

TRASLADO A EZEIZA DE LOS
ELEMENTOS COMBUSTIBLES
DEL RA I

GASPAR, RICARDO
HERMELO, CARLOS M.

AÑO 1964

I N T R O D U C C I O N

La operación de traslado de los elementos combustibles irradiados en el R.A.1, a la Planta de Reprocesamiento del Centro Atómico Ezeiza, se efectuó en ocho días de trabajo, y representó el manipuleo de varios kilocuries de productos de fisión.

Salvo un percance debido a falla de un mecanismo, la operación se desarrolló normalmente.

Los riesgos de irradiación fueron algo mayores que los previstos; no obstante, las dosis recibidas fueron relativamente pequeñas.

Los riesgos por contaminación, si bien potencialmente muy grandes, fueron controlados mediante normas operativas adecuadas.

-.--oo0oo--.-.-

ACTIVIDAD DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES

El núcleo del R.A.1. estaba compuesto por 118 chapas de aleación de $U_3O_8 - Al$, con envoltura de aluminio, y un contenido de aproximadamente 20 g de U^{235} por chapa. El R.A.1. irradió en forma discontinua, y a distintas potencias, según el siguiente detalle:

<u>POTENCIA</u> (Kw)	<u>TIEMPO DE IRRADIACION</u> (Horas)
1	500
10	1775
15	4000
20	2267
30	42

Para el cálculo de la actividad se supuso irradiación continua hasta el instante del corte, a 15 Kw, durante 8042 horas.

Se aplicó la ley de Way-Wigner, según la cual es

$$A \text{ (curies)} = 10 P \text{ (watts)} \left[t^{-0,21} - (T + t)^{-0,21} \right]$$

donde T: tiempo de irradiación (seg.) ; t: tiempo de decaimiento (seg.).

Se obtienen las siguientes actividades por elementos combustibles:

<u>Tiempo de Decai-</u> <u>miento (días)</u>	<u>Actividad por el</u> <u>Combustible (curies)</u>	<u>Actividad Total</u> <u>(curies)</u>
31	22,8	2685
40	20,3	2385
41	20,0	2357
44	19,2	2265
45	18,9	2235
46	18,8	2220
47	18,6	2190
48	18,4	2175

DISPOSITIVO DE TRANSPORTE

a) Blindaje:

Se contó para efectuar el traslado con dos recipientes de plomo, cuyas dimensiones se dan en la figura 1. Las medidas se adoptaron teniendo en cuenta el tamaño de las chapas (figura 2), la configuración del blindaje de agua del R.A.1., la exposición emergente tolerable y el peso máximo admisible de cada recipiente.

Un cálculo aproximado de la exposición emergente, efectuado suponiendo una energía gamma promedio de productos de fisión de 700 Kev, dió resultados inferiores a los medidos posteriormente, debido a la subestimación introducida al promediar la componente de mayor energía.

////

El cálculo definitivo se efectuó calculando el aporte de los distintos sectores del espectro de energía gamma, a la radiación emergente, según la siguiente distribución:
Tiempo de irradiación: 1 año; flujo : 10^{12} n/cm² seg.; lgPF (1 Mwd).

Mev/min

E γ Mev	Intervalo Mev	Decaimiento 20 días	Decaimiento 50 días	%total (20d.)	%total (50d.)
0,1	0,05-0,2	237×10^{11}	112×10^{11}	3,0	2,6
0,3	0,2-0,4	182×10^{11}	349×10^{10}	2,3	0,8
0,5	0,4-0,6	938×10^{11}	407×10^{11}	12,0	9,4
0,7	0,6-0,8	411×10^{12}	328×10^{12}	52,6	75,7
0,9	0,8-1,0	438×10^{11}	931×10^{10}	5,6	2,2
1,1	1,0-1,2	148×10^{10}	848×10^9	0,2	0,2
1,3	1,2-1,4	179×10^8	73×10^8	-	-
1,5	1,4-1,6	128×10^{10}	710×10^9	0,2	0,1
1,7	1,6-1,8	169×10^{12}	335×10^{11}	21,6	7,7
1,9	1,8-2,0	824×10^9	152×10^9	-	-
2,1	2,0-2,2	259×10^{10}	241×10^{10}	0,3	0,6
2,3	2,2-2,4	221×10^9	628×10^8	-	-
2,5	2,4-2,6	153×10^{11}	303×10^{10}	2,0	0,7
TOTAL		782×10^{12}	433×10^{12}	(1)	

