⁵ al Xe¹⁴⁴ presentan un gran decaimiento en estos tanques (componentes No.6 y 7, tabla 5.1.5).

La rapidez de actividad total no varía notablemente por los cambios en el número de tanques de decaimiento, debido a que la mayor contribución es debida a los gases nobles y estos como grupo no presentan gran variación en su rapidez de actividad.

Es importante mencionar que a pesar de que no existe un cambio significativo en la rapidez de actividad cuando el sistema varía de 2 a 4 tanques de decaimiento, si existe una disminución significativa en la rapidez de actividad de los radionúclidos de vida media corta (del orden de segundos). Cuando el sistema cuenta con solamente 1 tanque de decaimiento, como puede observarse en la tabla 5.1.5. La rapidez de actividad de los radionúclidos de vida media corta, es reducida significativamente al pasar por el primer tanque de decaimiento (caja No.6).

La actividad integrada en un año de operación de la Central Nuclear en función del número de tanques de decaimiento, tiene un comportamiento decreciente, sin embargo, al aumentar de 2 a 4 tanques de decaimiento no existe un cambio significativo para algún grupo de radionúclidos. El comportamiento de la actividad total integrada en un año es impuesto por el grupo de los gases nobles, por su gran contribución.

6.2 DOSIS POR LIBERACION DE DESECHOS GASEOSOS.

6.2.1 CASO BASICO

Integrando la rapidez de actividad total liberada por el sistema de procesamiento de desechos gaseosos durante un año de operación de la Central Nuclear, se calcula la actividad integrada para cada uno de los grupos de radionúclidos (tabla 5.1.7) para el caso básico. Con estos valores de actividad radiactiva integrada y el uso del modelo dosimétrico de la sección 4.3, se calcula la dosis, como se especifica en dicha sección. En la tabla 5.1.8 se muestra la dosis gamma y beta debida a los gases nobles, de las cuales la mayor contribución es debida al Kr^{85} con un 70% para la dosis gamma y al Xe^{133} para la dosis beta con un 46%. Se muestra también la dosis por las diferentes rutas de exposición debida a los radionúclidos distinto a los gases nobles. Para la ruta de inhalación se tiene que el Sr^{90} y Rb^{86} son los contribuyentes principales, el primero ocasiona la mayor dosis a hígado, y el segundo la mayor dosis a pulmón.

Para la ruta por exposición a suelo contaminado se tiene al Rb^{86} como el más contribuyente. Para la ruta de PASTO-VACA-LECHE se tiene al Sr^{90} como el radionúclido más contribuyente. Así también el Sr^{90} es el más contribuyente para las rutas por ingestión de vegetales y la ruta PASTO-VACA-CARNE.

Como se puede observar los radionúclidos que ocasionan mayor dosis son el Sr^{90} y Rb^{86} , esto se debe principalmente a que son los radionúclidos distintos a los gases nobles, que presentan mayor rapidez de actividad en la liberación y además los que tienen los factores de dosis más altos para las diferentes rutas de exposición consideradas.

En la tabla 5.1.9 se muestra los valores de dosis por grupos de radionúclidos para el caso básico. De esta tabla se observa que de la dosis gamma y beta debida a los gases nobles, la mayor contribución es por el grupo de los Kriptones. Aunque los Xenones tienen mayor rapidez de actividad en la liberación (tabla 6.1.1), los Kriptones son los que más contribuyen a la dosis por tener estos los factores de dosis más altos.

En cambio para la dosis debido a radionúclidos distintos a los gases nobles el grupo de Cesios y Rubidios así como el grupo "Otros" son los mas contribuyentes y esto se debe a la contribución del Rb88 y Sr90 respectivamente.

6.2.2 DOSIS POR RADIONUCLIDOS PRECURSORES

6.2.2.1 CONTRIBUCION DE RADIONUCLIDOS PADRES

Por la contribución que tienen los radionúclidos padres se calcula la dosis como se indica en las guías numéricas. En la tabla 5.5.7 se muestran los valores de dosis producidos solamente por la contribución de la rapidez de actividad que tienen los padres. Se muestra que la dosis por gamma debida a los gases nobles representa un 4% de la dosis producida por toda la rapidez de actividad de los gases nobles liberados (tabla 5.1.9). Para la dosis por beta debida a gases nobles representa un 1% de la dosis producida por toda la rapidez liberada de los gases nobles. La dosis para radionúclidos distintos a los gases nobles producida por la contribución de los radionúclidos padres representa un 8.5% de la producida por la rapidez de actividad total liberada por los radionúclidos distintos a los gases nobles.

6.2.2.2 CONTRIBUCION POR RADIONUCLIDOS ABUELOS

En la tabla 5.5.8 se muestran las dosis producidas por la contribución de los radionúclidos abuelos. La dosis por gamma y beta debido a los gases nobles por la contribución de los radionúclidos abuelos representa un porcentaje menor al 1% de la dosis producida por toda la rapidez de actividad de los gases nobles liberados. En cambio, para los radionúclidos distintos a los gases nobles se tiene un 88% de la dosis producida por toda la rapidez de actividad liberada de todos los radionúclidos distintos a los gases nobles. Esto último es debido a que el radionúclido que más contribuye es el Sr⁹⁰ con un 88% (tabla 5.1.8) de contribución a la dosis total y además que el 100% de su rapidez de actividad es debida al

decaimiento de su radionúclido abuelo Kr^{86} (ver caja No. 15 de las tablas 5.1.5 y 5.5.2). Aunque el 88% de la dosis sea provocado por la contribución del radionúclido abuelo Kr^{86} , la dosis total por el grupo de radionúclidos distintos a los gases nobles es despreciable comparada con la que producen los gases nobles.