El modelo geométrico adoptado supone que toda la actividad de cada elemento combustible se halla distribuída en un segmento de recta de 60 cm de largo, de manera que la emisión por unidad de longitud es:

$$I_L = \sum A(E\gamma) \Delta E\gamma \frac{3,7 \cdot 10^{10}}{60} = 6,17 \cdot 10^8 \sum A(E\gamma) \Delta E\gamma \text{ (Mev/cm.seg)}$$

Donde $A(E\gamma)$ puede obtenerse a partir de la tabla anterior y la actividad del elemento combustible.

El flujo emergente del blindaje es:

$$\Phi_s B(b, E_\gamma) \frac{I_L}{2 \pi d} F(\psi, b) \text{ (Mev/cm}^2 \cdot \text{seg)}$$

donde: ψ : ángulo definido en la figura 3.-

$b : \mu x$; μ_x : coeficiente de absorción del plomo
 x : espesor del blindaje

$B(b, E_\gamma)$: build-up

$F(\psi, 6)$: función tabulada (2)

La equivalencia entre flujo y exposición se da en el cuadro siguiente: (los datos básicos se tomaron de Goldstein (3), efectuándose algunas interpolaciones).

E_γ Mev	Exposición ϕ s	$\left(\frac{\text{mr/hora}}{\text{Mev/cm}^2 \cdot \text{seg.}} \right)$
0,1	1,596 x 10 ⁻³	
0,3	1,986 x 10 ⁻³	
0,5	2,043 x 10 ⁻³	
0,7	2,014 x 10 ⁻³	
0,9	1,957 x 10 ⁻³	
1,1	1,892 x 10 ⁻³	
1,3	1,830 x 10 ⁻³	
1,5	1,768 x 10 ⁻³	
1,7	1,715 x 10 ⁻³	
1,9	1,662 x 10 ⁻³	
2,1	1,618 x 10 ⁻³	
2,3	1,581 x 10 ⁻³	
2,5	1,545 x 10 ⁻³	

En el cálculo que sigue no se tomó en cuenta la autoabsorción en el elemento combustible ni el blindaje de los otros elementos contenidos en el mismo recipiente; la radiación de frenamiento beta (bremmestrahlung) se estimó a partir de un ensayo con un elemento combustible, blindado con lucite. Los valores corresponden a un elemento combustible.

I_L (Mev/cm seg.)

d	A	0,5Mev	0,7Mev	0,9Mev	1,7Mev	2,5Mev	2,1Mev
31	3,80	$1,31 \cdot 10^8$	$9,85 \cdot 10^8$	$9,52 \cdot 10^7$	$6,78 \cdot 10^8$	$9,38 \cdot 10^7$	$1,96 \cdot 10^7$
40	3,38	$1,06 \cdot 10^8$	$9,92 \cdot 10^8$	$6,19 \cdot 10^7$	$4,36 \cdot 10^8$	$5,73 \cdot 10^7$	$2,20 \cdot 10^7$
48	3,07	$8,90 \cdot 10^7$	10^9	$3,75 \cdot 10^7$	$2,48 \cdot 10^8$	$3,31 \cdot 10^7$	$2,58 \cdot 10^7$
$b = \mu x$		17	13	8	6	5	5,0
B		2,6	3,2	3	3,2	2,7	2,7
$F(\psi, b)$		$1,2 \cdot 10^{-8}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$

$$\text{Hacemos } X = \frac{B}{2 \pi d} \cdot F(\psi, b)$$

Φ_5 (Mev/cm ² seg.)					Exposición mR/h		
E	X	31 d	40 d	48 d	31 d	40 d	48 d
0,5	$1,24 \cdot 10^{-9}$	0,16	0,13	0,11	0,0	0,0	0,0
0,7	$7,64 \cdot 10^{-8}$	75	76	76	0,2	0,2	0,2
0,9	$1,05 \cdot 10^{-5}$	1000	650	394	2,0	1,3	0,8
1,7	$8,66 \cdot 10^{-5}$	58.715	37.758	21.477	100,7	64,8	36,8
2,1	$1,55 \cdot 10^{-4}$	3038	3.400	4.000	4,9	15,5	6,5
2,5	$1,55 \cdot 10^{-4}$	14.539	8.881	5.130	22,5	13,7	7,9
bremmstrahlung					26,1	17,1	10,4
Exposición emergente					156,4	102,6	62,6

COMPARACION CON RESULTADOS EXPERIMENTALES
(con 5 elementos combustibles
en el recipiente)

t_d	exp. calc.	medición (mínimo)	medición (máximo)	error (máximo)	OBSERVAC.
31 d	782 mr	600 mr	1600 mr	104 %	
40 d	513 "	520 "	750 "	46 "	
48 d	250 "	280 "	400 "	60 "	4 elementos combustibles

Los valores máximos corresponden a mínima autoabsorción, es decir, a las condiciones de cálculo. El aporte de la radiación de frenamiento se estimó en el 20% de la radiación emergente (comprobación experimental). Se observa que el error es por defecto en todos los casos, por lo que parecería que la actividad de los elementos combustibles es mayor que la estimada.

b) Protección adicional

A fin de evitar exposiciones innecesarias, y asegurar la estabilidad de los recipientes durante el viaje, se construyó, con ladrillos de hormigón de barita de 10 x 20 x 40 cm., un blindaje adicional de 20 cm de espesor.

Estos ladrillos se ubicaron en una caja atornillada al piso del camión, de tal manera que quedara un espacio libre en el que cupieran dos recipientes.

El blindaje adicional redujo la exposición en la cabina del camión a menos de 2 mr/hora, con una carga total de 10 elementos combustibles. El dispositivo de transporte resultó seguro y eficaz.

EXTRACCION DE LOS ELEMENTOS
COMBUSTIBLES(x)

Los mayores problemas de la operación de traslado se presentaron en la extracción de los elementos combustibles de las chapas acanaladas de sostén que rodeaban el núcleo. Estas dificultades pueden resumirse en dos grupos:

a) Extracción en sí: los problemas principales fueron la imposibilidad de aprehender algunos elementos combustibles por deformación del extremo superior al que se adaptaron las pinzas, lo que obligó a usar otra herramienta para engancharlos por debajo; como consecuencia de ello, fué mayor la dificultad para introducir estos elementos en las cajas de aluminio. El tiempo promedio de extracción se elevó a 5 minutos por elemento combustible

b) Riesgo de contaminación: las fallas en la envoltura de los elementos combustibles eran de tal magnitud que al resbalar las herramientas sobre su superficie provocaba el desprendimiento de uranio irradiado, que permanecía en suspensión en el agua.
(x) Ver Apéndice

////

La actividad de ésta llegó a ser de aproximadamente 0,1 millicurie por litro.

Con tal actividad fué necesario proceder con las precauciones necesarias para el manipuleo de soluciones radiactivas, por lo que el trabajo se tornó muy engorroso. No se registró, sin embargo, ninguna contaminación importante, salvo los recipientes de plomo y la superficie adyacente a la boca del tanque. Esta última había sido recubierta con polietileno, el cual sufrió deterioros, lo que permitió el paso de agua contaminada en algunos lugares. El polietileno que recubría la caja del camión resultó asimismo dañado, al depositar los recipientes, pero un lavado con detergente común bastó para eliminar esa actividad. La contaminación de los containers osciló entre 10^{-3} y 10^{-2} millicuries por cm^2 .

DESCARGA (x)

El puente grúa movable con que se contó al comenzar la operación (aún no estaba instalado el puente grúa de la planta), se dañó después de la segunda operación de descarga. Este percance, producido por botura de los dientes del engranaje, ocasionó lesiones leves a tres personas.

Por este motivo se descartó el puente grúa y se empleó en las maniobras siguientes una pala mecánica para el manejo de los recipientes de plomo. Este equipo permitió reducir el tiempo de descarga a cinco minutos, en promedio, por recipiente, es decir, permitió operar rápida y eficientemente.

La operación se efectuó sin sumergir el recipiente en el agua, sino dejando caer la caja con los elementos combustibles desde el recipiente, sin su tapa inferior, y suspendido a medio metro de la superficie líquida. Este método permitió acelerar la operación, y la sobreexposición resultante fué despreciable. Se debió recurrir a la inmersión del recipiente sólo en una oportunidad, por haberse atascado la caja de aluminio.