ESTA TESIS NO PUEDE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

6.2.3 DOSIS POR LA VARIACION DE FLUJO DEL SISTEMA

A partir del cálculo de la actividad radiactiva integrada (tabla 5.1.7) cuando se tiene la variación del valor del flujo, se determinan los valores de dosis como lo piden las guías numéricas establecidas en la sección 4.3. Los valores de dosis por grupos de radionúclidos se muestran en las tablas 5.2.3, 5.2.4 y 5.2.5 correspondientes a los valores de 20, 40 y 50 pies³/min respectivamente, y en la tabla 5.1.9 el correspondiente a 30 pies³/min (caso básico), de estos valores se grafica la dosis total y se muestra en la figura 6.2.3.1. Se observa que la dosis por gammas y betas debida a los gases nobles en función del flujo tiene un comportamiento creciente. La dosis gamma debida a los gases nobles aumenta un poco más de un orden de magnitud al variar los valores de flujo de 20 a 50 pies³/min. Por su parte la dosis beta tiene un comportamiento similar a la dosis gamma, sin embargo su variación es más lenta que la dosis por gammas teniéndose así un aumento de hasta un orden de magnitud al variar los valores de flujo.

La dosis total debido a radionúclidos distintos a los gases nobles por todas las rutas especificadas en la sección 4.3 tienen una variación muy pequeña en función de los valores de flujo, por lo que prácticamente se mantiene constante como se muestra en la figura 6.2.3.1 y además es de 2 a 3 órdenes de magnitud más pequeña que la dosis por los gases nobles al variar el flujo.

En la figura 6.2.3.2 se muestra la dosis total debida a radionúclidos distintos a los gases nobles por cada una de las rutas. Se observa de ésta que el comportamiento de la dosis por inhalación y por exposición a suelo, es creciente al aumentar el valor del flujo. Por su parte la dosis por ingestión de leche, carne y vegetales es decreciente al aumentar el flujo. Esto último no era de esperarse, ya que al aumentar el valor del flujo los

radionúclidos tienen menos tiempo de retención y por lo tanto mayor rapidez de actividad los que produciría mayor dosis. El comportamiento de la dosis por estas 3 últimas rutas es gobernado por el Sr^{90} , ya que es el más contribuyente para dichas rutas y además en el único valor donde impacta la variación de flujo es en la rapidez de actividad liberada, entonces la dosis depende del comportamiento de la rapidez de actividad liberada del Sr^{90} y esta disminuye al aumentar el flujo (tabla 5.1.6).

La explicación de porque el Sr^{90} disminuye su rapidez de actividad al aumentar el valor del flujo es debido a que la rapidez de actividad del radionúclido abuelo (Kr^{90}) del Sr^{90} (tabla 5.5.2) representa el 100% de su rapidez de actividad total liberada (tabla 5.1.5) del sistema. El Sr^{90} depende del comportamiento que tiene el abuelo (Kr^{90}) el cual al aumentar el flujo reduce su decaimiento y por lo tanto su contribución al Sr^{90} por lo que la rapidez de actividad del Sr^{90} disminuye al aumentar el valor del flujo.

Se observa también en la figura 6.2.3.2 que la mayor contribución de dosis es debida a la ingestión de leche durante la variación de flujo de 20 a 50 pies³/min. En el valor de 50 pies³/min, también la dosis por exposición a suelo contribuye.

6.2.4 DOSIS POR LA VARIACION DEL No. DE CAMAS DE CARBON

Con la actividad radiactiva integrada se determinó la dosis como se establece en las guías numéricas (sección 4.3). Dichos valores de dosis se muestran en las tablas 5.3.3, 5.3.4 y 5.3.5 correspondientes al sistema cuando presenta 2,3 y 5 camas de carbón activado respectivamente y en la tabla 5.1.9 la correspondiente a 4 camas de carbón (caso básico). Los valores de dosis son presentados por grupos de radionúclidos y la dosis total en función del número de camas de carbón es graficada y mostrada en la figura 6.2.4.1.

La dosis por gammas y la dosis por betas debido a los gases nobles tienen un comportamiento similar, como función del número de camas de carbón activado. Dicho comportamiento es decreciente y la rapidez de disminución depende del No. de camas de carbón en el sistema. Por ejemplo, la dosis gamma disminuye un orden de magnitud por cada cama de carbón que se agregue al sistema, en cambio, la dosis por beta disminuye más lentamente a menos de un orden de magnitud por cada cama de carbón.

La dosis total debido a radionúclidos distintos a los gases nobles es mostrada también en la figura 6.2.4.1. Se observa que el comportamiento de dicha dosis es decreciente con la variación del No. de camas de carbón, teniendo una variación de más de un orden de magnitud al cambiar de 2 a 3 camas de carbón y después de 3 a 5 camas la variación es menor de un orden de magnitud.

En la figura 6.2.4.2 se muestran las dosis en función del número de camas de carbón por cada ruta de exposición debido a radionúclidos distintos a los gases nobles. El comportamiento de la dosis para todas las rutas es decreciente al aumentar las camas de carbón.

La dosis por la ruta por inhalación disminuye un orden de magnitud por cada cama de carbón que se agregue. Al igual que la dosis por exposición a suelo. En cambio para la dosis por ingestión

de leche, vegetales y carne, se tiene una disminución de un orden de magnitud y hasta 2 órdenes de magnitud, en el caso por ingestión de carne, cuando el sistema cambia de 2 a 3 camas de carbón. Cuando el sistema tiene más de 3 camas, la dosis por ingestión presenta una disminución menor a un orden de magnitud, a excepción de la dosis por ingestión de carne que presenta una variación de un orden de magnitud cuando el sistema aumenta de 3 a 4 camas de carbón y después al aumentar de 4 a 5 camas de carbón, la dosis por ingestión de carne disminuye a menos de un orden de magnitud. Se observa también de la figura 6.2.4.2, que la mayor contribución es debida a la dosis por ingestión de carne cuando el sistema cuenta con 2 ó 3 camas de carbón y la dosis por ingestión de leche es la más contribuyente cuando el sistema presenta 4 ó 5 camas de carbón activado.

6.2.5 DOSIS POR LA VARIACION DEL No. DE TANQUES DE DECAIMIENTO.

Con los valores de actividad integrada (tabla 5.1.7) cuando el sistema presenta variación del No. de tanques de decaimiento se calcula la dosis como se especifica en la sección 4.3. Dichos valores de dosis por grupos de radionúclidos, se muestran en las tablas 5.4.3 y 5.4.4 cuando el sistema presenta 1 ó 4 tanques de decaimiento y en la tabla 5.1.9 se muestran las dosis cuando el sistema presenta 2 tanques de decaimiento (caso básico).

Los valores de dosis en función del No. de tanques de decaimiento son graficados y mostrados en la figura 6.2.5.1. Se observa de dicha figura que al aumentar de 1 a 4 tanques de decaimiento, la dosis tiene un comportamiento decreciente. Para la dosis por gammas y betas debida a los gases nobles se tiene una disminución menor a un orden de magnitud, lo mismo ocurre para la dosis por radionúclidos distintos a los gases nobles.

En la figura 6.2.5.2 se muestran las dosis por radionúclidos distintos a los gases nobles, por cada ruta de exposición. Se observa que la dosis como función del aumento del número de tanques de decaimiento es decreciente. También se muestra que la dosis más contribuyente es por ingestión de leche.

La dosis por cualquier ruta de exposición se mantiene prácticamente constante por el aumento de 2 a 4 tanques de decaimiento y por tanto la dosis total. Este hecho es debido a que la mayor contribución es debida al Sr⁹⁰ y como su rapidez de actividad no varia al cambiar el sistema de 2 a 4 tanques de decaimiento, debido a la vida media tan grande que tiene dicho radionúclido (del orden de años), por lo tanto tampoco variará la dosis debido a este radionúclido.

6.3 CUMPLIMIENTO CON LAS GUIAS REGULADORAS

En la tabla 6.3 se resumen los valores de la dosis total para cada uno de los escenarios planteados para el sistema de procesamiento de desechos gaseosos, también se muestra la dosis producida cuando la Central Nuclear no cuenta con dicho sistema. Como se observa de la tabla 6.3, todos los valores cuando el sistema presenta variación en sus parámetros, a excepción de cuando el sistema presenta 2 camas de carbón, no rebasan el 1% de los límites establecidos. Para el caso cuando el sistema presenta 2 camas de carbón se tiene aproximadamente un 50% del valor límite para la dosis por gamma debido a los gases nobles.

Así también se observa, que cuando la Central no cuenta con el sistema, no solo se rebasan los límites sino que para el caso de dosis debido a los gases nobles los valores son aproximadamente 2 órdenes de magnitud arriba de los límites y más de 4 órdenes de magnitud para la dosis debida a los radionúclidos distintos a los gases nobles.

El caso que produce mayor dosis, cuando se tiene sistema, corresponde a tener solamente 2 camas de carbón, produciéndose una dosis por gamma y beta debida a los gases nobles de 3 órdenes de magnitud y dosis debida a radionúclidos distintos a los gases nobles de aproximadamente 7 órdenes de magnitud menor a la producida por la liberación de la Central cuando no se tiene sistema.

En la tabla 6.3 se puede apreciar la gran disminución que se tiene en la dosis producida por la liberación de gases al tener la operación del sistema de procesamineto de gases. Sin embargo, entre un escenario y otro, es necesario precisar las condiciones metereológicas y topográficas alrededor de la Central Nuclear con la finalidad de determinar adecuadamente los factores correspondientes al medio ambiente. Esto es importante ya que una variación en magnitud de estos valores implica una variación en magnitud de la dosis por la proporcionalidad que se da, pudiendo de esta manera, quedar fuera de los límites establecidos.

6.4 EVALUACION DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS.

Para realizar la evaluación del sistema, es necesario analizar los dos siguientes puntos:

- a) La manera como se reducen o se eliminan los radionúclidos presentes en el gas de proceso a lo largo del sistema.
- b) La determinación de la dosis que se produce por la liberación del sistema.

Para el estudio del primer punto se utiliza el comportamiento de la rapidez de actividad y con base a esta variable se realiza en la sección 6.1 el estudio a lo largo de todo el sistema, teniéndose como resultados los siguientes:

Los componentes importantes para reducir o eliminar la rapidez de actividad son los tanques de decaimiento, las camas de carbón activado y el Post-filtro.

Los primeros aunque no se aprecia el efecto que tienen sobre la rapidez de actividad total, porque los radionúclidos más contribuyentes son los gases nobles y estos no reducen su rapidez de actividad, tienen gran importancia en la reducción de la rapidez de actividad de los radionúclidos de vida media corta (del orden de segundos o algunos minutos) como el N_{16} . Esto mismo sucede con el Post-filtro que aunque no se ve su efecto en la rapidez de actividad total, se tiene efecto sobre los radionúclidos distintos a los gases nobles.

Finalmente las camas de carbón activado son los componentes más importantes para lograr que el sistema reduzca la rapidez de actividad de los radionúclidos principalmente sobre los gases nobles, los cuales son los más contribuyentes. El efecto producido sobre los gases nobles es disminuir un orden de magnitud la rapidez de actividad total por cada cama de carbón.

El resto de los componentes, aunque no reducen apreciablemente la rapidez de actividad total son necesarios para realizar el acondicionamiento del gas de proceso.

Para el segundo punto, se presentan en la tabla 6.3 los valores de dosis totales de los escenarios planteados con base a los parámetros importantes para el funcionamiento del sistema de los cuales se obtiene lo siguiente:

1. Se puede permitir una variación de flujo de 20 a 50 pies³/min en el sistema sin tener algún problema de dosis y esto solamente es valido para la suposiciones y para los factores utilizado en este trabajo, si se utilizan otros valores se debe tener cuidado ya que los valores de dosis para el mismo intervalo de flujo varían de uno a dos órdenes de magnitud.
2. Para la variación de camas de carbón, aunque los valores de dosis no rebasan los límites establecidos, es recomendable colocar 3 ó más camas de carbón en el sistema, ya que con 2 camas se tiene a la dosis debida a gamma con un 50% del límite y se requerirá tener un gran control sobre todas las variables de operación del sistema para garantizar que no se exceden los límites.
3. Para la variación de tanques de decaimiento es recomendable tener 1 ó 2 tanques en el sistema, colocar más de 2 tanques resulta inadecuado debido a que los valores de dosis se mantienen prácticamente iguales a los obtenidos con 2 tanques.