El blindaje de agua del tanque de depósito resultó adecuado; la exposición máxima medida sobre la superficie, con la carga de 118 elementos sumergidos en el tanque, fué de 12 mr/hora. El coeficiente de multiplicación final se estimó menor que 0,50. Se agregaron tres barras de cadmio para compensar cualquier cambio accidental de geometría que pudiera producir una configuración crítica.

DOSES RECIBIDAS

La dosis total recibida por los autores en la operación, fué de 100 mr cada uno. Las dosis recibidas por los choferes fué menor que 10 mr. Se emplearon como dosímetros films monitores.

OBSERVACIONES

El método de operación resultó conveniente. Sin embargo, se produjeron algunas confusiones respecto a la cantidad de elementos combustibles transportados, lo que, si bien es atribuible al desconocimiento de la cantidad total a transportar, pudo haber sido obviado mediante un control más estricto.

(x) Ver Apéndice

///

Resulta imprescindible, por lo tanto, que haya una persona dedicada exclusivamente al control de la operación, y a la compilación de registros.

(x) Ver apendice.-

R E F E R E N C I A S

- 1º - PRAWITZ J., LOW K. y BJORNERSTEDT R.; GAMMA SPECTRA OF GROSS FISSION PRODUCTS FROM THERMAL REACTORS - P/149 - Segunda Conferencia Internacional sobre usos Pacíficos de la Energía Atómica -Ginebra- 1958.-
- 2º - GAUZIT M. y KAHAN T.: Contrôle et protection des réacteurs nucléaires.-
- 3º - GOLDSTEIN, H.: Fundamental aspects of reactor shielding.-