Tabla 6.1.1 Rapidez de actividad total ($\mu\text{Ci}/\text{seg}$) por grupos de radionúclidos, para el caso básico para los diferentes componentes del sistema de procesamiento de gases.

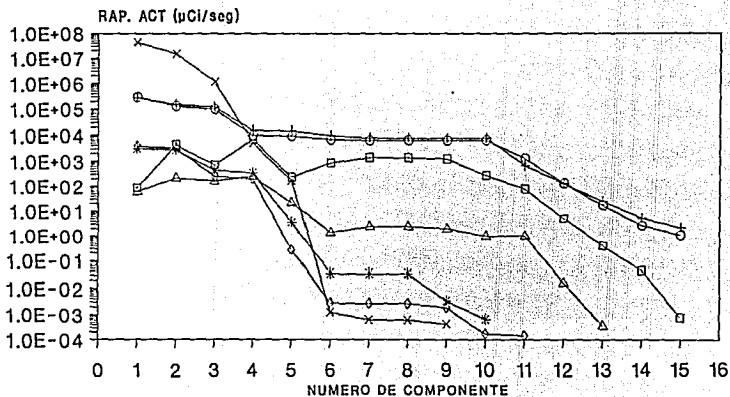
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
riptones	2.91E+05	1.29E+05	1.00E+05	9.40E+03	8.81E+03	6.58E+03	5.99E+03	5.97E+03	5.96E+03	5.94E+03	1.17E+03	1.32E+02	1.73E+01	2.33E+00	1.02E+00
enones	2.78E+05	1.49E+05	1.17E+05	1.48E+04	1.39E+04	9.13E+03	7.38E+03	7.23E+03	7.21E+03	7.18E+03	6.51E+02	1.28E+02	2.55E+01	5.14E+00	2.04E+00
alógenos	3.13E+03	2.74E+03	4.33E+02	3.43E+02	3.48E+00	3.29E-02	3.11E-02	3.10E-02	3.07E-03	6.19E-04	6.14E-05	6.16E-08	6.72E-11	1.49E-13	1.48E-15
esios y hidrios	8.93E+01	4.14E+03	6.94E+02	6.57E+03	2.33E+02	8.50E+02	1.31E+03	1.30E+03	1.17E+03	2.58E+02	8.12E+01	4.87E+00	4.05E-01	4.02E-02	6.64E-04
Nitrógenos Oxígenos	4.38E+07	1.47E+07	1.14E+06	4.81E+03	1.71E+02	1.17E-03	6.07E-04	5.92E-04	4.11E-04	4.01E-05	4.01E-06	4.03E-09	4.03E-12	4.07E-15	2.11E-17
Product. de activación	3.66E+03	3.22E+03	2.53E+02	2.01E+02	2.72E-01	2.57E-03	2.40E-03	2.39E-03	1.68E-03	1.68E-04	1.35E-04	1.11E-06	9.01E-09	7.37E-11	7.02E-13
Otros	6.12E+01	2.21E+02	1.67E+02	2.52E+02	2.22E+01	1.38E+00	2.38E+00	2.38E+00	5.49E+00	9.56E-01	1.00E+00	1.35E-02	3.42E-04	3.57E-05	3.67E-07
Total	4.44E+07	1.51E+07	1.38E+06	3.63E+04	2.32E+04	1.66E+04	1.46E+04	1.45E+04	1.44E+04	1.34E+04	1.90E+03	2.64E+02	4.32E+01	7.70E+00	3.06E+00

Tabla 6.3 Dosis (mrad) totales debido a la variación de los parámetros propuestos del sistema de procesamiento de desechos gaseosos.

LIMITE	VARIACION DE FLUJO				VARIACION DE CAMAS DE CARBON ACTIVADO					VARIACION DE TANQUES DE DECAIMIENTO			SIN SISTEMA
	20	30± (pies ³ /min)	40	50	2	3	4	5	1	2	4		
MA	10	7.83E-03	5.94E-02	2.03E-01	4.41E-01	4.64E+00	5.07E-01	5.94E-02	7.81E-03	1.54E-01	5.94E-02	5.75E-02	1.68E+03
TA	20	1.01E-02	4.41E-02	1.08E-01	1.96E-01	1.08E+00	2.71E-01	4.41E-02	7.98E-03	1.12E-01	4.41E-02	4.34E-02	1.40E+03
ROS	15	9.82E-05	1.02E-04	1.06E-04	1.19E-04	2.22E-02	6.03E-04	1.02E-04	2.11E-05	7.19E-04	1.02E-04	1.01E-04	4.61E+05

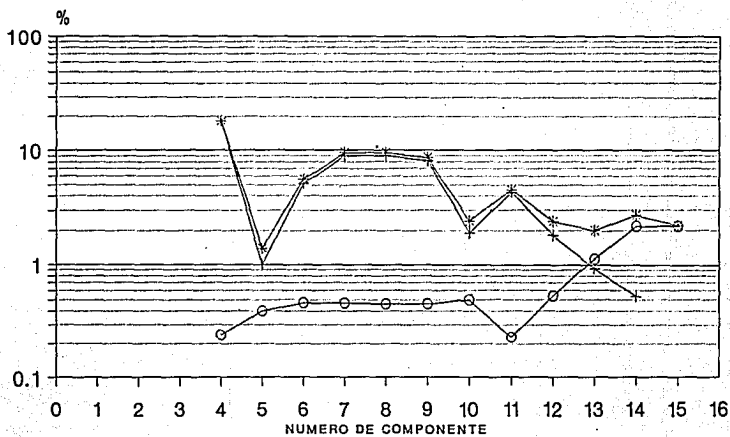
caso básico

Fig. 6.11 MODELACION DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS (CASO BASICO)



○ KRIPTONES + XENONES * HALOGENOS □ Cs, Rb
 × N, O ◇ PROD.ACT △ OTROS

FIG. 6.1.2.1 CONTRIBUCION DE LOS RADIONUCLIDOS PADRES A LA RAPIDEZ DE ACTIVIDAD EN EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS



○ XENONES + Cs, Rb * TOTAL

FIG. 6.1.3 RAPIDEZ DE ACTIVIDAD LIBERADA POR EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS, EN FUNCION DEL FLUJO DEL SISTEMA

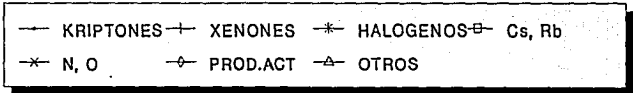
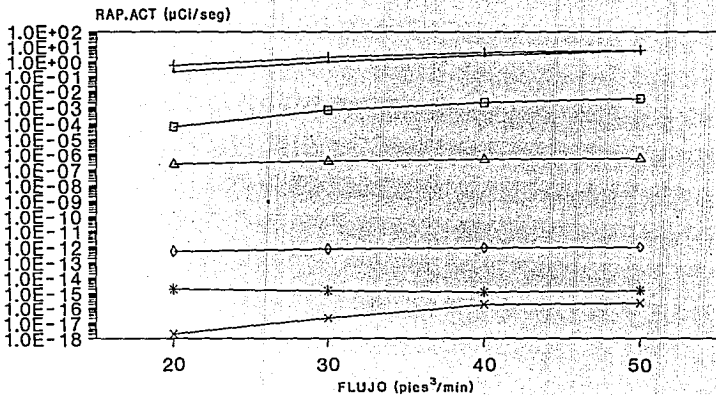


FIG. 6.14 RAPIDEZ DE ACTIVIDAD LIBERADA POR EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS, EN FUNCION DEL No. DE CAMAS DE CARBON

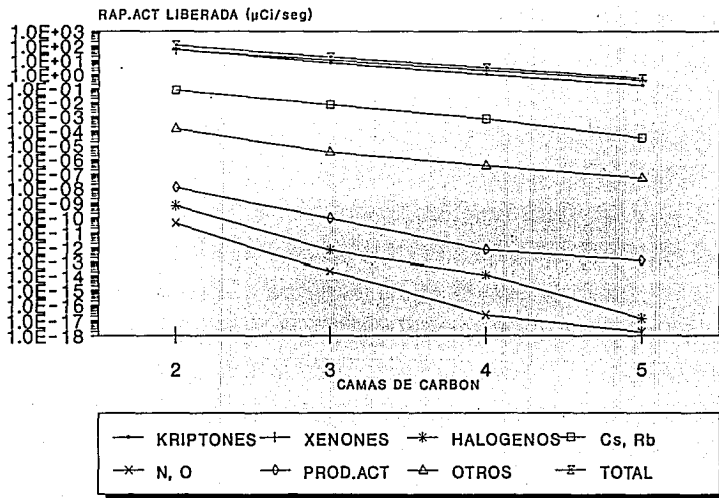


FIG. 6.15 RAPIDEZ DE ACTIVIDAD LIBERADA POR EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS, EN FUNCION DEL No. DE TANQUES DE DECAIMIENTO

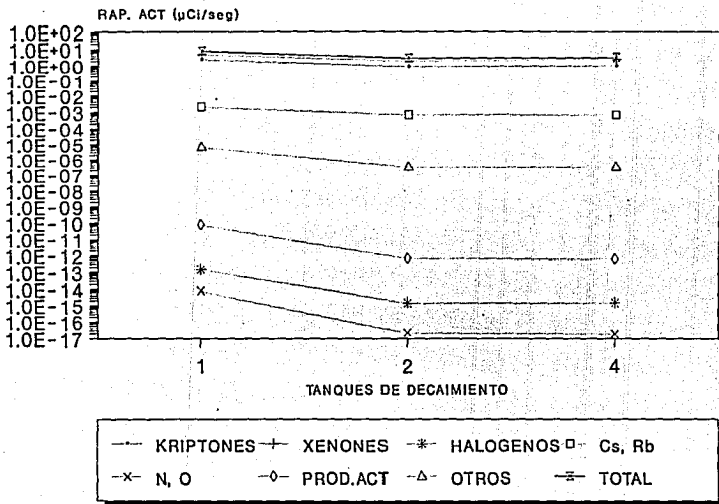
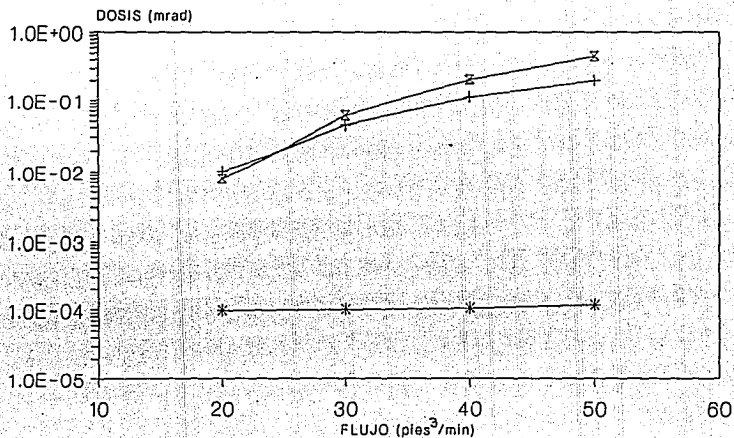


FIG. 6.2.3.1 DOSIS TOTAL DEBIDO A RADIONUCLIDOS LIBERADOS POR EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS, EN FUNCION DEL FLUJO



—x— GAMMAS —+— BETAS —*— OTROS

FIG. 6.2.3.2 DOSIS POR LAS DIFERENTES RUTAS, DEBIDO A RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES, EN FUNCION DEL FLUJO DEL SISTEMA