-.--oOo--.-.-.-

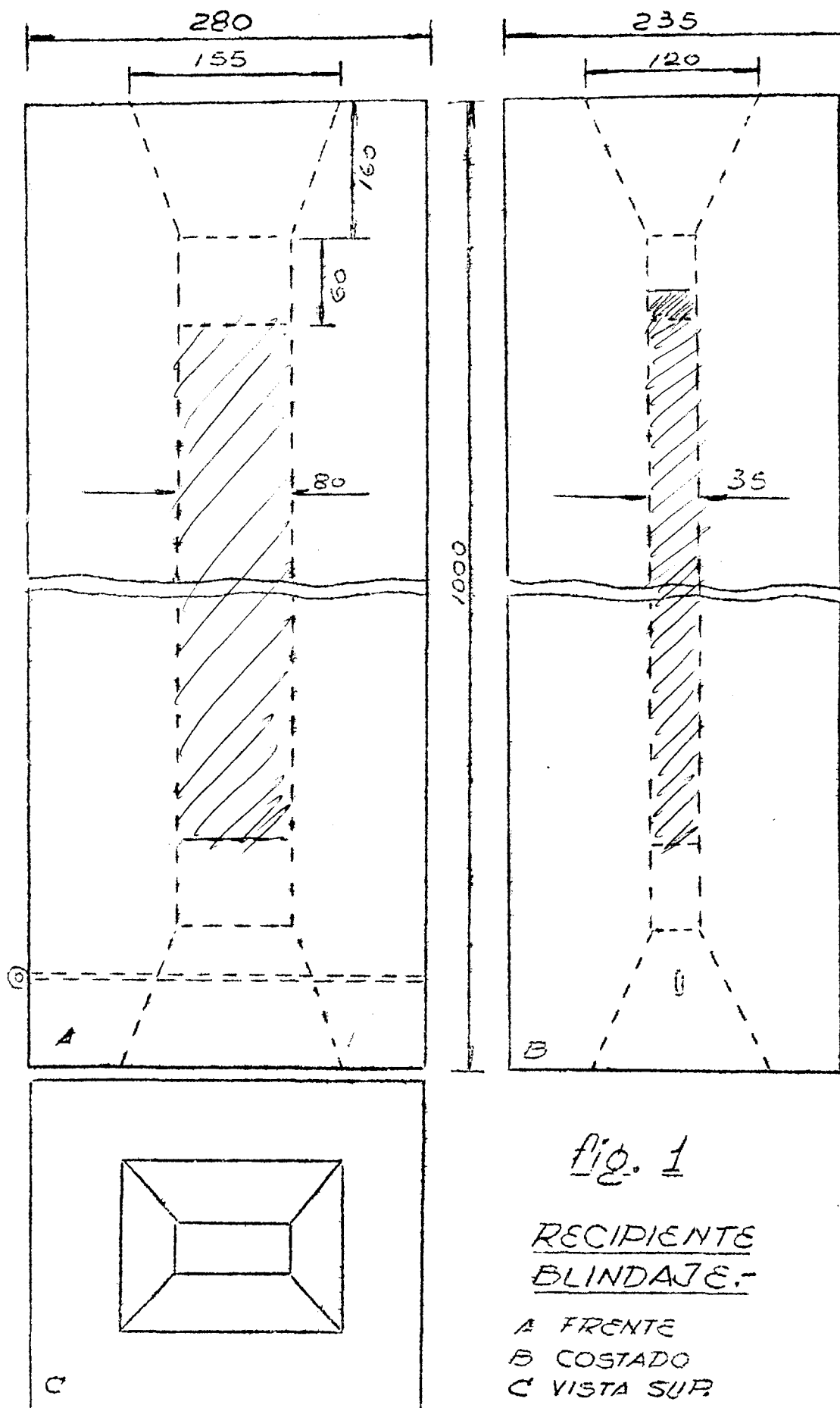
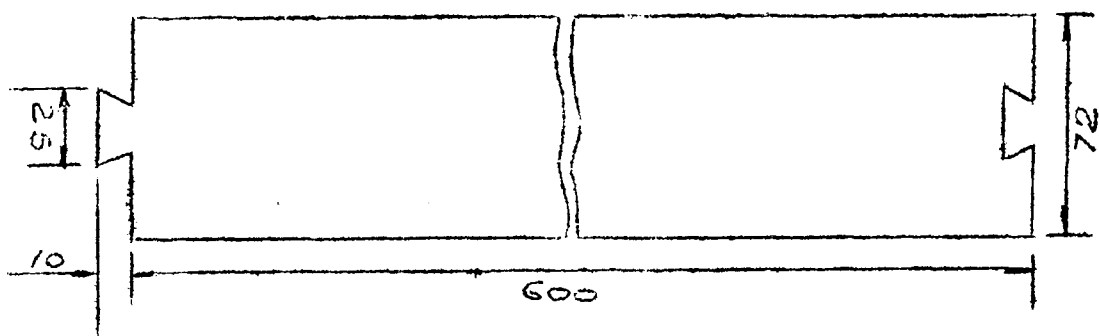


fig. 1

RECIPIENTE
BLINDAJE.-

A FRENTE
B COSTADO
C VISTA SUP.

Fig. 2
ELEMENTO COMBUSTIBLE



ESQUEMA del MODELO GEOMETRICO

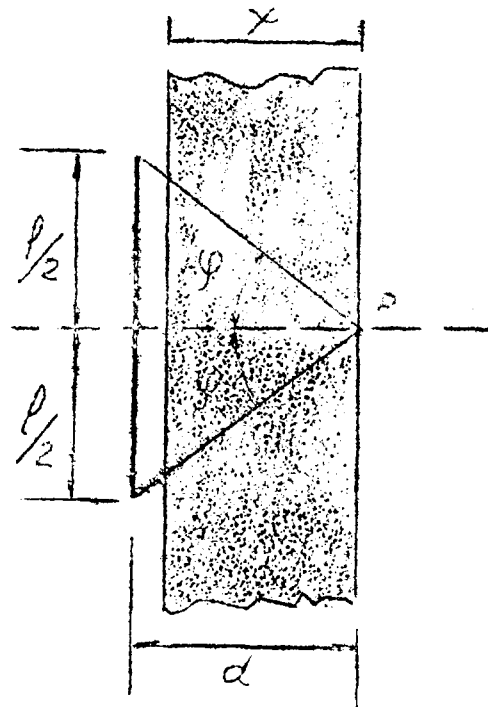


Fig. 3

A P E N D I C E

NORMAS OPERATIVAS PARA LA EXTRACCION Y TRASLADO DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES IRRADIADOS - R E A C T O R R.A. 1 -

I.- GENERALIDADES

- I.1.- La extracción y traslado de elementos combustibles irradiados en el R.A.1. serán efectuados por un equipo de 4 personas, compuesto por:
- a) operador de grúa
 - b) encargado de extracción y descarga
 - c) encargado de control radiológico y decontaminación (oficial de seguridad).
 - d) chéfer.
- I.2.- Para el manipuleo del material se adoptará como norma de protección el Reglamento de Seguridad en el Trabajo con Material Radioactivo para el área de los Reactores R.A.O. y R.A.1.-
- I.3.- Durante las operaciones no se permitirá el acceso a la Sala del R.A.1. (Constituyentes) y Planta de Reprocesamiento (Ezeiza) a otras personas que las mencionadas en I.1., salvo autorización expresa de los Responsables de los Programas de Reactores y Reprocesamiento respectivamente.

II.- EN LA PLANTA CONSTITUYENTES

- II.1.-Corte de la irradiación
- II.2.-Decaimiento del núcleo durante 30 días
- II.3.-Extracción de la tapa superior
- II.3.1.- La tapa superior se depositará previo monitoraje, en un blindaje ad-hoc, construido en la esquina N.O. de la sala del reactor.
- II.3.2.- Igual operación se efectuará con la tapa del tanque.
- II.3.3.- El lugar donde se hallen estos elementos será de acceso limitado.-
- II.4.- Renovación del agua del circuito primario (condicional)
- II.4.1. - Si por contener material radioactivo disuelto, el agua constituye un riesgo radiológico (concentración $>10^{-5}$ $\frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$) se procederá a desagotar el tanque y llenarlo nuevamente con agua demineralizada.
- II.4.2. - Se monitorará la exposición gamma sobre el blindaje de agua y se anotará en la planilla.
- II.5.- Extracción de los elementos combustibles

- II.5.1. - Los elementos combustibles serán extraídos en grupos mediante cajas de aluminio.
- II.5.2. - En primer término se extraerá el reflector central, y en su lugar el operador de la grúa colocará una caja de aluminio.
- II.5.3. - El encargado de la operación, procederá a colocar en la caja tantos elementos combustibles como en ella quepan sin ser forzados. Durante esta operación se monitorará la exposición gamma en el lugar, anotándose el valor máximo, valor medio y duración de la operación en la planilla. Se estimará la dosis recibida, y en caso de superar el cálculo dos 100 mRem se leerá el dosímetro.
- II.5.4. - El operador de la grúa sumergirá el recipiente de plomo hasta la mitad cuidando que previamente el cable de la caja de aluminio haya sido enhebrado en la tapa superior. El encargado de la extracción introducirá la caja de aluminio dentro del recipiente tirando de este cable, y comprobará antes de extraer el recipiente del agua que la caja esté completamente blindada. El operador de la grúa extraerá el recipiente, y le colocará la tapa inferior, para depositarlo en el camión.
- II.5.5. - Se medirá la exposición gamma en contacto con el container, en los puntos A y B (ver fig. 1) y se anotará la lectura en la planilla.
- II.5.6. - Durante toda la operación la persona encargada de la observación de los instrumentos deberá prestar especial atención a la concentración de actividad en aire, suspendiendo el trabajo si se sobrepasa el límite de lectura del equipo, hasta tanto se establezca el motivo y se estime el riesgo emergente; se dejará en este caso constancia en la planilla (columna "observaciones").
- II.5.7. - Se anotará en la planilla el número de elementos combustibles que aún quedan en el núcleo.
- II.6. - Elementos de protección.-
 - II.6.1. - Las superficies siguientes, así como otras donde exista riesgo de contaminación, al extraerse los elementos combustibles, serán cubiertas con polietileno.
 - a) Parte superior del reactor
 - b) Esquina N.O. (depósito de tapas y material contaminado).
 - c) Superficie del vehículo.
 - II.6.2. - El personal deberá usar:
 - a) Film monitor y dosímetro
 - b) Ropa de trabajo cerrada o buzos
 - c) Guantes de goma

- d) Botas de goma o plástico, de caña alta o media caña.
- e) Protección respiratoria (filtros) de ser necesario.
- f) Gorros tipo cirujano

II.6.3. - El encargado del control radiológico contará con:

- a) Equipos fijos: (estos equipos deben ser observados constantemente).
 - 1) Cámara de ionización Baldwin
 - 2) Monitor continuo de actividad en aire Landis & Gyr.
- b) Equipos portátiles
 - 1) Monitor β - γ Nuclear Chicago 2612 ó similar.
 - 2) Pistola monitora Tracerlab o similar.
 - 3) Aspirador Staplex o similar, con papel de filtro.
- c) Elementos de decontaminación
 - 1) Versene
 - 2) Citrato de amonio

II.6.4. - El monitoreo y decontaminación del equipo de protección lo efectuara el encargado del control radiológico, en la pileta situada en la esquina S.E.