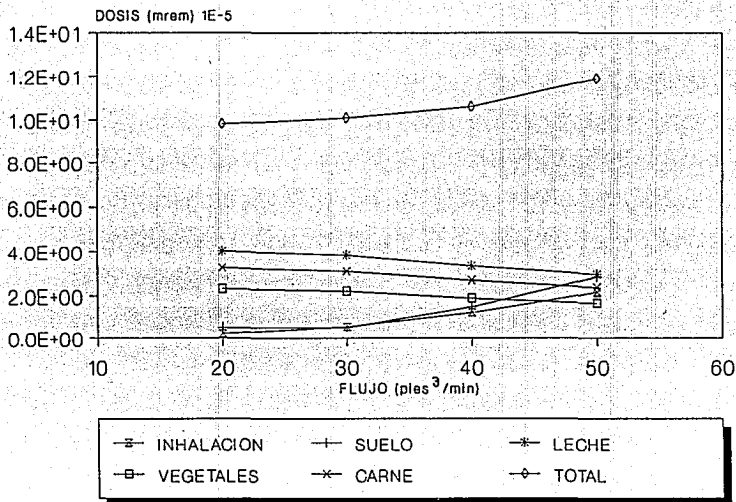
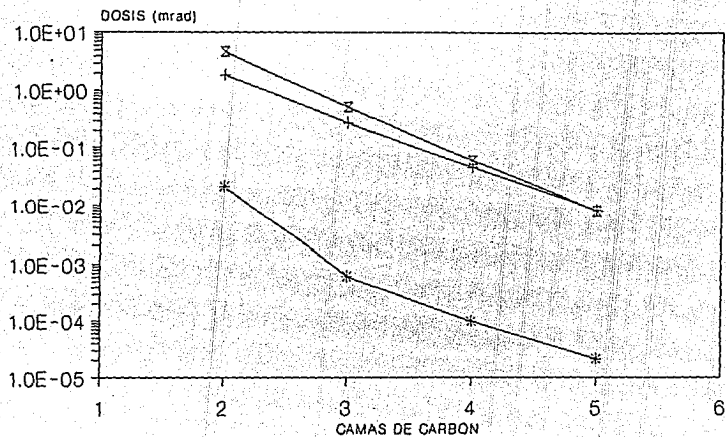


FIG. 6.2.4.1 DOSIS TOTAL DEBIDO A RADIONUCLIDOS LIBERADOS POR EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS, EN FUNCION DEL No. DE CAMAS DE CARBON



—x— GAMMAS —+— BETAS —*— OTROS

FIG. 6.2.4.2 DOSIS POR LAS DIFERENTES RUTAS, DEBIDO A RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES, EN FUNCION DEL No. DE CAMAS DE CARBON DEL SISTEMA

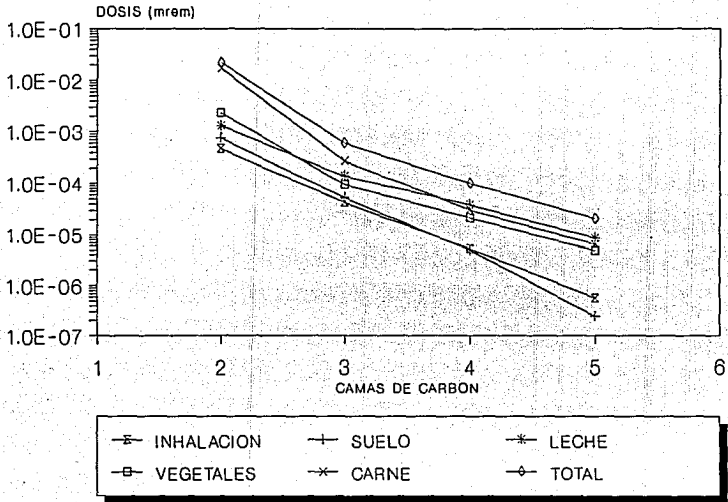
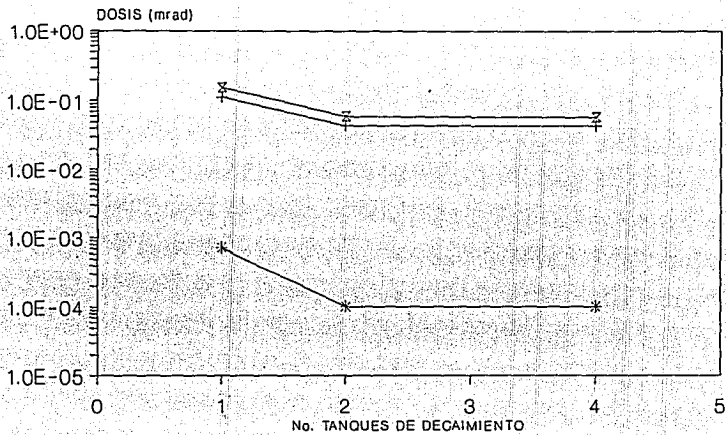
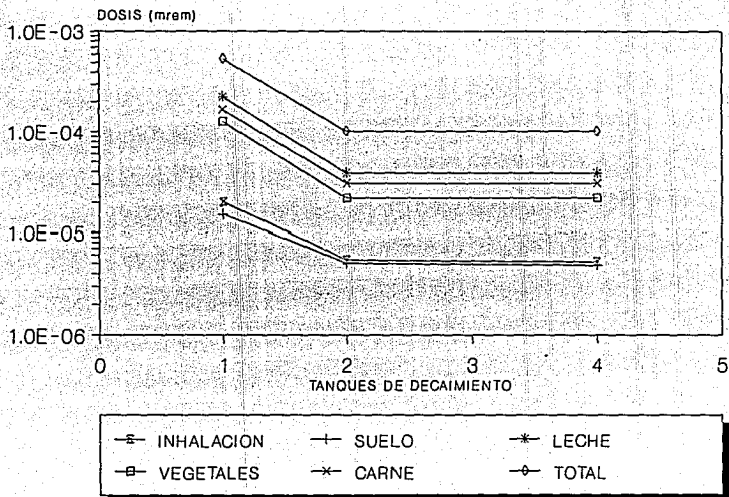