II.7. - ACCESOS

II.7.1. - Durante las operaciones se clausurará la entrada situada en la esquina S.E. y el acceso a la sala se hará por la entrada N. (personal) y O. (vehículos).

III - TRANSPORTE

III.1. - Seguridad en el viaje

III.1.1. - El vehículo de transporte no excederá los 70 Km/hora en el trayecto Constituyentes - Ezeiza.

III.1.2. - El vehículo no transportará más de dos recipientes por viaje.

III.1.3. - La exposición máxima en el lugar donde viaje el personal será 20 mR, colocándose un blindaje "ad-hoc" entre los recipientes y el personal de ser necesario. El valor de exposición en el volante se anotará en la planilla.

III.1.4. - El blindaje será marcado con el símbolo  en rojo.

III.2. - Elementos de protección

III.2.1. - En el vehículo habrá los elementos especificados en el apartado II.6.2. y II.6.3.b., los que serán utilizados en caso de accidente por los sobrevivientes para manipular los recipientes. El personal llevará film monitor y dosímetro.

III.3. - Accidentes

III.3.1. - Si por cualquier motivo se produce durante el transporte un escape de material radioactivo, se aislara la zona que resulte afectada a fin de precaver el riesgo de contacto de las personas con cualquier material radioactivo disperso y siempre que sea posible, se colocarán avisos o barreras. No se permitirá a nadie que permanezca en la zona aislada hasta que personas competentes puedan controlar el riesgo de irradiación y dirigir los trabajos de acarreo o recuperación. Se informará inmediatamente al Programa Evaluación de Riesgos. No obstante lo dispuesto en el presente párrafo la presencia de materiales radiactivos no debe ser obstáculo para que personas capacitadas lleven a cabo las operaciones de rescate o de lucha contra incendios. Todas las personas que puedan haberse contaminado con materiales radiactivos se someterán a las medidas de control y a los reconocimientos adecuados.-

IV. - EN EL CENTRO ATOMICO EZEIZA

IV.1. - Descarga de los elementos combustibles.

IV.1.1. - Se destapará y monitorará el tanque de depósito antes de comenzar la operación, y se anotará la exposición γ sobre el tanque en la planilla.

IV.1.2. - El operador de la grúa sacará un recipiente del vehículo y lo mantendrá a 70 cm del fondo de la pileta. Antes de sumergirlo el encargado de la descarga destapará el recipiente. Se anotará en la planilla la exposición máxima durante la operación.

IV.1.3. - El encargado de la descarga comprobará el descenso al fondo del tanque de la caja con los elementos combustibles.

IV.1.4. - El operador de la grúa extraerá el recipiente, el cual será monitorado por el encargado del control radiológico. Los valores de contaminación superficial medidos se anotarán en la planilla. Se colocará nuevamente el recipiente en el vehículo.

IV.1.5. - El encargado de la descarga ubicará los elementos combustibles en la grilla y anotará el número total existente en la grilla en la planilla.

IV.1.6. - Se monitorará la superficie del tanque luego de finalizada la operación, y se anotará el valor de exposición γ en la planilla.

- IV.1.7. - Se repetirán las operaciones IV.1.2. a IV.1.6. con el otro recipiente.
- IV.1.8. - Se cerrará el tanque de depósito.
- IV.1.9. - Durante la operación se tomará una muestra de aire con el aspirador, y se monitorará constantemente la exposición γ , anotándose la actividad del filtro, valores máximo y medio de exposición γ y tiempo empleado en la planilla.
- IV.2. - Elementos de protección
- Los mismos que los especificados en el apartado II.6.2. y II.6.3.b., II.6.3.c.-

[illegible]