FIG. 6.2.5.1 DOSIS TOTAL DEBIDO A RADIONUCLIDOS LIBERADOS POR EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DESECHOS GASEOSOS, EN FUNCION DEL No. DE TANQUES DE DECAIMIENTO



—■— GAMMAS —+— BETAS —*— OTROS

FIG. 6.2.5.2 DOSIS POR LAS DIFERENTES RUTAS, DEBIDO A RADIONUCLIDOS DISTINTOS A LOS GASES NOBLES, EN FUNCION DEL No. DE TANQUES DE DECAIMIENTO



CONCLUSIONES

1. En la modelación del sistema de procesamiento de desechos gaseosos, la contribución por la segunda ruta es despreciable con respecto a la primera, por lo que resulta irrelevante tomar en cuenta a la segunda ruta para la modelación del sistema

2. A lo largo de todo el sistema de procesamiento de desechos gaseosos, se tiene a los gases nobles como el grupo de los radionúclidos que presenta mayor rapidez de actividad. Lo cual indica que la efectividad de los componentes del sistema para la reducción de rapidez de actividad es menor para este grupo.

3. En la reducción de rapidez de actividad a lo largo de los componentes del sistema se encuentra, que tienen mayor efectividad los siguientes componentes:

- a) Tanques de decaimiento.
- b) Camas de carbón activado.
- c) Post-filtro.

4. La contribución a la rapidez de actividad total debido a los radionúclidos precursores es menor a 1% para el caso de los radionúclidos abuelos y menor al 3% para el caso de los radionúclidos padres. Para estos últimos el porcentaje se debe principalmente al decaimiento de los padres del grupo de Xenones. Por lo tanto, si no se considera a los radionúclidos precursores en los cálculos de rapidez de actividad para el sistema de

procesamiento de desechos gaseosos, es necesario incrementar conservadoramente un 5% del valor de la rapidez de actividad total al grupo de Xenones.

5. El comportamiento de la rapidez de actividad de los grupos de radionúclidos a la salida del sistema de procesamiento de desechos gaseosos es creciente conforme aumenta el valor del flujo del sistema y se tiene una variación menor a un orden de magnitud por cambio de flujo de 20, 30, 40 y 50 pies³/min.

6. La rapidez de actividad de los radionúclidos tiene un comportamiento decreciente al aumentar el número de camas de carbón activado en el sistema de procesamiento de desechos gaseosos, teniéndose una disminución de más de 2 órdenes de magnitud en la rapidez de actividad total al variar de 2 a 5 camas de carbón en el sistema.

7. Al aumentar el número de tanques de decaimiento en el sistema de procesamiento de desechos gaseosos, la rapidez de actividad de los radionúclidos disminuye y solo es importante para los radionúclidos de vida media muy corta (del orden de minutos y segundos).

Al tener 1 ó 2 tanques de decaimiento se tiene disminución en la rapidez de actividad total menor a 1 orden de magnitud, sin embargo para mas de 2 tanques de decaimiento el efecto es despreciable debido a que solo permanecen los radionúclidos de vida media más grande.

8. Para los diferentes escenarios planteados en el sistema de procesamiento de desechos gaseosos, variación de flujo del sistema, variación del número de camas de carbón y de tanques de decaimiento, la mayor contribución a la rapidez de actividad total se debe a los gases nobles.

9. Los valores de dosis por gammas y betas debida a los gases nobles, así como la dosis debida a otros radionúclidos distintos a los gases nobles, por la liberación del sistema de procesamiento de desechos gaseosos en los diferentes escenarios planteados, no se rebasan los límites establecidos en las normas reguladoras.

10. Los radionúclidos que más contribuyen a la dosis son:

GASES NOBLES		DISTINTOS A LOS GASES NOBLES
GAMMA	BETA	
Kr88	Xe133	Sr90 y Rb86

11. El porcentaje de contribución a la dosis debida a los radionúclidos precursores es:

	GASES	NOBLES	RACIONUCLIDOS A LOS GASES NOBLES	DISTINTOS
	GAMMA	BETA		
PADRES	4%	1%	8.5%	
ABUELOS	<1%	<1%	88% (Kr99 --> Sr90)	

12. La dosis por gamma debida a gases nobles aumenta aproximadamente dos órdenes de magnitud al variar el valor del flujo de 20 a 50 pies³/min. Por su parte la dosis por beta debida a los gases nobles aumenta un orden de magnitud y la dosis debida a otros radionúclidos distintos a los gases nobles no presenta cambios apreciables. Para esta última, la mayor contribución es debida a la ruta por ingestión de leche.

13. La dosis por gamma debida a los gases nobles disminuye aproximadamente 3 órdenes de magnitud al aumentar de 2 a 5 camas de carbón activado, lo mismo sucede para la dosis por beta debida a los gases nobles y la dosis debida a radionúclidos distintos a los gases nobles. Para esta última dosis, la mayor contribución es debida a la ruta de ingestión de carne y leche.

14. La dosis por gammas y beta debida a los gases nobles disminuye un orden de magnitud cuando se varía de 1 a 2 tanques de decaimiento, sin embargo, cuando se aumenta a más de 2 tanques de decaimiento no se tiene cambio significativo alguno. La dosis debida a radionúclidos distintos a los gases nobles prácticamente se mantiene constante ante la variación del número de tanques en el sistema y la ruta que produce mayor dosis es por ingestión de leche.

15. Con la modelación realizada del Sistema de Procesamiento de Desechos Gaseosos y para que la liberación de gases no rebace los límites de dosis establecidos por las guías reguladoras, es conveniente que la Central Nuclear este provista de dicho Sistema y además de que cuente al menos con 1 ó 2 tanques de decaimiento, con 3 ó más camas de carbón activado y operar con un flujo de proceso entre 20 y 50 pies³/min.

REFERENCIAS

1. U.S Nuclear Regulatory Commission Reactor Training Center, Radioactive Waste and Monitoring Systems, Technology Manual Boiling Water Reactors BWR/5 Design, Cap. 8, (1979).
2. Lamarch, R. J., Introduction to Nuclear Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, Cap. 4, (1975).
3. Planta Nuclear Laguna Verde (CFE), Curso Nuclear Básico GE
4. Laguna Verde Nuclear Power Station (CFE), Gaseous Waste Management Systems, Final Safety Analysis Report, Cap. 11 Secc. 1 & 3, (1979).
5. Planta Nuclear Laguna Verde (CFE), Termino Fuente en Reactores Nucleares, Curso de Vigilancia Radiológica Ambiental, parte No. 43, (1983).
6. U.S Atomic Energy Commission, Numerical Guides for Design Objectives and Limiting Conditions for Operation to Meet the Criterion "As Low As Practicable" for Radioactive Material in Light-Water-Cooled Nuclear Power Effluents, WASH-1258, Vol. 1, (1973).
7. TECNATOM S.A, Reconocimiento de daño al núcleo, Curso de Atenuación de daños al núcleo aplicado al BWR, Cap. 5, (1982).
8. American National Standards Institute, GAI-Library Source Term Specification ANSI, N237 (1976).
9. U.S Nuclear Regulatory Commission, "Calculation of Releases of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Boiling Water Reactors (BWR-GALE CODE)," USNCR Report NUREG-0016, Washington, D.C. 20555, (1979).
10. Bardach, H., A Nodal Analysis Method Generating Direct Solutions to Radionuclide Transfer Problems Involving First Order Differential Equations, Seminar for Laguna Verde Nuclear Power Station, (1990).

11. Bardach, H., Radiation Analytics Methodologies, Radiation Analytics Handbook, Cap. XI Vol. 2, (1980).
12. Lee, C.E., et. al, Fission Product Release Calculations from a Reactor Containment Building, Nuclear Science and Engineering, Vol. 64, 266-275 (1977).
13. Birchall, A., A Microcomputer Algorithm for Solving Compartmental Models Involving Radionuclide Transformations, Health Physics, Vol. 50 No.3, 389-397 (1986).
14. Ryan, P.B., et. al, Sequential Box Models for Indoor Air Quality: Application to Airliner Cabin Air Quality, Atmosphere Environment, Vol. 22 No.6, 1031-1038 (1988).
15. Planta Nuclear Laguna Verde (CFE), Determinación del Termino Fuente del Sistema de Conversión de Vapor y Potencia, Memoria de Cálculo MML-MAD/001/DIAFA/86 APCFE-037, (1986).
16. Boyce, E.W., DiPrima, C.R., Ecuaciones Diferenciales y Problemas con Valores en la Frontera, Limusa (1978).
17. Schönauer, W., Schnepf, E., Software Considerations for the "Black Box" Solver Fidisol for Partial Differential Equations, ACM Transaction on Mathematical Software, Vol. 13, No. 4, 333-349 (1987).
18. García, C.F., Laguna Verde (México) BWR-Radwaste Systems, Tesis de Maestría, Junio 1979.
19. U.S Nuclear Regulatory Commission, "Technical Report on Operating Experience with Boiling Water Reactor Offgas Systems," USNRC Report NUREG-0442, Washington, D.C. 20555, (1978).
20. Laguna Verde Nuclear Power Station, Condenser Air Removal, System Description, SD-39 rev.A.
21. Kocher, D.C., Radioactive Decay Data Tables, A Handbook of Decay Data for Application to Radiation Dosimetry and Radiological Assessments (1981).
22. Walker, F. W., et. al., Nuclides And Isotopes, General Electric Nuclear Energy, (1989).

23. Lauridsen, B., Table of Exposure Rate Constants and Dose Equivalent Rate Constants, Riso National Laboratory, DK-4000, Roskilde, Denmark, (1982).
24. U.S Department of Health, Education and Welfare, Radiological Health Handbook, Rockville Maryland (1970).
25. Planta Nuclear Laguna Verde (CFE), Verificación del Programa de Cálculo de Actividad Radiactiva "Cajas.wk1", Memoria de Cálculo VAS/012/JANYA/89 APCFE-129, (1989).
26. U.S Nuclear Regulatory Commission, "Preparation of Radiological Effluent Technical Specifications for Nuclear Power Plants," USNRC, Report NUREG-0133, Washington, D.C. 20555, October 1978.
27. Tittle 10, "Energy," Chapter I, Code of Federal Regulations; Part 20 & 50, U.S Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, January 1, 1988.
28. Regulatory Guide 1.109, "Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10CFR part 50, Appendix I," Revision 1, U.S Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. 20555, October 1977.
29. Planta Nuclear Laguna Verde (CFE), Manual de Cálculo de Dosis Fuera de Sitio, Reporte Técnico (1991).
30. Planta Nuclear Laguna Verde (CFE), Verificación de los Límites de Dosis para los Efluentes gaseosos de la CLV Unidad 1, Memoria de Cálculo MAD/008/DIAFA/85 APCFE-12, (1985).
31. Fuentes, V., et.al, Estudio Experimental para Determinar las Condiciones de Dispersión que Prevalcen en la Atmosfera de Laguna Verde, Veracruz, Reporte Técnico (1981).
32. Miller, C.W., Oesterle, J.E., Abbott, D.G., A General Justification for Classification of Effluent Treatment System Equipment as Group D, Nuclear Energy Division-General Electric Company, NEDO-10734 (1973).

AGRADECIMIENTOS

Sería injusto pasar por alto el nombre de alguna persona que de una u otra forma contribuyó en la realización de éste trabajo, por lo que a todos en general les doy mis más sinceros agradecimientos por su colaboración. Así mismo y en forma muy especial a la Fís. María Isabel Gamboa de Buen por el asesoramiento realizado a éste trabajo, y al Fís. Marco Aurelio Medrano López por su gran ayuda en la organización, dirección y en la parte de análisis de éste trabajo.